

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

**CARRERA:
INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL**

**TEMA:
DISEÑO HIDRÁULICO PARA EL MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN
DEL SISTEMA DE RIEGO DE LA COMUNA SAN VICENTE ALTO, UBICADA
EN LA PARROQUIA CANGAHUA, CANTÓN CAYAMBE, PROVINCIA DE
PICHINCHA-ECUADOR**

**AUTORES:
GUAYASAMÍN GUAYASAMÍN ALEXANDER JAVIER
RIOFRÍO CUARÁN JHERSON ALEXIS**

**TUTORA:
YÉPEZ MARTÍNEZ VERÓNICA VALERIA**

Quito, octubre de 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Guayasamín Guayasamín Alexander Javier, con número de cédula 172067608-7 y Riofrío Cuarán Jherson Alexis, con número de cédula 172394370-8, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación, bajo modalidad de Proyecto Técnico: “DISEÑO HIDRÁULICO PARA EL MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO DE LA COMUNA SAN VICENTE ALTO, UBICADA EN LA PARROQUIA CANGAHUA, CANTÓN CAYAMBE, PROVINCIA DE PICHINCHA-ECUADOR”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de INGENIEROS CIVILES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores, nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca del Campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito.



Alexander Javier Guayasamín Guayasamín

C.I. 172067608-7



Jherson Alexis Riofrío Cuarán

C.I. 172394370-8

Quito, octubre de 2020

DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Yépez Martínez Verónica Valeria, con número de cédula 171128559-1, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, bajo modalidad de Proyecto Técnico: “DISEÑO HIDRÁULICO PARA EL MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO DE LA COMUNA SAN VICENTE ALTO, UBICADA EN LA PARROQUIA CANGAHUA, CANTÓN CAYAMBE, PROVINCIA DE PICHINCHA-ECUADOR”, realizado por los señores Guayasamín Guayasamín Alexander Javier y Riofrío Cuarán Jherson Alexis, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, octubre de 2020



Ing. Verónica Valeria Yépez Martínez, M.Sc.
DOCENTE TUTOR
C.I. 171128559-1

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a Dios por ser mi guía, defensor y fuerza necesaria para cumplir una de las tantas metas que me he propuesto en la vida.

A mi padre Rafael Guayasamín, quien es mi más grande orgullo, por ser el apoyo incondicional, mi modelo de lucha y arduo trabajo.

A mi madre Margoth Guayasamín, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la determinación infundida para ser una persona de bien y sobre todo por el cariño y amor de madre.

A mi hermano Vinicio, quien con su aprecio y entusiasmo siempre me anima a seguir adelante y es el motor de inspiración para cada día ser mejor.

A mi cuñada y sobrinos Marisol, Andrea y Dyland, quienes a lo largo de este camino han sido mis cómplices y apoyo moral que me motivaron a terminar esta carrera.

A mis abuelitos maternos Manuel y Hortensia, por cuidarme y brindarme su amor incondicional a lo largo de sus vidas.

A mis abuelitos paternos José y Hortensia, por ser mis ángeles desde el cielo que me orientan y cuidan cada día.

Finalmente, a toda mi familia quienes han estado pendientes de cada paso realizado y que con sus palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y que a su vez me acompañan en todos mis sueños y metas.

Alexander

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a Dios y a la maravillosa familia que él me concedió, en especial, a mis padres, Efraín Alberto y Nubia Esmeralda, quienes me dieron ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome así a valorar todo lo que tengo y a creer en mi capacidad para lograr más triunfos como éste en la vida.

A mi hermana, Mayelin Juliana, quien espero ahora ya sienta orgullo de su hermano mayor, y no se siga presentando como hija única.

A mi abuelita, María Antonia, por darme su confianza, tenerme en sus oraciones más fervientes y nunca negarme un consejo o un bien merecido regaño.

A Campo Elías, María Emérita, Rosa Isabel, Luis Gerardo y mi hermano, Ángel Patricio, quienes desde el cielo me han brindado su guía y protección, y de quienes estoy seguro, serían los que más fuerte me aplaudirían y abrazarían en este momento. Espero un día poder mirar en sus ojos el orgullo que les causa ver que logré todo lo que ellos querían para mí, y por lo que tanto lucharon en los años que estuvieron conmigo; de seguro un día Dios lo permitirá.

A todos ellos les dedico este trabajo, y espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.

Jherson

AGRADECIMIENTOS

Primero dar gracias a Dios por orientar cada paso que doy y permitirme con su bendición tener junto a mí a los seres que tanto amo.

A mis padres Rafael y Margoth, que siempre me apoyaron en todo momento y nunca me dejaron solo, por el esfuerzo realizado por ellos en darme la educación que ya tiene su redito, gracias por enseñarme que nada es imposible en la vida y que no importa el tiempo que te demores en hacerlo realidad.

A mi hermano, el amigo que siempre ha estado en toda la etapa estudiantil y que me apoyo en este proyecto de todas las formas posibles, gracias campeón.

A mi cuñada y sobrinos por ser el apoyo, la alegría y esa fortaleza para seguir adelante.

A mis compañeros inseparables Dante, Jack y Rocky que día a día alegran mi vida y que a pesar de que uno me cuida desde el cielo, siempre serán la felicidad en la familia.

A mi amigo y compañero de tesis, Jherson, con quien realizamos todo a nuestro alcance para culminar con esmero y dedicación el presente objetivo tan anhelado.

A todas las personas que colaboraron para el desarrollo y culminación de este proyecto de verdad, muchas gracias.

Alexander

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por bendecirme en la vida, brindándome salud, sabiduría, perseverancia y el acompañamiento y apoyo de una familia maravillosa; pilares fundamentales para culminar con éxito esta tan importante meta.

A mis padres, Efraín Alberto y Nubia Esmeralda, por su confianza y apoyo incondicional, en especial, en momentos de adversidades e inconvenientes, durante los cuales, al mirar a mi costado siempre estuvieron ellos dispuestos a poner el hombro, a darme una mano, un consejo o un regaño; decididos a juntos salir a delante y luchar por ese sueño ¡nuestro sueño!, también, gracias infinitas por la paciencia que me han tenido ¡gracias y mil gracias!

A mi hermana, Mayelín Juliana, por los enojos y alegrías, por las lágrimas y sonrisas, por los regaños y consejos, por los jubilosos saludos y amargas despedidas, por la seguridad de saber que, aunque estemos cerca o lejos, siempre será ella la que más me quiere y yo, el que más la quiero.

A los profesores de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica Salesiana, por haber compartido conmigo sus conocimientos, experiencias y valores a lo largo de todos los semestres de la carrera, en especial, a la Máster Verónica Yépez, por guiar y asesorar este trabajo de titulación.

A mi compañero de tesis, Alexander, con quien he formado un gran equipo de trabajo, y a mis amigos de aulas, que ahora además de ser amigos y compañeros, serán mis colegas.

A los técnicos del Departamento de Gestión de Riego y Drenaje del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha (GADPP), y a los habitantes de la comuna San Vicente Alto, por todas las atenciones, colaboración e información brindada.

Jherson

ÍNDICE

CAPÍTULO I

| | |
|--|---|
| INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL | 1 |
| 1.1. Antecedentes..... | 1 |
| 1.2. Planteamiento del problema..... | 2 |
| 1.3. Justificación e importancia del proyecto..... | 2 |
| 1.4. Objetivos..... | 3 |
| 1.4.1. Objetivo general..... | 3 |
| 1.4.2. Objetivos específicos..... | 3 |
| 1.5. Alcance del proyecto..... | 4 |

CAPÍTULO II

| | |
|--|----|
| MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1. Aforamiento de caudales..... | 5 |
| 2.1.1. Métodos de aforo..... | 5 |
| 2.1.1.1. <i>Métodos de aforo directo.</i> | 5 |
| 2.1.1.2. <i>Métodos de área velocidad.</i> | 6 |
| 2.1.1.3. <i>Métodos de secciones contraídas.</i> | 7 |
| 2.1.2. Acequia “Guanguilqui”..... | 9 |
| 2.2. Diseño agronómico..... | 12 |
| 2.2.1. Relación suelo – agua..... | 12 |
| 2.2.1.1. <i>Textura.</i> | 12 |
| 2.2.1.2. <i>Estructura.</i> | 13 |
| 2.2.1.3. <i>Porosidad.</i> | 13 |

| | | |
|------------|---|----|
| 2.2.1.4. | <i>Profundidad.</i> | 14 |
| 2.2.1.5. | <i>Configuración del terreno o topografía.</i> | 15 |
| 2.2.1.6. | <i>Estado de humedad del suelo.</i> | 15 |
| 2.2.1.7. | <i>Infiltración.</i> | 18 |
| 2.2.2. | Relación suelo – agua - clima | 20 |
| 2.2.2.1. | <i>Evapotranspiración (ET).</i> | 21 |
| 2.2.2.2. | <i>Evapotranspiración del cultivo de referencia o neta (ETo).</i> | 21 |
| 2.2.2.3. | <i>Coeficiente de cultivo (Kc).</i> | 21 |
| 2.2.2.4. | <i>Evapotranspiración del cultivo (ETc).</i> | 23 |
| 2.2.2.5. | <i>Métodos para determinar la evapotranspiración.</i> | 23 |
| 2.2.2.5.1. | Software FAO CROPWAT 8,0. | 24 |
| 2.2.2.5.2. | Método del tanque evaporímetro. | 25 |
| 2.2.3. | Programación de riego | 28 |
| 2.2.3.1. | <i>Precipitación efectiva (Pe).</i> | 28 |
| 2.2.3.2. | <i>Demanda de riego neta (Dn).</i> | 30 |
| 2.2.3.3. | <i>Demanda de bruta o total (Dt).</i> | 30 |
| 2.2.3.4. | <i>Eficiencia del sistema de riego (Er).</i> | 31 |
| 2.2.3.4.1. | <i>Eficiencia de conducción (Ec).</i> | 31 |
| 2.2.3.4.2. | <i>Eficiencia de distribución (Ed).</i> | 31 |
| 2.2.3.4.3. | <i>Eficiencia de aplicación (Ea).</i> | 32 |
| 2.2.3.5. | <i>Lámina de riego neto (Ln).</i> | 33 |
| 2.2.3.6. | <i>Lámina de riego bruta o total (Lt).</i> | 34 |
| 2.2.3.7. | <i>Frecuencia de riego (Fr).</i> | 34 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.2.3.8. | <i>Tiempo de riego (Tr).</i> | 34 |
| 2.3. | Diseño hidráulico | 35 |
| 2.3.1. | Ecuaciones generales | 35 |
| 2.3.1.1. | <i>Ecuación de continuidad.</i> | 35 |
| 2.3.1.2. | <i>Ecuación de Hazen – Williams.</i> | 36 |
| 2.3.1.3. | <i>Ecuación de caudal en nodos.</i> | 38 |
| 2.3.1.4. | <i>Ecuación del diámetro tentativo de una tubería.</i> | 39 |
| 2.3.1.5. | <i>Ecuación de Bernoulli.</i> | 39 |
| 2.3.2. | Flujos en la tubería | 41 |
| 2.3.3. | Determinación del régimen de flujo | 42 |
| 2.3.4. | Estimación de pérdidas de carga | 43 |
| 2.3.4.1. | <i>Pérdidas de carga por fricción.</i> | 44 |
| 2.3.4.2. | <i>Pérdidas de carga debido a elementos singulares.</i> | 47 |
| 2.3.5. | Tiempo de llenado y vaciado de un depósito con altura variable | 50 |
| 2.3.6. | Obras de arte especiales para agua | 52 |
| 2.3.6.1. | <i>Sifón invertido.</i> | 52 |
| 2.3.7. | Estructuras complementarias de conducción de agua | 54 |
| 2.3.7.1. | <i>Tanque rompe presiones.</i> | 54 |
| 2.4. | Riego | 56 |
| 2.4.1. | Métodos de riego | 57 |
| 2.4.1.1. | <i>Riego por inundación.</i> | 57 |
| 2.4.1.2. | <i>Riego por surcos y corrugaciones.</i> | 59 |
| 2.4.1.3. | <i>Riego por goteo.</i> | 60 |

| | |
|--|----|
| 2.4.1.4. Riego por aspersión..... | 62 |
| 2.4.1.4.1. Tipos de riego por aspersión..... | 62 |
| 2.4.1.4.2. Componentes del sistema de riego por aspersión..... | 65 |
| 2.4.1.4.3. Ventajas del sistema de riego por aspersión..... | 70 |
| 2.4.1.4.4. Desventajas del sistema de riego por aspersión..... | 71 |
| 2.4.2. Selección de un sistema de riego | 72 |

CAPÍTULO III

| | |
|--|-----------|
| RECOPILOCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE..... | 73 |
| 3.1. Recopilación de información existente..... | 73 |
| 3.1.1. Análisis de la documentación existente | 75 |
| 3.1.2. Identificación de la situación actual de la zona de estudio | 76 |
| 3.2. Perspectiva social..... | 78 |
| 3.2.1. Área de riego cultivable | 78 |
| 3.2.2. Caudal concesionado | 78 |
| 3.2.3. Población beneficiaria..... | 79 |
| 3.2.4. Servicios básicos..... | 79 |
| 3.2.4.1. Agua de consumo humano..... | 79 |
| 3.2.4.2. Alcantarillado..... | 79 |
| 3.2.4.3. Manejo de desechos sólidos..... | 79 |
| 3.2.4.4. Energía eléctrica, telefonía e internet..... | 80 |
| 3.2.4.5. Centros educativos..... | 80 |
| 3.2.4.6. Salud pública..... | 80 |
| 3.2.4.7. Vías de comunicación y transporte..... | 80 |

| | | |
|-------------------------------|--|-----------|
| 3.2.5. | Análisis de la situación actual y legal de la organización beneficiaria..... | 81 |
| 3.2.6. | Caracterización socio económica de la organización beneficiaria | 82 |
| 3.3. | Datos meteorológicos..... | 86 |
| 3.3.1. | Precipitación | 86 |
| 3.3.2. | Temperatura | 87 |
| 3.3.3. | Humedad relativa | 89 |
| 3.3.4. | Velocidad del viento | 90 |
| 3.3.5. | Heliofanía..... | 91 |
| 3.3.6. | Evaporación | 92 |
| 3.4. | Patrón de cultivos..... | 93 |
| 3.5. | Levantamiento topográfico | 93 |
| 3.5.1. | Reconocimiento de campo..... | 95 |
| 3.5.2. | Metodología de trabajo | 96 |
| 3.5.3. | Planimetría y altimetría..... | 97 |
| CAPÍTULO IV | | |
| DISEÑO AGRONÓMICO..... | | |
| | | 99 |
| 4.1. | Caudal de demanda de los cultivos..... | 99 |
| 4.1.1. | Cálculo de la evapotranspiración potencial (ET _o)..... | 99 |
| 4.1.1.1. | <i>Método del software CROPWAT 8,0 (FAO).</i> | 99 |
| 4.1.1.2 | <i>Método del tanque evaporímetro.</i> | 101 |
| 4.1.2. | Cálculo de la precipitación efectiva (Pe) | 104 |
| 4.1.3. | Cálculo de la demanda de riego (Dt) | 105 |
| 4.2. | Programación del riego | 115 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 4.2.1. | Cálculo de la lámina de riego total (Lr) | 115 |
| 4.2.2. | Cálculo de la frecuencia de riego (Fr)..... | 117 |
| 4.2.3. | Cálculo del tiempo de riego (Tr)..... | 119 |

CAPÍTULO V

AFORAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

| | | |
|----------|---|-----|
| | | 99 |
| 5.1. | Campañas de aforamiento..... | 122 |
| 5.1.1. | Aforamiento de la acequia “Guanguilquí” | 122 |
| 5.1.1.1. | <i>Aforamiento por el método del flotador.</i> | 122 |
| 5.1.2. | Aforamiento de la obra de captación | 130 |
| 5.1.2.1. | <i>Aforo por el método del flotador.</i> | 130 |
| 5.1.2.2. | <i>Aforo por el método empírico.</i> | 133 |
| 5.1.2.3. | <i>Capacidad de almacenamiento de la obra de captación.</i> | 138 |
| 5.1.2.4. | <i>Caudal de salida de la obra de captación.</i> | 141 |
| 5.1.3. | Aforamiento del reservorio | 148 |
| 5.1.3.1. | <i>Aforo por el método volumétrico.</i> | 149 |
| 5.1.3.2. | <i>Aforo por modelación en WaterCAD.</i> | 152 |
| 5.1.3.3. | <i>Capacidad de almacenamiento aproximada del reservorio.</i> | 155 |
| 5.1.3.4. | <i>Caudal de salida del reservorio.</i> | 157 |
| 5.1.3.5. | <i>Tiempo de llenado y vaciado del reservorio.</i> | 162 |
| 5.1.3.6. | <i>Balance hídrico del reservorio.</i> | 164 |
| 5.1.3.7. | <i>Turnos para el riego por aspersión.</i> | 167 |
| 5.2. | Descripción del sistema de riego | 168 |

| | | |
|---|---|------------|
| 5.2.1. | Descripción de la conducción principal y secundaria..... | 168 |
| 5.3. | Descripción técnica visual de la situación actual del sistema de riego..... | 172 |
| CAPÍTULO VI | | |
| DISEÑO HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL..... | | 178 |
| 6.1. | Criterios de diseño | 178 |
| 6.2. | Metodología de diseño..... | 179 |
| 6.2.1. | Ejemplo de cálculo de la línea de conducción principal..... | 179 |
| 6.2.2. | Ejemplo de cálculo de la línea de conducción secundaria..... | 186 |
| 6.3. | Diseño de estructuras complementarias..... | 192 |
| CAPÍTULO VII | | |
| EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES | | 99 |
| 7.1. | Caracterización del ecosistema..... | 202 |
| 7.1.1. | Flora..... | 203 |
| 7.1.2. | Fauna..... | 203 |
| 7.2. | Línea base y valoración ambiental del proyecto..... | 204 |
| 7.3. | Descripción del proyecto | 207 |
| 7.3.1. | Etapas del proyecto..... | 207 |
| 7.3.2. | Fases del proyecto..... | 208 |
| 7.4. | Plan de manejo ambiental (PMA)..... | 208 |
| 7.4.1. | Estructura del plan de manejo ambiental (PMA)..... | 208 |
| 7.4.1.1. | <i>Plan de prevención y mitigación.....</i> | <i>208</i> |
| 7.4.1.2. | <i>Plan de manejo de residuos.....</i> | <i>210</i> |
| 7.4.1.3. | <i>Plan de relaciones comunitarias.....</i> | <i>210</i> |

| | |
|--|-----|
| 7.4.1.4. Plan de salud ocupacional y seguridad laboral. | 211 |
| 7.4.1.5. Plan de capacitación..... | 211 |
| 7.4.1.6. Plan de rehabilitación..... | 212 |
| 7.4.1.7. Plan de cierre y abandono..... | 212 |
| 7.4.1.8. Plan de seguimiento y monitoreo..... | 213 |

CAPÍTULO VIII

| | |
|--|-----------|
| VIABILIDAD ECONÓMICA Y FINANCIERA..... | 99 |
| 8.1. Presupuesto referencial..... | 215 |
| 8.2. Cronograma valorado de ejecución de actividades..... | 217 |
| 8.3. Viabilidad económica..... | 220 |
| 8.4. Viabilidad financiera..... | 220 |
| 8.5. Indicadores económicos..... | 220 |
| 8.5.1. Valor actual neto (VAN)..... | 220 |
| 8.5.2. Tasa interna de retorno (TIR)..... | 221 |
| 8.5.3. Relación beneficio – costo (B/C)..... | 221 |
| 8.6. Inversión del proyecto..... | 221 |
| 8.7. Egresos por operación y mantenimiento del proyecto..... | 221 |
| 8.8. Ingresos del proyecto..... | 225 |
| 8.9. Beneficios valorados del proyecto..... | 227 |
| 8.10. Flujo de caja del proyecto..... | 229 |

CAPÍTULO IX

| | |
|--|-----------|
| OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO..... | 99 |
| 9.1. Operación y mantenimiento del sistema de riego por aspersión..... | 232 |

| | | |
|------------------------------|---|-----------|
| 9.2. | Operación del sistema de riego por aspersión..... | 232 |
| 9.2.1. | Operación de las tuberías de Conducción..... | 232 |
| 9.2.2. | Aplicación del riego..... | 233 |
| 9.3. | Mantenimiento del sistema de riego por aspersión..... | 234 |
| 9.3.1. | Mantenimiento de las tuberías de conducción..... | 235 |
| 9.3.2. | Mantenimiento del reservorio..... | 235 |
| CONCLUSIONES..... | | 99 |
| RECOMENDACIONES | | 99 |
| REFERENCIAS..... | | 99 |
| ANEXOS..... | | 99 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Tabla 1 | Textura de un suelo Franco..... | 13 |
| Tabla 2 | Profundidad de las raíces de algunos cultivos. | 14 |
| Tabla 3 | Factor de agotamiento de algunos cultivos..... | 17 |
| Tabla 4 | Valores promedios de las propiedades físicas de los suelos según su textura. | 19 |
| Tabla 5 | Duración de las fases del ciclo vegetativo de cultivos anuales..... | 22 |
| Tabla 6 | Coefficiente de cultivo (K_c) de cultivos anuales. | 23 |
| Tabla 7 | Coefficiente de ajuste (K_p) para estimar E_{To} en el tanque evaporímetro. | 27 |
| Tabla 8 | Valores de eficiencia de aplicación de riego para diferentes métodos. | 33 |
| Tabla 9 | Coefficiente de Chow (C_h) para diferentes tipos de conducto..... | 37 |
| Tabla 10 | Límite de velocidades máximas para diferentes materiales de paredes..... | 37 |
| Tabla 11 | Coefficiente de Weisbach (C_e) para contracciones bruscas..... | 48 |
| Tabla 12 | Recopilación de información y fortalecimiento organizacional. | 74 |
| Tabla 13 | Datos generales del proyecto | 75 |
| Tabla 14 | Labores que desempeñan los usuarios..... | 82 |
| Tabla 15 | Ingresos y promedio de gastos familiares..... | 84 |
| Tabla 16 | Promedio de gastos económicos..... | 85 |
| Tabla 17 | Datos de la estación agrometeorológica. | 86 |
| Tabla 18 | Evapotranspiración potencial por método CROPWAT (FAO). | 100 |
| Tabla 19 | Evapotranspiración potencial por método de tanque evaporímetro..... | 102 |
| Tabla 20 | Resumen de resultados de evapotranspiración. | 103 |
| Tabla 21 | Precipitación efectiva mensual (P_e)..... | 105 |

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Tabla 22 | Caudal de demanda de riego para el cultivo de cebolla..... | 109 |
| Tabla 23 | Caudal de demanda de riego para el cultivo de trigo..... | 111 |
| Tabla 24 | Caudal de demanda de riego para los pastos. | 112 |
| Tabla 25 | Caudal de demanda de riego para el cultivo de papa..... | 114 |
| Tabla 26 | Caudal de demanda de riego promedio de los cultivos..... | 115 |
| Tabla 27 | Lámina de riego neta (L_n) y lámina de riego total (L_r) de los cultivos. | 117 |
| Tabla 28 | Frecuencia de riego (F_r) de los cultivos..... | 119 |
| Tabla 29 | Tiempo de riego (T_r) de los cultivos..... | 120 |
| Tabla 30 | Resumen del análisis agronómico de los cultivos..... | 121 |
| Tabla 31 | Medidas de la sección de flujo de prueba en la acequia Guanguilquí. | 125 |
| Tabla 32 | Datos del tiempo que tarda el flotador en recorrer la longitud de prueba... | 127 |
| Tabla 33 | Resumen de las campañas de aforo de la acequia Gualguilquí. | 130 |
| Tabla 34 | Área transversal de la compuerta de ingreso de la obra de captación. | 131 |
| Tabla 35 | Resumen de las campañas de aforo de la obra de captación..... | 132 |
| Tabla 36 | Medidas de la compuerta de control de la obra de captación. | 136 |
| Tabla 37 | Parámetros y medidas del desarenador de la obra de captación. | 140 |
| Tabla 38 | Parámetros y medidas del desarenador de la obra de captación. | 143 |
| Tabla 39 | Análisis de pérdidas de carga locales en la tubería..... | 144 |
| Tabla 40 | Caudal de salida del desarenador para diferentes niveles de llenado. | 148 |
| Tabla 41 | Datos del tiempo que tarda en llenarse el balde plástico. | 150 |
| Tabla 42 | Resumen del aforamiento del reservorio. | 151 |
| Tabla 43 | Caudales concentrados obtenidos por el método de nodos..... | 154 |
| Tabla 44 | Capacidad aproximada de almacenamiento del reservorio..... | 156 |

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Tabla 45 | Parámetros y medidas del reservorio del sistema de riego. | 157 |
| Tabla 46 | Análisis de pérdidas de carga locales en la tubería. | 157 |
| Tabla 47 | Caudal de salida del reservorio de acuerdo al nivel de llenado. | 161 |
| Tabla 48 | Parámetros del reservorio del sistema de riego. | 163 |
| Tabla 49 | Balance hídrico del reservorio. | 166 |
| Tabla 50 | Descripción del reservorio “San Vicente Alto”. | 171 |
| Tabla 51 | Descripción de la infraestructura existente en el sistema de riego. | 175 |
| Tabla 52 | Simbología utilizada para la simulación de la red en WaterCAD Vi8. | 194 |
| Tabla 53 | Resultados de la conducción principal obtenidas en WaterCAD. | 194 |
| Tabla 54 | Resultados de la conducción secundaria obtenida en WaterCAD. | 198 |
| Tabla 55 | Registro de la flora de la comuna San Vicente Alto. | 205 |
| Tabla 56 | Registro de fauna silvestre de la comuna San Vicente Alto. | 206 |
| Tabla 57 | Plan de seguimiento y monitoreo del PMA del sistema de riego. | 213 |
| Tabla 58 | Plan de monitoreo del PMA del sistema de riego. | 214 |
| Tabla 59 | Presupuesto referencial del sistema de riego. | 215 |
| Tabla 60 | Cronograma valorado de ejecución de actividades. | 217 |
| Tabla 61 | Detalle de costos de operación y mantenimiento del proyecto. | 222 |
| Tabla 62 | Costo de operación y mantenimiento del proyecto. | 223 |
| Tabla 63 | Costo proyectado de operación y mantenimiento del proyecto. | 224 |
| Tabla 64 | Ingresos del proyecto por pago de mensualidades. | 226 |
| Tabla 65 | Ingresos del proyecto por beneficios valorados. | 228 |
| Tabla 66 | Flujo de caja del proyecto. | 230 |
| Tabla 67 | Indicadores económicos del proyecto. | 231 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1 | Aforo volumétrico de un grifo casero o aspersor agrícola. | 6 |
| Figura 2 | Medición de la velocidad superficial del agua con el flotador. | 7 |
| Figura 3 | Vertedero Rectangular de cresta aguda con contracción lateral..... | 8 |
| Figura 4 | Túnel de conducción, realizado por la Compañía SEMAICA. | 10 |
| Figura 5 | Acequia Guanguilquí, sector San Vicente Alto. | 10 |
| Figura 6 | Obra de captación del sistema de riego. | 11 |
| Figura 7 | Estado de humedad del suelo. | 16 |
| Figura 8 | Evaporación y transpiración de las plantas. | 20 |
| Figura 9 | Tanque evaporímetro clase A. | 26 |
| Figura 10 | Eventos que intervienen en la evapotranspiración. | 29 |
| Figura 11 | Energía en flujo en tuberías. | 40 |
| Figura 12 | a) Flujo laminar en tuberías, b) Flujo turbulento en tuberías..... | 42 |
| Figura 13 | Valor del coeficiente k_s (k) para pérdidas locales en tuberías..... | 49 |
| Figura 14 | Gráfico de Gibson para ensanchamiento gradual de tuberías. | 49 |
| Figura 15 | Descarga con altura variable en el depósito..... | 51 |
| Figura 16 | Localización de anclajes (1)..... | 53 |
| Figura 17 | Localización de anclajes (2)..... | 53 |
| Figura 18 | Tanque rompe presión..... | 55 |
| Figura 19 | Riego por inundación..... | 58 |
| Figura 20 | Riego por surcos y corrugaciones. | 59 |
| Figura 21 | Riego por goteo..... | 61 |
| Figura 22 | Riego por aspersión..... | 62 |

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 23 | Sistema móvil de riego por aspersión. | 63 |
| Figura 24 | Sistema semi fijo de riego por aspersión. | 64 |
| Figura 25 | Sistema fijo de riego por aspersión. | 64 |
| Figura 26 | Sistemas mecanizados de riego por aspersión. | 65 |
| Figura 27 | Fuente de energía del riego por aspersión..... | 66 |
| Figura 28 | Red de conducción y de distribución. | 67 |
| Figura 29 | Propiedades de las tuberías. | 68 |
| Figura 30 | Aspersor. | 69 |
| Figura 31 | Modelo de aplicación de un aspersor en función de la presión. | 70 |
| Figura 32 | Ubicación del proyecto. | 76 |
| Figura 33 | Labores que desempeñan los usuarios. | 83 |
| Figura 34 | Ingresos y promedio de gastos familiares. | 84 |
| Figura 35 | Promedio de gastos económicos. | 85 |
| Figura 36 | Precipitación media mensual. | 87 |
| Figura 37 | Temperatura media mensual. | 88 |
| Figura 38 | Temperatura máxima mensual. | 88 |
| Figura 39 | Temperatura mínima mensual..... | 89 |
| Figura 40 | Humedad relativa. | 90 |
| Figura 41 | Velocidad mensual del viento. | 91 |
| Figura 42 | Heliofanía..... | 92 |
| Figura 43 | Evaporación. | 93 |
| Figura 44 | Precisión y tiempos de observación equipo GPS Leica 1200 L1/L2..... | 94 |
| Figura 45 | Equipo GPS Leica 1200 L1/L2..... | 95 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| Figura 46 | Toma de puntos con la antena LEICA GPS 1200..... | 97 |
| Figura 47 | Resumen de resultados de evapotranspiración. | 103 |
| Figura 48 | Marcación del tramo de recorrido de los elementos flotadores. | 124 |
| Figura 49 | Medición de la sección de la acequia en el tramo de prueba. | 124 |
| Figura 50 | Elementos utilizados como flotador..... | 126 |
| Figura 51 | Medición del tiempo que tarda el flotador en recorrer la longitud de prueba. | 127 |
| Figura 52 | Obra de captación del sistema de riego..... | 134 |
| Figura 53 | Aguas arriba de la obra de captación del sistema de riego. | 134 |
| Figura 54 | Aguas abajo de la obra de captación del sistema de riego. | 135 |
| Figura 55 | Medidas de la compuerta de la captación del sistema de riego. | 135 |
| Figura 56 | Esquema de análisis de la compuerta de la obra de captación..... | 136 |
| Figura 57 | Bandejas del desarenador de la captación del sistema de riego..... | 139 |
| Figura 58 | Vista en planta del desarenador de la captación del sistema de riego. ... | 139 |
| Figura 59 | Esquema de análisis del desarenador de la obra de captación. | 142 |
| Figura 60 | Ramales secundarios (S2, S3 y S4) del sistema de riego..... | 149 |
| Figura 61 | Medición del tiempo que tarda el recipiente en llenarse..... | 150 |
| Figura 62 | Esquema de cálculo de los caudales de los nodos en la red abierta..... | 152 |
| Figura 63 | Vista del reservorio del sistema de riego en el plano topográfico. | 155 |
| Figura 64 | Corte transversal del reservorio del sistema de riego. | 156 |
| Figura 65 | Balance hídrico del reservorio. | 166 |
| Figura 66 | Panorámica de la comuna San Vicente Alto..... | 203 |

RESUMEN

Este proyecto, cuyo objetivo es realizar el diseño hidráulico para el mejoramiento y rehabilitación del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto, se presenta como factible y propone solución a los problemas hidráulicos que existen en el sistema, además, permitirá optimizar el recurso hídrico, incrementar el número de usuarios y la superficie de riego. Para ello, se hará la recopilación de información del sitio del proyecto a través de entidades gubernamentales y de la toma de datos en campo, como aforamiento de caudales y levantamiento topográfico, también, con la recolección de testimonios de la comunidad que sean relevantes para el estudio. Con la información obtenida, se hace una simulación en el software WaterCAD V8i para identificar los problemas hidráulicos existentes y a partir de las consideraciones técnicas para corregirlos, elaborar el diseño del sistema de riego por aspersión que mejor se adapte a las necesidades de la comunidad, utilizando la misma herramienta computacional; para finalmente, elaborar el presupuesto referencial, cronograma de trabajo, planos de toda la red y plan de manejo ambiental, necesarios para su construcción. El caudal concesionado correspondiente a 20,10 l/s, no es suficiente para regar al mismo tiempo la totalidad del área cultivable de 67,97 Ha, por lo tanto, se propone dividir al riego en turnos de 10 horas, asegurando la eficiencia hidráulica de dichos turnos si los usuarios siguen los procedimientos de operación y mantenimiento del sistema recomendados.

PALABRAS CLAVE: SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN/AFORO DE CAUDALES

ABSTRACT

This project, whose objective is to carry out the hydraulic design for the improvement and rehabilitation of the irrigation system of the commune “San Vicente Alto”, is presented as a feasible project and proposes a solution to the hydraulic problems that exist in the system, also, will allow optimizing the hydric resource, increasing the number of users and the irrigation surface. For it, the information of the project site will be collected through government entities and data collection in the field as flow rate and topographic survey, likewise, with the collecting testimonies from the community that are relevant to the study. With the information obtained, a simulation is done in the WaterCAD V8i software to identify existing hydraulic problems and from the technical considerations to correct them, develop the design of the sprinkler irrigation system that best suits the needs of the community, using the same computational tool, to finally, prepare the referential budget, work schedule, all network plans and environmental management plan, necessary for its construction. The concessioned flow corresponding to 20,10 l/s is not sufficient to irrigate the entire arable area of 67,97 Ha, thus, it is proposed to divide irrigation into 10-hour shifts, ensuring the hydraulic efficiency of said irrigation shifts if users follow the recommended system operation and maintenance procedures.

KEYWORDS: SPRINKLER IRRIGATION SYSTEM/ FLOW RATE

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Antecedentes

En base al oficio sin número emitido con fecha 16 de julio de 2018 por el Sr. Segundo Cholango en calidad de presidente de la comuna San Vicente Alto, quien solicita “... el mejoramiento de las líneas de conducción principal, secundaria y terciaria, con cambio de tuberías nuevas y lo requerido conforme al análisis técnico...” se realiza el estudio de factibilidad social No. INF-185-CPO-18, con fecha 24 de octubre de 2018, en donde se determina la factibilidad social para el proyecto “Rehabilitación del Sistema de Riego San Vicente Alto”, misma que cubrirá un área de 67,97 hectáreas regadas para actividades netamente agrícolas.

Por lo anteriormente descrito, el proceso entra en pedido de priorización de estudios y, de acuerdo al oficio sin número emitido por el Departamento de Gestión de Riego y Drenaje (DGRD) del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha (GADPP), con fecha 5 de noviembre de 2019, la entidad autoriza y se compromete a facilitar la información necesaria para la elaboración del estudio técnico del proyecto de titulación intitulado “DISEÑO HIDRÁULICO PARA EL MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO DE LA COMUNA SAN VICENTE ALTO, UBICADA EN LA PARROQUIA CANGAHUA, CANTÓN CAYAMBE, PROVINCIA DE PICHINCHA-ECUADOR”, a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica Salesiana, autores del presente trabajo.

1.2. Planteamiento del problema

La comuna San Vicente Alto, ubicada en la parroquia Cangahua, cantón Cayambe, provincia de Pichincha; posee un sistema de riego que opera desde el año 2007, que actualmente presenta deterioro y ruptura de tuberías, causadas por sedimentación y cargas de sobre presión en ellas, además, un déficit de acometidas parcelarias operativas. Por ende, no asegura el transporte del caudal necesario para satisfacer las necesidades de los usuarios, afectando así el desarrollo productivo y económico de los mismos.

Por esta razón, es necesario realizar los estudios pertinentes para el diseño del mejoramiento y rehabilitación del sistema de riego, que mejor se ajuste a las condiciones naturales del sitio y a las necesidades de los usuarios.

1.3. Justificación e importancia del proyecto

La comuna San Vicente Alto es una de las 50 comunidades usuarias de la acequia Guanguilquí, que transporta un caudal concesionado de 1160 l/s, abasteciendo de agua a las comunidades asentadas en las parroquias de Cangahua, Otón, Cusubamba y Ascázubi del cantón Cayambe, debido a lo cual, se le ha otorgado la concesión de un caudal de 20,10 l/s, según el certificado de caudales del 1 de noviembre de 2019 (Ver Anexo 2), que es almacenado en un reservorio para posteriormente ser transportado y distribuido por las tuberías de la red del sistema de riego, el cual, al presentar problemas de deterioro y ruptura de tuberías, además de un déficit de acometidas o tomas parcelarias operativas, no permite regar las 67,97 hectáreas de superficie netamente agrícola con las que cuenta la comunidad.

Lo indicado, permite establecer que los problemas hidráulicos del sistema no permitirían realizar el riego de toda la superficie de terreno cultivable, por lo tanto, el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha (GADPP), en su afán

de dar una solución a este problema, ha decidido realizar los estudios pertinentes para el mejoramiento y rehabilitación del sistema.

Al realizar e implementar dicho diseño, se logrará optimizar el recurso hídrico, incrementar el número de usuarios y la superficie de riego al aprovechar terrenos de secano, contribuyendo así, con el mejoramiento de las condiciones de vida de los pobladores de la comuna San Vicente Alto.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar el diseño hidráulico a través de la recopilación y evaluación de la información necesaria para el mejoramiento y rehabilitación del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto.

1.4.2. Objetivos específicos

Recopilar la información del sitio del proyecto con ayuda de las entidades gubernamentales y de los habitantes del lugar con el fin de establecer la línea base del proyecto.

Evaluar las condiciones actuales del sistema de riego a través de la descripción técnica de la red y sus componentes para poder identificar los problemas hidráulicos existentes y que deberán ser solucionados con el nuevo diseño.

Realizar el diseño del sistema de riego por medio de simulaciones en WaterCAD para determinar el que mejor se ajuste a las necesidades de los usuarios, a las condiciones naturales del sitio y que cumpla con la normativa de diseño.

1.5. Alcance del proyecto

Realizar el diseño hidráulico para el mejoramiento y rehabilitación del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto, implicará el desarrollo de las siguientes etapas:

- Reconocimiento del sitio del proyecto.
- Toma de datos en campo.
- Levantamiento topográfico.
- Recopilación de información del sitio del proyecto con la ayuda de los pobladores de la comuna San Vicente Alto y de entidades gubernamentales, como el Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Pichincha (GADPP), Gobierno Autónomo Descentralizado Intercultural y Plurinacional del Municipio de Cayambe (GADIP-Cayambe), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), etc.
- Evaluación del sistema de riego actual.
- Consideraciones técnicas para el diseño.
- Diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego.
- Estudio de los aspectos ambientales.
- Presupuesto y planos del sistema de riego.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. *Aforamiento de caudales*

El aforo es la acción para medir el volumen o caudal de un curso de agua que pasa por una sección en un tiempo previamente establecido. Lo recomendable es que los aforos se lleven a cabo en las temporadas de los meses de estiaje (tiempo de poca lluvia) y en los meses lluviosos, para así determinar los caudales mínimos y máximos del curso de agua evaluado (Briones & García, 1997).

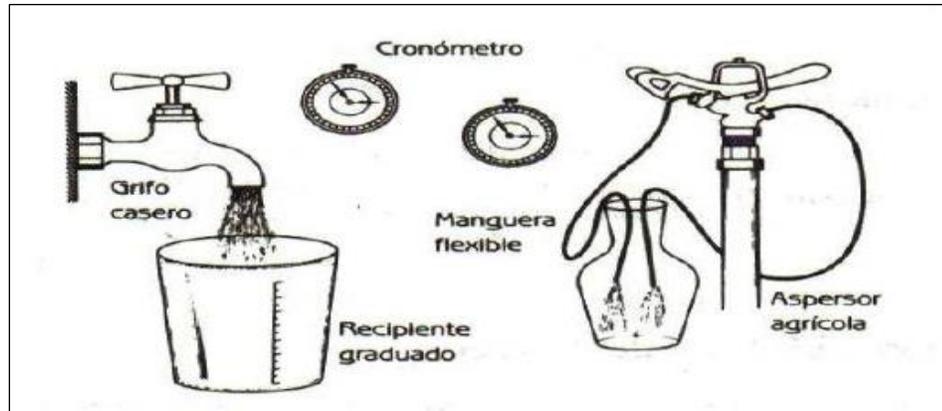
2.1.1. Métodos de aforo

2.1.1.1. Métodos de aforo directo.

Estos expresan al caudal como función del volumen sobre el tiempo ($Q = V/t$); entre ellos está el aforo gravimétrico, volumétrico (figura 1), químico, los medidores de hélice, fabricados de acuerdo con el mismo principio y el que consiste en medir el descenso del nivel del agua en un depósito con dimensiones conocidas y el tiempo que tarda en hacerlo (Briones & García, 1997).

Figura 1

Aforo volumétrico de un grifo casero o aspersor agrícola.



Nota: El aforo volumétrico mide con el volumen conocido de un recipiente el caudal de una corriente de agua. Fuente: (Briones & García, 1997, pág. 65).

2.1.1.2. Métodos de área velocidad.

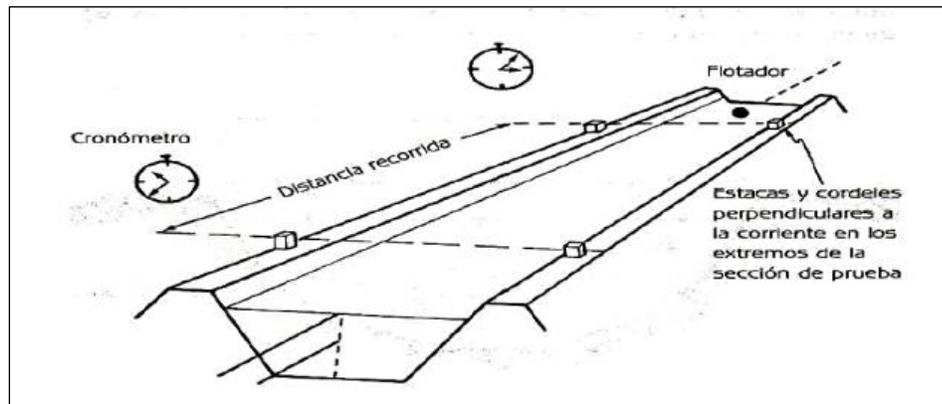
El método del flotador es el más aplicado, siendo utilizado para medir la velocidad del cuerpo de agua, más no el caudal directamente. Los flotadores proporcionan una medición aproximada de la velocidad de flujo y son empleados cuando no se requiere gran exactitud. El flotador mide la velocidad superficial del agua por lo cual se emplea en aforo de acequias, canales, ríos y diques, registrando el tiempo que tarda el flotador en recorrer una distancia conocida (generalmente de 10 m), marcada previamente sobre un tramo recto y uniforme, como se muestra en la figura 2 (Briones & García, 1997).

El flotador es soltado varias veces a unos cuantos metros aguas arriba de la sección de prueba, cronometrando y obteniendo un tiempo promedio, que servirá para determinar la velocidad superficial, dividiendo el valor de la distancia recorrida entre el tiempo promedio cronometrado. Es necesario corregir el valor de la medición del tiempo obtenido

con el flotador, multiplicando por unos coeficientes que varían de 0.65 a 0.80; misma que debe ser de 0.80 para grandes caudales (ríos, diques y canales) (Briones & García, 1997).

Figura 2

Medición de la velocidad superficial del agua con el flotador.



Nota: El flotador mide la velocidad superficial del agua con el tiempo en que tarda en recorrer una distancia fijada para determinar el caudal de una corriente de agua.

Fuente: (Briones & García, 1997, pág. 67).

2.1.1.3. Métodos de secciones contraídas.

“Un vertedero es una escotadura de forma regular, a través de la cual el agua puede fluir. Los vertederos se clasifican, de acuerdo con la forma de la escotadura en rectangulares triangulares, trapezoidales, circulares y parabólicos”. (Briones & García, 1997, pág. 71) Ver figura 3.

Los vertederos rectangulares fueron uno de los primeros tipos utilizados en el aforo de corrientes. Su principio hidráulico sirvió para el diseño de los otros tipos, la fórmula básica para un vertedero rectangular con velocidad de acercamiento despreciable está dado por la ecuación 1 (Briones & García, 1997).

$$Q = c * L * h^{\frac{3}{2}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

Q = Gasto descargado por la escotadura en m³/s.

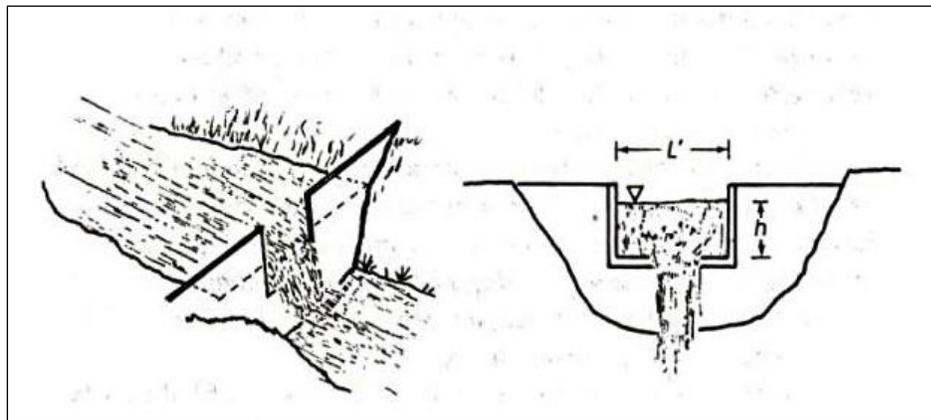
L = Longitud efectiva de la cresta en m.

H = Carga por velocidad en m.

c = Coeficiente experimental que engloba a las constantes numéricas y al coeficiente de fricción.

Figura 3

Vertedero Rectangular de cresta aguda con contracción lateral.



Nota: El vertedero rectangular de dimensiones conocidas mide el caudal de una corriente de agua. Fuente: (Briones & García, 1997, pág. 71).

Las contracciones laterales reducen la longitud efectiva de la cresta. A través de la fórmula experimental de Francis en Lowell Mass mostrada en la ecuación 2 (Briones & García, 1997).

$$L = L' - 0.1 * n * h \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

L' = Longitud real de la cresta en m.

n = Número de contracciones en el vertedero.

De acuerdo a los experimentos de Francis se probaron carga de (0.18 – 0.49) m, en longitudes de vertedero de (2.40 – 3.00) m y velocidades de acceso de (0.06 – 0.30) m/s, dando como resultado un coeficiente $C = 1.84$ (Briones & García, 1997).

2.1.2. Acequia “Guanguilquí”

La acequia Guanguilquí fue construida hace más de 200 años, para transportar aguas existentes en la zona de la quebrada Huamburo Huaycu, con una extensión de 43 km y un caudal original de 220 l/s, luego se unió el ramal que proviene del río Purotog ubicado en el sector de Cangahua. La ubicación geoespacial del canal de riego se distribuye en 3 etapas, de acuerdo a la información proporcionada por los síndicos del Directorio de Aguas de la acequia Guanguilquí, a continuación se detalla las etapas y la infraestructura con la que cuenta la acequia: etapa 1, canal de conducción desde la salida del túnel que va hasta la parroquia de Ascázubi donde termina el canal; etapa 2, túnel de conducción construida por SEMAICA (Ver figura 4); etapa 3, existencia de captaciones y tramos de conducción, Ver la figura 5 y 6 (Acero, 2014).

Figura 4

Túnel de conducción, realizado por la Compañía SEMAICA.



Nota: Túnel de conducción de la etapa 2 de la acequia Guanguilquí construido en el 2001. Fuente: (Acero, 2014, pág. 87).

Figura 5

Acequia Guanguilquí, sector San Vicente Alto.



Nota: Acequia Guanguilquí en el límite de la comuna San Vicente Alto y la comuna Pucará. Elaborado por: Los autores.

Figura 6

Obra de captación del sistema de riego.



Nota: Obra de captación de la comuna San Vicente Alto en la acequia Guanguilquí.

Elaborado por: Los autores.

El manejo actual de las aguas de la acequia Guanguilquí - Purutog, recae sobre la administración del Directorio de Aguas de la Acequia “Guanguilquí”, facultada por la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA) e integrada por miembros de las comunidades usuarias. La acequia transporta un total de 1160 l/s que beneficia a unas 2.583 familias, distribuidas en 50 comunidades de las parroquias de Cangahua, Otón, Cusubamba y Azcásubi del cantón Cayambe (Acero, 2014).

La administración interna del sistema se sustenta con el aporte económico de las comunidades, a razón de un dólar por litro de agua asignado. A pesar de las obras realizadas, el caudal sigue siendo insuficiente, por lo cual es necesario efectuar turnos de riego para cada comunidad usuaria de dicho canal, generalmente de 24 horas dos o tres días a la semana (Acero, 2014).

2.2. *Diseño agronómico*

El diseño agronómico tiene como objetivo garantizar que el método de riego implementado tenga la capacidad de suministrar la cantidad de agua que el cultivo necesita para su adecuado desarrollo (Cadena V. , 2016).

2.2.1. *Relación suelo – agua*

El agua procede de la atmósfera en forma de lluvia, nieve, granizo, infiltraciones y de las capas freáticas. El agua ejerce importantes acciones tanto en la conformación de los suelos como en la fertilidad del mismo, a tal punto que se dice que donde no hay agua, no hay suelo (Cadena V. , 2016).

El suelo es la primera capa de tierra, con espesor variable y en la cual se sitúa la mayor cantidad de materia orgánica. Está formado por partículas, agregados y terrones, entre los cuales se encuentran espacios vacíos llamados poros, que ocupan entre el 35 y 70% del espacio del suelo, dependiendo de la estructura y textura de éste. Es necesario conocer las características de los poros por la influencia que ejerce sobre el crecimiento de la planta al encontrarse en ellos el agua y el aire. El movimiento y disponibilidad del agua en el suelo está determinado principalmente por las propiedades físicas de este, en especial la textura, la estructura, la porosidad y la profundidad (Cadena V. , 2016).

2.2.1.1. *Textura.*

“La textura es la proporción relativa de arena, limo y arcilla contenidos en el suelo; es decir que, atendiendo a su textura, los suelos pueden ser arena gruesa, arena media, arena fina, limosos o arcillosos, según el componente predominante”. (Cadena V. , 2016, pág. 18)

El presente trabajo no cuenta con un estudio de suelos, pero según (GADP-Cangahua, 2014, pág. 16) “La comuna San Vicente Alto cuenta con un suelo de textura Franca”. Lo que quiere decir que tiene una proporción de limo, arcilla y arena idónea, dicha composición es considerada tal cual se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Textura de un suelo Franco.

| Partículas del suelo | Porcentaje (%) |
|-----------------------------|-----------------------|
| Arena | 45 |
| Limo | 40 |
| Arcilla | 15 |

Nota: Proporción de las partículas en la textura de un suelo franco. Elaborado por:

Los autores con información tomada de (Cadena V. , 2016).

2.2.1.2. Estructura.

Se refiere a la capacidad que tienen las partículas del suelo para formar elementos de mayor tamaño e influye directamente en el crecimiento de las plantas. Según el (GADP-Cangahua, 2014, pág. 19) “la clasificación del suelo de la comuna San Vicente Alto es de Clase VI”, en donde se ubican los suelos de textura gruesa, caracterizados por tener poros de tamaño grande lo que hace que tengan baja capacidad de retención de agua y alta velocidad de infiltración, además de ser suelos menos fértiles, de mayor trabajabilidad, pero con la desventaja de que necesitan ser regados con mayor frecuencia.

2.2.1.3. Porosidad.

Es la fracción de volumen total del suelo que está ocupado por los poros; que es el espacio de aire que puede ser llenado con agua, o que es lo mismo, el volumen máximo de agua que un suelo puede contener (Cadena V. , 2016). La porosidad es directamente

proporcional al tamaño de las partículas, es decir, las partículas pequeñas presentan poros pequeños y viceversa.

“El valor de la porosidad representa el contenido del agua en estado de saturación. Los valores típicos de porosidad son: suelo arenoso= 30%, suelo franco= 50% y suelo arcilloso 65%” (Cadena V. H., 2016, pág. 25). Entonces, como se tiene un suelo franco, el porcentaje de porosidad será del 50 %.

2.2.1.4. Profundidad.

“Mientras más profundo sea el espesor del suelo, las raíces podrán extenderse más, podrá almacenar más agua, se podrá implementar cualquier método de riego. La profundidad del suelo explorado por las raíces depende de la especie cultivada y de las características de este” (Cadena V. , 2016, pág. 26). En la tabla 2 se muestra la profundidad de las raíces de algunos cultivos, en función al tipo de suelo en los que se encuentren.

Tabla 2

Profundidad de las raíces de algunos cultivos.

| Cultivo | Profundidad de las raíces (mm) | | |
|---------|--------------------------------|--------|---------|
| | Tipo de suelo | | |
| | Arcilloso | Franco | Arenoso |
| Cebada | 600 | 800 | 1000 |
| Cebolla | 200 | 250 | 300 |
| Papa | 400 | 500 | 600 |
| Maíz | 600 | 800 | 1000 |
| Trigo | 600 | 850 | 1000 |
| Pastos | 600 | 800 | 1000 |

Nota: Profundidad que alcanzan las raíces de algunos cultivos según el tipo de suelo en el que se encuentren. Elaborado por: Los autores con información tomada de (Cadena V. , 2016).

2.2.1.5. Configuración del terreno o topografía.

Es necesario conocer la configuración del terreno, es decir, las desigualdades del terreno y además la ubicación de todos los detalles naturales y artificiales que estén sobre él (caminos, casas, etc.) para poder determinar el método de riego más adecuado. Por ejemplo, si el terreno tiene pendientes altas convendrá el riego por aspersión o goteo; mientras que si el terreno es muy plano no convendrá el riego por surcos (Cadena V. , 2016)

2.2.1.6. Estado de humedad del suelo.

Es la capacidad que tiene el suelo para almacenar agua, en donde se dan principalmente de tres casos (Ver figura 7) (Cadena V. H., 2016).

- **Saturación:** se presenta cuando los espacios vacíos o poros del suelo son llenados por el agua, esto se presenta después de la lluvia o de abundante riego (Cadena V. H., 2016).
- **Capacidad de campo (Cc):** es la cantidad de agua que retiene el suelo en contra de la gravedad, luego de haber estado en saturación. Se calcula mediante la ecuación 3 o se puede adoptar el valor mostrado en la tabla 4 (Cadena V. H., 2016).

$$Cc = 0,48 Ac + 0,162 L + 0,023 Ar + 2,62 \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

Cc= Capacidad de campo en %.

Ac= Contenido de arcilla en %.

L= Contenido de limo en %.

Ar= Contenido de arena en %.

- **Punto de marchitez (Pm):** se presenta cuando la máxima capacidad de succión de la planta es igual a la tensión con que el agua es retenida por el suelo, es decir, el suelo todavía tiene algo de agua, pero las raíces son incapaces de captarla. Se la calcula en función de la capacidad de campo (Cc), con la ecuación 4 (Cadena V. H., 2016).

$$Pm = \frac{Cc}{1,84} \quad (\text{Ec. 4})$$

Figura 7

Estado de humedad del suelo.



Nota: Estado de humedad del suelo según la cantidad de agua que éste almacene y pueda proveer a las plantas. Fuente: (Cadena V. H., 2016).

Según (Cadena V. H., 2016), la reserva disponible para las plantas es el agua que se encuentra contenida en la zona radicular del cultivo, que se calculan con las ecuaciones 5 y 6.

$$\text{Reserva de agua disponible} = (Cc - Pm) * Pr \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\text{Lámina de agua} = \left(\frac{Cc - Pm}{100} \right) * da * Pr \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

Cc= Contenido de humedad a capacidad de campo en base al peso en decimales.

Pm= Contenido de humedad a punto de marchitez en base al peso en decimales.

da= Densidad aparente del suelo (adimensional).

Pr= Profundidad radicular en m.

- **Factor de agotamiento (f):** se expresa en porcentaje y es la cantidad de agua que existe entre el punto de marchitez y la capacidad de campo, que puede dejar de consumir el cultivo entre dos riegos consecutivos. En la tabla 3 se muestran valores para la fracción de agotamiento del agua disponible (Cadena V. H., 2016).

Tabla 3

Factor de agotamiento de algunos cultivos.

| Cultivo | Factor de agotamiento (f) |
|----------------|----------------------------------|
| Cebolla | 0,30 |
| Maíz | 0,40 |
| Papa | 0,40 |
| Trigo | 0,60 |
| Pastos | 0,30 |

Nota: El factor de agotamiento representa la proporción de agua que la planta puede tomar del suelo antes de llegar a su punto de marchitez. Elaborado por: Los autores con información tomada de (Cadena V. , 2016).

2.2.1.7. Infiltración.

Después de ocurrida una lluvia o un riego, el suelo se encuentra con agua, y la velocidad con la que la absorbe a través de sus poros se denomina velocidad de infiltración, la cual está relacionada directamente con la permeabilidad del suelo.

(Cadena V. , 2016, pág. 53) menciona que “el conocimiento de la velocidad de infiltración es básico para el manejo del riego; pues este valor nos permite el cálculo del tiempo y el método de riego que más conviene implementar”. En la tabla 4 se muestra los valores promedio de las propiedades físicas de los suelos según su textura.

Tabla 4

Valores promedio de las propiedades físicas de los suelos según su textura.

| Textura | Velocidad de infiltración | Espacio poroso | Densidad aparente | Capacidad de campo | Punto de marchitez | Humedad peso seco | Disponible volumen | Capacidad retención |
|------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | mm/h | % | 1 | 2 - % | 3 - % | % 4 = 2 - 3 | % 5 = 4 x 1 | mm/m |
| Arenoso | 50 (25 o más) | 38 (32 - 42) | 1,65 (1,55 – 1,80) | 9 (6 - 14) | 4 (2- 6) | 5 (4 - 6) | 8 (6 - 10) | 80 (62 - 108) |
| Franco arenoso | 25 (13 - 40) | 43 (40 - 47) | 1,50 (1,40 – 1,60) | 14 (10 - 18) | 6 (4 - 8) | 8 (6 - 10) | 12 (9 - 15) | 120 (84 - 160) |
| Franco | 13 (7 - 20) | 47 (43 - 49) | 1,40 (1,35 – 1,50) | 22 (18 - 26) | 10 (8 - 12) | 12 (10 - 14) | 17 (14 - 20) | 170 (135 - 210) |
| Franco arcilloso | 8 (2 - 15) | 49 (47 - 51) | 1,35 (1,30 – 1,40) | 27 (23 - 31) | 13 (11 - 15) | 14 (12 - 16) | 19 (16 - 22) | 190 (156 - 224) |
| Arcillo limoso | 2,5 (2 - 15) | 51 (49 - 53) | 1,30 (1,26 – 1,35) | 31 (27 - 35) | 15 (13 - 17) | 16 (14 - 18) | 21 (18 - 23) | 210 (175 - 243) |
| Arcilloso | 0,5 (0,1 - 1) | 53 (51 - 55) | 1,25 (1,20 – 1,30) | 35 (31 - 39) | 17 (15 - 19) | 18 (16 - 20) | 23 (20 - 25) | 230 (192 - 260) |

Nota: Propiedades físicas de los suelos relacionadas con su capacidad de almacenar agua según su textura. Elaborado por: Los autores con información tomada de (Cadena V. , 2016).

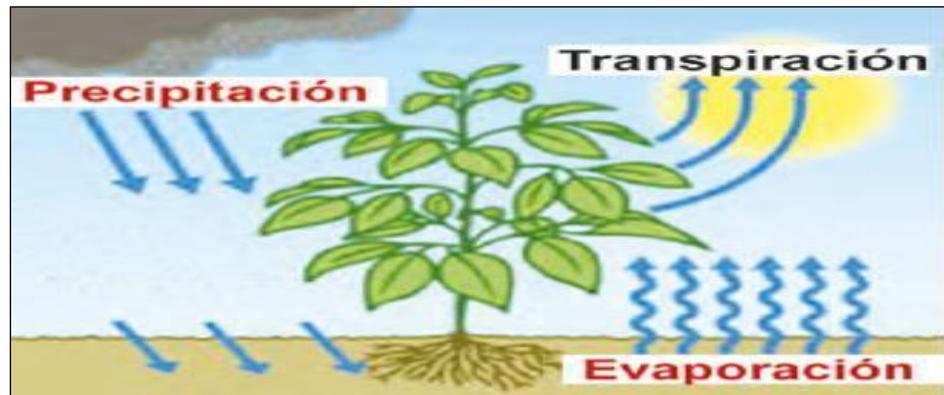
2.2.2. Relación suelo – agua - clima

Es preciso conocer las necesidades hídricas y el momento exacto en que la planta debe recibir el riego. Para ello, es necesario identificar los procesos de evaporación y transpiración (Cadena V. H., 2016).

- **Evaporación:** es la pérdida de agua desde el suelo o desde las hojas de una planta mojada que, al ser calentados por el sol, hace que el agua se vaya hacia el aire en forma de vapor (Ver figura 8) (Cadena V. H., 2016).
- **Transpiración:** la planta absorbe por las raíces el agua y los minerales y con esto forma la sabia bruta que es transportada hasta las hojas donde recibe la luz solar y se transforma en frutos. En esta transformación sobra agua, y es liberada a la atmósfera a través de las hojas (Ver figura 8) (Cadena V. H., 2016).

Figura 8

Evaporación y transpiración de las plantas.



Nota: Balance hídrico de las plantas, dado por el agua que recibe y devuelve a la naturaleza; también conocido como evapotranspiración. Fuente: (Cadena V. H., 2016).

2.2.2.1. Evapotranspiración (ET).

Es la suma de la cantidad de agua evaporada del suelo y la planta, y la cantidad de agua transpirada por las hojas de la planta, devuelta a la atmósfera en forma de vapor. Es expresada en unidades de lámina de agua (mm/día, mm/mes). Existen dos tipos de evapotranspiración (Cadena V. , 2016).

- **Evapotranspiración potencial (ETP):** es la máxima cantidad de agua que puede evaporar el suelo y la planta en condiciones climáticas determinadas, es decir, con alta humedad y cobertura vegetal total (Cadena V. , 2016).
- **Evapotranspiración real (ETR):** es la cantidad de agua que puede evaporar el suelo y la planta en condiciones climáticas normales, es decir, con humedad que varía dependiendo del tiempo y cobertura vegetal natural. Por ende, se entiende que la $ETR \leq ETP$ (Cadena V. , 2016).

Los factores de los cuales depende la evapotranspiración son: climatológicos (sol, viento, temperatura, humedad, radiación solar, etc.) y biológicos (fase vegetativa del cultivo, naturaleza de la vegetación, etc.) (Cadena V. , 2016).

2.2.2.2. Evapotranspiración del cultivo de referencia o neta (ET_o).

“Se define como la tasa de evapotranspiración de un cultivo extenso y uniforme de gramíneas, de 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, que sombrea totalmente el suelo y no está escaso de agua” (Fuentes & García, 1999, pág. 40).

2.2.2.3. Coeficiente de cultivo (K_c).

Según (Cadena V. , 2016), es calculado en base a características que presenta cada planta y hace referencia a la variación de su capacidad para extraer el agua del suelo durante

el periodo vegetativo. Este coeficiente es calculado mensualmente, tomando en cuenta cuatro fases:

- **Primera fase o fase inicial:** etapa que va desde la siembra de la semilla hasta el crecimiento inicial de la planta en la cual aparecen las primeras hojas y cubre un 10% de la superficie del suelo.
- **Segunda fase o fase de desarrollo:** se presenta desde el final de la fase inicial hasta que la planta cubre el 80% de la superficie del suelo.
- **Tercera fase o fase de maduración:** comprende desde el 80% de cobertura de la superficie del suelo hasta el inicio de la maduración.
- **Cuarta fase o fase final:** se considera desde el inicio de la maduración hasta la cosecha del cultivo.

En la tabla 5 se muestra la duración aproximada de las etapas del ciclo vegetativo de algunos cultivos anuales, asimismo en la tabla 6 se muestra los coeficientes de cultivo (Kc) de algunos cultivos anuales.

Tabla 5

Duración de las fases del ciclo vegetativo de cultivos anuales.

| Cultivo | Fases(días) | | | | Total |
|---------|-------------|----|----|----|-------|
| | 1° | 2° | 3° | 4° | |
| Cebada | 15 | 30 | 65 | 40 | 150 |
| Cebolla | 15 | 30 | 55 | 20 | 120 |
| Papa | 30 | 50 | 65 | 35 | 180 |
| Trigo | 15 | 30 | 65 | 40 | 150 |
| Pastos | 25 | 25 | 15 | 10 | 75 |

Nota: Elaborado por: Los autores con información tomada de (Cadena V. , 2016).

Tabla 6

Coefficiente de cultivo (Kc) de cultivos anuales.

| Cultivo | Fases (días) | | | |
|---------|--------------|---------|---------|--------|
| | Primera | Segunda | Tercera | Cuarta |
| Cebada | 0,35 | 0,75 | 1,15 | 0,45 |
| Cebolla | 0,50 | 0,70 | 1,00 | 1,00 |
| Papa | 0,45 | 0,75 | 1,15 | 0,85 |
| Trigo | 0,35 | 0,75 | 1,15 | 0,45 |
| Pastos | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Nota: El coeficiente de cultivo (Kc) es único para cada tipo de planta y para cada ciclo de desarrollo de esta. Elaborado por: Los autores con información tomada de (Fuentes & García, 1999).

2.2.2.4. Evapotranspiración del cultivo (ETc).

“Es determinado en un suelo fértil sin enfermedades y con suficiente cantidad de agua para dar una plena producción” (Fuentes & García, 1999, pág. 40).

La evapotranspiración de un cultivo se la puede determinar mediante la ecuación 7.

$$ETc = ETo * Kc \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

ETc= Evapotranspiración de un cultivo determinado en mm/día.

ETo= Evapotranspiración de un cultivo de referencia en mm/día.

Kc= Coeficiente de cultivo, variable con el cultivo y su periodo vegetativo.

2.2.2.5. Métodos para determinar la evapotranspiración.

Los métodos para saber el requerimiento de agua de los cultivos son muchos y variados; algunas de las ecuaciones para determinar ETo no son simples y requieren el conocimiento de varios factores climáticos que en ocasiones no están disponibles, al no

contar en nuestro país con estaciones meteorológicas bien equipadas ni tener una buena red de ellas, o bien algunas no se pueden emplear en todos los lugares. Existen dos tipos de métodos de cálculo, los directos y empíricos (Cadena V. , 2016).

Métodos directos

- Lisimétrico.
- Evaporímetro de Piché.
- Tanque clase A.

Métodos empíricos

- Penman – Monteith.
- Blanney – Cryddle.
- Christiansen – Yépez.

2.2.2.5.1. Software FAO CROPWAT 8,0.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA, o más conocida como FAO, por sus siglas en inglés, Food and Agriculture Organization FAO ha desarrollado el software “CROPWAT 8,0” para facilitar el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos. El cual evalúa la evapotranspiración a partir de datos meteorológicos empleando de la ecuación de Penman – Monteith (Ver ecuación 8), también propuesta por la FAO (Cadena V. , 2016).

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 \mu_2)} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

ET_o= Evapotranspiración de referencia en mm/día.

R_n= Radiación neta en la superficie del cultivo en mm/día.

R_a = Radiación extraterrestre en mm/día.

G = Flujo de calor del suelo en MJ/ m²día

T = Temperatura media del aire a 2 metros de altura en °C.

μ_2 = Velocidad del viento a 2 metros de altura en m/s.

e_s = Presión de valor de saturación en kPa.

e_a = Presión real del vapor en kPa.

$e_s - e_a$ = Déficit de presión en kPa.

Δ = Pendiente de la curva de presión de vapor en kPa/°C.

γ = Constante psicométrica kPa/°C.

2.2.2.5.2. Método del tanque evaporímetro.

Este método consiste medir la cantidad de agua que se evapora diariamente; en un recipiente se llena de agua y se expone a la atmosfera, por lo tanto, se involucran factores de temperatura, velocidad del viento, luz solar y humedad permitiendo el proceso de evaporación, el cual se multiplica por el coeficiente del tanque utilizado y se compara con la evapotranspiración de referencia del cultivo (ET_o) (Solís & Yacelga, 2018).

Para el presente trabajo se utilizará el “Tanque Clase A” cuyo diámetro es de 121 cm y profundidad de 25,4 cm, y está hecho de hierro galvanizado, el mismo que tiene que estar totalmente nivelado, se coloca sobre una plataforma de madera de 15 cm de alto, perfectamente horizontal (Ver figura 9). Se debe llenar el tanque hasta 5cm del borde; cuando el nivel del agua desciende a 7.5 cm de dicho borde se procede a llenar nuevamente. Se calcula con ayuda de la ecuación 9 (Cadena V. , 2016).

$$ET_o = E_p * K_p \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

ET_o= Evapotranspiración de referencia en mm/día.

E_p= Evaporación del tanque en mm/día.

K_p= Coeficiente del tanque que depende del tipo de tanque, clima y del medio circundante del tanque (Ver tabla 7).

Figura 9

Tanque evaporímetro clase A.



Nota: Tanque evaporímetro utilizado para tomar datos en las estaciones agrometeorológicas del INAMHI. Fuente: (Cadena V. , 2016).

Tabla 7*Coefficiente de ajuste (Kp) para estimar ETo en el tanque evaporímetro.*

| Tanque tipo A | Tanque rodeado de hierba corta | | | Tanque rodeado de tierra seca | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------|-------------------------------|-----------------|-----------|------|------|
| | Baja <40 | Media > 40 - 70 | Alta > 70 | Baja <40 | Media > 40 - 70 | Alta > 70 | | |
| Humedad real % Promedio | | | | | | | | |
| Viento Km/día | Distancia a la vegetación m | | | Distancia a la tierra m | | | | |
| Ligero <175 | 0 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0 | 0,70 | 0,80 | 0,85 |
| | 10 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 10 | 0,60 | 0,70 | 0,80 |
| | 100 | 0,70 | 0,80 | 0,85 | 100 | 0,55 | 0,65 | 0,75 |
| | 1000 | 0,75 | 0,85 | 0,85 | 1000 | 0,60 | 0,60 | 0,70 |
| Moderado 175-425 | 0 | 0,50 | 0,60 | 0,65 | 0 | 0,65 | 0,75 | 0,80 |
| | 10 | 0,60 | 0,70 | 0,75 | 10 | 0,55 | 0,65 | 0,70 |
| | 100 | 0,65 | 0,75 | 0,80 | 100 | 0,50 | 0,60 | 0,65 |
| | 1000 | 0,70 | 0,80 | 0,80 | 1000 | 0,45 | 0,55 | 0,60 |
| Fuerte 425-700 | 0 | 0,45 | 0,45 | 0,50 | 0 | 0,60 | 0,65 | 0,70 |
| | 10 | 0,55 | 0,55 | 0,60 | 10 | 0,50 | 0,55 | 0,65 |
| | 100 | 0,60 | 0,80 | 0,65 | 100 | 0,45 | 0,50 | 0,60 |
| | 1000 | 0,65 | 0,60 | 0,65 | 1000 | 0,40 | 0,45 | 0,55 |
| Muy fuerte >700 | 0 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0 | 0,50 | 0,60 | 0,65 |
| | 10 | 0,45 | 0,55 | 0,60 | 10 | 0,45 | 0,50 | 0,55 |
| | 100 | 0,50 | 0,60 | 0,65 | 100 | 0,40 | 0,45 | 0,50 |
| | 1000 | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 1000 | 0,35 | 0,40 | 0,45 |

Nota: El coeficiente de ajuste (Kp) adoptado para el presente trabajo será de 0,85.

Elaborado por: Los autores con información tomada de (Cadena V. , 2016).

2.2.3. Programación de riego

De acuerdo a (Cadena V. , 2016), la programación del riego tiene por finalidad el ahorro de agua sin reducir la producción agrícola, tratando de dar una respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Cuándo se debe regar?
- ¿Cuánta cantidad de agua se debe aplicar en cada riego?
- ¿Cuánto tiempo se debe aplicar el agua en cada riego?

Para contestar a las dos primeras preguntas se debe tener en cuenta las necesidades de agua del cultivo y las características del suelo en cuanto a la capacidad para retener el agua. En cuanto a la tercera pregunta, se tendrá presente la velocidad de infiltración; luego, para programar el riego, es necesario partir de las necesidades de agua que tiene el cultivo (evapotranspiración), de la cantidad de agua que puede almacenar el suelo en función de la profundidad radicular de la planta (lámina neta) y de la velocidad de infiltración que tenga ese suelo en función de su textura (Cadena V. , 2016).

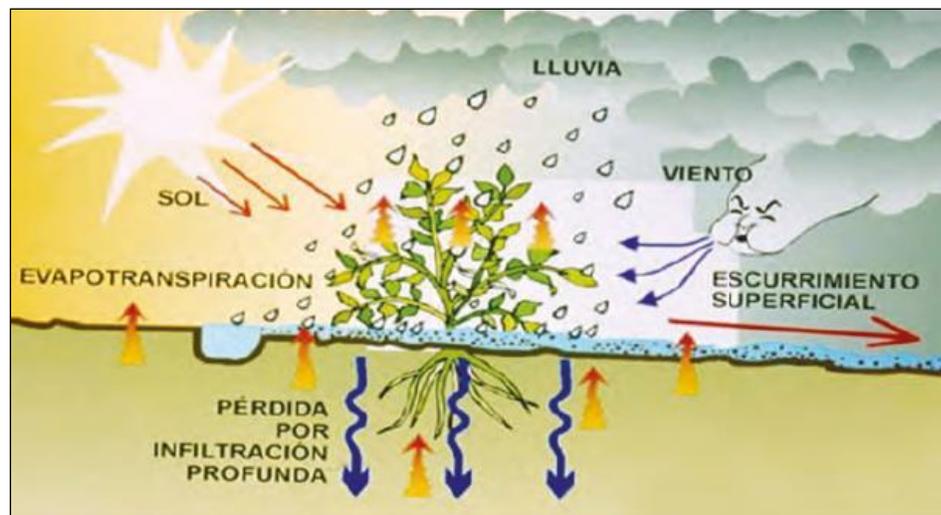
2.2.3.1. Precipitación efectiva (P_e).

La necesidad de agua que tiene el cultivo puede ser cubierta por la lluvia, el riego mediante una combinación de lluvia y riego. En el caso de que toda el agua sea suministrada por la lluvia, la aplicación del riego no es necesaria y en consecuencia la demanda de riego será igual a cero. En caso de que durante el desarrollo del cultivo no llueva en absoluto, toda el agua tendrá que ser suministrada mediante la aplicación de riegos, en este caso la demanda de riego es igual a la evapotranspiración (requerimiento de agua por parte de la planta). Pero en la mayoría de casos, parte de las necesidades de agua del cultivo son suministradas por la lluvia y el resto mediante el riego. Sin embargo, no

toda el agua de la lluvia es utilizada por las plantas ya que una parte de ella se infiltra en el suelo, otra se queda en la superficie y otra fluye sobre la superficie en forma de escorrentía; cuando cesa la lluvia, del agua que se infiltra una parte percola por debajo de la zona radicular mientras otra se queda en esta zona; del agua que se quedó estancada en la superficie una parte se evapora y otra se infiltra lentamente en el suelo (Ver figura 10). En estas circunstancias las necesidades de agua de riego resultan de la diferencia entre las necesidades hídricas del cultivo y la parte o porción de agua de lluvia que es usada por las plantas y que toma el nombre de Precipitación efectiva (Pe) (Cadena V. , 2016).

Figura 10

Eventos que intervienen en la evapotranspiración.



Nota: Eventos que intervienen en el proceso de evapotranspiración de las plantas.

Fuente: (Cadena V. H., 2016).

Existen muchas fórmulas para estimar el valor de la precipitación efectiva (Pe), en este caso se empleará la propuesta por la FAO (Food and Agriculture Organization) (Ec.10); la cual dice que el valor de la precipitación efectiva es igual al 70% de la precipitación media (Pr) (Cadena V. , 2016).

$$P_e = 0,7 * P_r \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

Pe= Precipitación efectiva en mm/día.

Pr= Precipitación media en mm/día.

2.2.3.2. Demanda de riego neta (*Dn*).

Se refiere a la cantidad de agua que necesita cada planta, se calcula con la ayuda de la ecuación 11 (Cadena V. , 2016).

$$Dn = ETc - Pe \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

Dn= Demanda neta de riego en mm/día.

ETc= Evapotranspiración en mm/día.

Pe= Precipitación efectiva en mm/día.

2.2.3.3. Demanda de bruta o total (*Dt*).

Se refiere a la cantidad de agua que se necesita aplicar en el cultivo, debido a que en todos los métodos de riego se presentan pérdidas tanto de aplicación y distribución del agua, es necesario compensar dichas pérdidas mediante cantidades adicionales de agua, cuyo valor se calcula con la ayuda de la ecuación 12 (Cadena V. , 2016).

$$Dt = \frac{Dn}{Er} \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

Dt= Demanda total de riego en mm/día.

Dn= Demanda neta de riego en mm/día.

Er= Eficiencia del método de riego en %.

2.2.3.4. Eficiencia del sistema de riego (E_r).

Es la relación entre el volumen de agua puesto a disposición de los cultivos en su zona radicular y el volumen total suministrado a la zona de riego. Se lo determina mediante la ecuación 13 (Cadena V. , 2016).

$$E_r = E_c * E_d * E_a \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

E_r = Eficiencia del sistema de riego en %.

E_c = Eficiencia de conducción en %.

E_d = Eficiencia de distribución en %.

E_a = Eficiencia de aplicación en %.

2.2.3.4.1. Eficiencia de conducción (E_c).

Representa las pérdidas de caudal que se producen en la conducción del agua, se la puede calcular con la ecuación 14 (Cadena V. , 2016).

$$E_c = \frac{Q_d}{Q_f} * 100 \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

E_c = Eficiencia de conducción en %.

Q_d = Caudal entregado a las vías de distribución en l/s.

Q_f = Caudal derivado de la fuente en l/s.

2.2.3.4.2. Eficiencia de distribución (E_d).

Representan las pérdidas de caudal que se dan por la manipulación y distribución del agua, específicamente, en los canales que suministran el agua desde la red secundaria

hasta las propiedades individuales de los usuarios. Se la calcula con la ecuación 15 (Cadena V. , 2016).

$$Ed = \frac{Qp}{Qd} * 100 \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde:

Ed = Eficiencia de distribución en %.

Qp= Volumen del agua entregada en la cabecera de la propiedad en l/s.

Qd= Volumen del agua derivado de los canales secundarios en l/s.

2.2.3.4.3. Eficiencia de aplicación (Ea).

Es la relación entre el agua que queda almacenada en la zona de las raíces para ser aprovechada por el cultivo y el agua total aplicada con el riego. Se la calcula con la ecuación 16 (Cadena V. , 2016).

$$Ea = \frac{Qc}{Qp} * 100 \quad (\text{Ec. 16})$$

Donde:

Ea = Eficiencia de aplicación en %.

Qc= Volumen del agua disponible para la planta en el suelo en l/s.

Qp= Volumen entregado a la propiedad en l/s.

En (Cadena V. , 2016, pág. 104) se dan valores de eficiencia de aplicación de agua para diferentes métodos de riego (Ver tabla 8), los cuales consideran a los factores que influyen en dichas eficiencias, tales como, las superficies con topografía irregular que produce estancamiento del agua, métodos de riego inadecuados para distribuir y aplicar el agua de riego, la velocidad del viento y eficiencia de los aspersores durante el riego, aplicación de volúmenes excesivos, saturando el suelo en la zona de las raíces.

Tabla 8

Valores de eficiencia de aplicación de riego para diferentes métodos.

| Tipo de Riego | Eficiencia Er |
|---|----------------------|
| Riego por surcos | 0.50-0.70 |
| Riego por fajas | 0.60-0.75 |
| Riego por inundación | 0.60-0.80 |
| Riego por inundación permanente (arroz) | 0.30-0.40 |
| Riego por aspersión | 0.65-0.85 |
| Riego por goteo | 0.75-0.90 |

Nota: Fuente: (Cadena V. , 2016, pág. 104).

2.2.3.5. Lámina de riego neto (L_n).

Es la cantidad de agua que necesita la planta para cubrir el déficit de humedad del suelo, que va desde el punto o factor de agotamiento (f) hasta un valor que coincida con la capacidad de campo (C_c); está definida por la ecuación 17 (Cadena V. , 2016).

$$L_n = (C_c - P_m) * d_a * P_r * f \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde:

L_n = Lámina neta de riego en mm.

C_c = Valor de capacidad de campo en %.

P_m = Valor del punto de marchitez en %.

d_a = Densidad aparente (adimensional).

P_r = Profundidad radicular en m.

f = Factor de agotamiento en %.

2.2.3.6. Lámina de riego bruta o total (Lt).

Es la cantidad de agua que debe aplicarse en cada riego a la superficie del terreno, de manera de asegurar una penetración suficiente de agua que permita retener en la zona radicular el valor de la lámina neta; esta cantidad de agua se la calcula mediante de la ecuación 18 (Cadena V. , 2016).

$$Lt = \frac{Ln}{Er} \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

Lt = Lámina total de riego en mm.

Ln = Lámina neta de riego en mm.

Er = Eficiencia del método de riego en %.

2.2.3.7. Frecuencia de riego (Fr).

Se refiere al número de días que existe entre el día que se aplica el riego y la siguiente aplicación. Se calcula mediante la ecuación 19 (Cadena V. , 2016).

$$Fr = \frac{Ln}{ETdía} \quad (\text{Ec. 19})$$

Donde:

Fr = Frecuencia de riegos en días.

Ln = Lámina neta de riego en mm.

Er = Eficiencia del método de riego en %.

2.2.3.8. Tiempo de riego (Tr).

Se define como el tiempo que tarda la lámina de agua en infiltrarse en el terreno; es calculada mediante la ecuación 20 (Cadena V. , 2016).

$$Tr = \frac{Lt}{Vi} \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego en horas.

Lt = Lámina total de riego en mm.

Vi = Velocidad de infiltración en mm/h.

2.3. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico busca la optimización y eficiencia del sistema mediante el correcto dimensionamiento de la red de tuberías; en este caso, se tomará en cuenta el diseño de la conducción principal y secundaria a presión, las cuales, al no estar en contacto con la atmosfera, ejercerán una presión diferente a esta; y a la buena disposición de accesorios, ya que influyen directamente en costos de construcción y mantenimiento.

2.3.1. Ecuaciones generales

2.3.1.1. Ecuación de continuidad.

“Se obtiene del análisis del principio de la conservación de la masa, al aplicar a tuberías y al caudal que se transporta en ellas, se tiene que el caudal que circula en un punto de una tubería es el mismo en otro punto de esta” (Solís & Yacelga, 2018, pág. 172).

Dado que el caudal es una medida de volumen en un instante de tiempo, se tienen las expresiones de la ecuación 21 y 22 para su determinación.

$$Q = \frac{Vol}{t} \quad (\text{Ec. 21})$$

$$Q = A * V \quad (\text{Ec. 22})$$

Donde:

Q = Caudal en m³/s.

A = Área de la sección transversal expresado en m².

V = Velocidad expresado en m/s.

Vol = Volumen de líquido expresado en m³.

t = Tiempo expresado en segundos.

2.3.1.2. Ecuación de Hazen – Williams.

El cálculo de las tuberías de presión se hará utilizando fórmulas generalmente aceptadas como, por ejemplo, la fórmula de Hazen y Williams, Darcy-Weisbach, Colebrook-White, etc. Cuando se utilice la fórmula de Hazen y Williams (Ec. 23), para el coeficiente de Chow se recomienda adoptar los coeficientes de la tabla 9 (Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), 2015).

$$v = 0,85 C_h R^{0,63} S^{0,54} \quad (\text{Ec. 23})$$

Donde:

v = Velocidad promedio del flujo en m/s.

C_h = Coeficiente de Hazen – Williams o Chow (adimensional).

R = Radio hidráulico del conducto de flujo en m.

S = Relación entre la pérdida de energía sobre la longitud del conducto en m/m.

Tabla 9

Coefficiente de Chow (C_h) para diferentes tipos de conducto.

| Tipo de conducto | Coefficiente de Chow |
|-------------------------|-----------------------------|
| Acero corrugado | 60 |
| Acero galvanizado | 125 |
| Asbesto-cemento | 140 |
| Cobre | 130 |
| PVC | 140 |
| Hormigón liso | 130 |
| Hormigón ordinario | 120 |
| Hierro fundido nuevo | 130 |
| Hierro fundido viejo | 90 |

Nota: El coeficiente (C_h) busca representar la rugosidad interna de las tuberías, entre más grande su valor se presume que las tuberías son más lisas. Elaborado por: Los autores con información tomada de (Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), 2015).

Para los conductos a presión, se consideran aceptables los límites de velocidad máxima indicada en la tabla 10.

Tabla 10

Límite de velocidades máximas para diferentes materiales de paredes.

| Materiales de las paredes | Velocidad máxima m/s |
|----------------------------------|---------------------------------|
| Hormigón (simple o armado) | 4,5 a 5 |
| Hierro fundido y hierro dúctil | 4 a 5 |
| Asbesto – cemento | 4,5 a 5 |
| Acero | 6 |
| Cerámica vitrificada | 4 a 6 |
| Plástico | 4,5 |

Nota: La velocidad máxima de trabajo para tuberías de diferentes materiales. Elaborado por: Los autores con información tomada de (Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), 2015).

2.3.1.3. Ecuación de caudal en nodos.

El proceso a seguir para calcular el caudal en los nodos es, en primer lugar, con el valor del caudal de demanda, determinar el caudal específico utilizando la ecuación 24 (Lanza, 2012).

$$q_l = \frac{Q - \Sigma Q_{alta\ concentración}}{\Sigma_{longitudes\ distribuidas}} \quad (\text{Ec. 24})$$

Donde:

q_l = Caudal específico en l/s/m.

Q = Caudal de demanda en l/s.

$\Sigma Q_{alta\ concentración}$ = Sumatoria de los caudales de alta concentración en l/s.

$\Sigma_{longitudes\ distribuidas}$ = Sumatoria de las longitudes distribuidas en m.

Posteriormente, se determina los caudales concentrados en cada nodo, utilizando la ecuación 25 (Lanza, 2012).

$$Q_{concentrado} = 0,5 \Sigma(q_l * longitud) \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde:

$Q_{concentrado}$ = Caudal concentrado en el nodo en l/s.

Finalmente, se verifica que la sumatoria de los caudales que salen de los nodos concentrados sea igual al caudal de demanda, utilizando la ecuación 26 (Lanza, 2012).

$$Q_{demanda} = \Sigma Q_{nodo} \quad (\text{Ec. 26})$$

Donde:

$Q_{demanda}$ = Caudal de demanda en l/s.

ΣQ_{nodo} = Sumatoria de los caudales concentrados en los nodos en l/s.

2.3.1.4. Ecuación del diámetro tentativo de una tubería.

Para determinar el diámetro real de la tubería es necesario tomar un diámetro semejante al diámetro tentativo que se obtenga de aplicar la ecuación 27 (Solís & Yacelga, 2018).

$$\phi_{tentativo} = 1.35 \times \sqrt{Q} \times 25.4 \quad (\text{Ec. 27})$$

Donde:

$\phi_{tentativo}$ = Diámetro tentativo en mm

Q = Caudal en l/s

Teniendo datos de diámetro y caudal, se puede calcular la velocidad del flujo en la tubería, la cual debe estar entre 0.45 m/s y 4,5 m/s, siendo este un rango permisible en tuberías de plástico (Solís & Yacelga, 2018).

2.3.1.5. Ecuación de Bernoulli.

Esta ecuación se deduce bajo las leyes de la mecánica de fluidos newtonianas, mediante teoremas de variación de energía. Se la obtiene mediante la integración de la ecuación de Euler suponiendo una densidad constante, de este modo, si se desea aplicarla para dos puntos distintos a diferente altura obtiene la expresión de la ecuación 28 (Rocha Felices, 2012).

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} = cte \quad (\text{Ec. 28})$$

Donde:

z_1, z_2 = Cotas o energía potencial del fluido por unidad de peso a partir de un nivel de referencia en m.

V_1, V_2 = Velocidades del líquido en el punto 1 y 2 en m/s

p_1, p_2 = Presiones del líquido en los puntos 1 y 2 en Kg/ m²

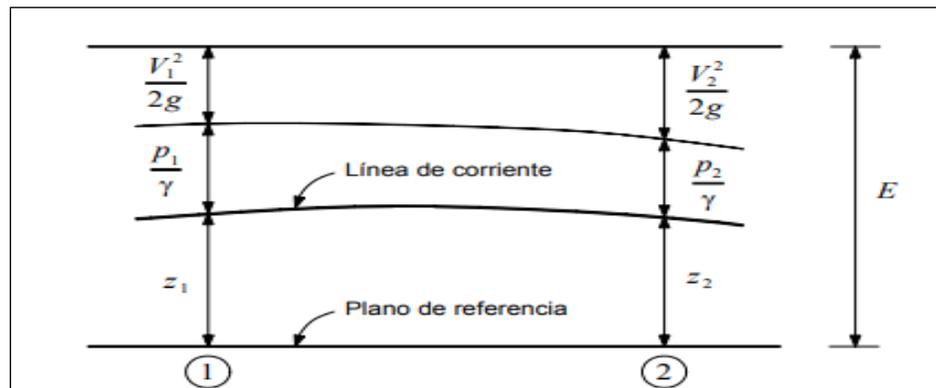
γ = Peso específico en Kg/ m³

g = Aceleración de la gravedad en m/s²

Gráficamente, se lo puede ilustrar como se muestra en la figura 11.

Figura 11

Energía del flujo en tuberías.



Nota: El principio de Bernoulli expresa que a lo largo de una línea de corriente la suma de la altura geométrica, la altura de velocidad y la altura de presión se mantiene constante. Fuente: (Rocha Felices, 2012).

Antes de generalizar esta ecuación, cabe indicar que se asume que fluye un líquido real, con movimiento permanente entre las dos secciones en análisis (Rocha Felices, 2012).

De este modo se obtiene la expresión de la ecuación 29.

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{1-2} \quad (\text{Ec. 29})$$

h_{1-2} = Pérdidas de carga debidas a fricción o rozamiento

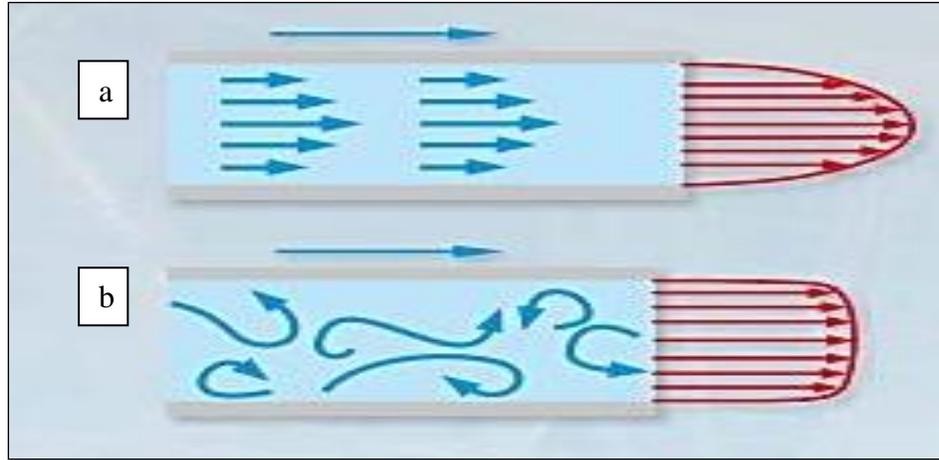
2.3.2. Flujos en la tubería

El flujo que circula dentro de una tubería, al estar confinado dentro de la misma no está bajo influencia de la presión atmosférica, sino de la presión hidráulica debido a la carga de agua que esté sobre el punto de tubería en análisis. Para el cálculo y posterior diseño hidráulico se pueden aplicar ecuaciones y normas empíricas referentes a conducción del flujo por tuberías (Solís & Yacelga, 2018). Existen dos tipos de flujo de acuerdo al movimiento de sus partículas, (Ver figura 12), que son:

- **Flujo laminar:** las partículas avanzan en la dirección del flujo paralelo al eje de la tubería de manera que forman capas sin mezclarse entre sí, la velocidad dentro de la tubería es desigual teniendo la velocidad mayor en el centro de la tubería y disminuye en las paredes a consecuencia de la fricción que se produce (Solís & Yacelga, 2018).
- **Flujo turbulento:** las partículas avanzan en forma desordenada, se arremolinan e intercambian energía formando movimientos impredecibles, tridimensionales y no estacionarios. En las paredes se mantiene parcialmente una fina capa límite laminar. En tanto la distribución de velocidad es casi constante en gran parte de la sección transversal (Solís & Yacelga, 2018).

Figura 12

a) Flujo laminar en tuberías, b) Flujo turbulento en tuberías.



Nota: Las partículas avanzan en dirección del flujo paralelas al eje de la tubería en el caso a, y en forma caótica en el caso b.

http://www.gunt.de/images/download/Conocimientos-bsicos-flujo-en-tuberas-y-robineteras_spanish.pdf

2.3.3. Determinación del régimen de flujo

Para determinar si el régimen de flujo es laminar o turbulento se utiliza el número de Reynolds (Re), que es un parámetro adimensional y expresa la relación entre fuerzas de inercia y rozamiento, como se muestra en la ecuación 30 (Saldarriaga, 2007).

$$Re = \frac{D * V}{\nu} = \frac{\text{Fuerzas de inercia}}{\text{Fuerzas de rozamiento}} \quad (\text{Ec. 30})$$

Donde:

Re = Número de Reynolds

V = Velocidad expresada en m/s

D = Diámetro interior de la conducción expresado en m

ν = Viscosidad cinemática expresada en m^2/s

Si **Re** tiene valores de hasta 2000 será régimen de flujo laminar y si **Re** supera este valor, será régimen de flujo turbulento (Rocha Felices, 2012).

2.3.4. Estimación de pérdidas de carga

La estimación de las pérdidas de carga se debe tener claro que se desea calcular la presión dinámica que resulta de la diferencia entre la presión estática y estas pérdidas, pues de esta manera se evitan puntos o tramos de presiones negativas que produzcan efectos como la succión. Entonces, si se obtiene una presión correcta se asegura que el agua que circula está en contacto con toda la tubería, y debido al rozamiento de las láminas de agua entre sí y paredes de la tubería, la presión va disminuyendo, así se identifican dos tipos de pérdidas, las pérdidas de carga por fricción y la pérdida de carga debido a elementos singulares de la tubería. En los conductos la presión dinámica mínima en la línea de conducción será de 5 m (Cengel Yanus, 2018).

En los conductos la presión dinámica mínima en la línea de conducción será de 5 m. En ningún punto la tubería deberá funcionar a presión superior a la de trabajo especificada por el fabricante. Para el diseño de la conducción, deberán tomarse en cuenta, las presiones estáticas, dinámicas, así como las sobre presiones causadas por el golpe de ariete. El diámetro mínimo de las tuberías en la línea de conducción será de 25 mm (1 in) (Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), 2016).

En cuanto a la distribución del agua, la red podrá estar conformada por ramales abiertos, mallas o una combinación de los dos sistemas.

La presión estática máxima será de 4 kg/cm^2 (40 m.c.a.).

La presión dinámica máxima será de 3 kg/cm^2 (30 m.c.a.).

La presión dinámica mínima será de 1 kg/cm² (10 m.c.a.).

El diámetro nominal mínimo de los conductos de la red será de 19 mm (3/4 in). La red debe disponer de válvulas que permitan independizar sectores para su operación o mantenimiento, sin necesidad de suspender el servicio en toda la localidad. En ramales aislados y sobre todo en tramos que involucren bombeo, la tubería deberá diseñarse considerando la sobre presión producida por el golpe de ariete (Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), 2016).

2.3.4.1. Pérdidas de carga por fricción.

Estas pérdidas son ocasionadas por el rozamiento que existe entre el flujo y las paredes del conducto que lo transporta, y dependen del estado, el material de fabricación, el diámetro y longitud de la tubería, también a la velocidad con la que circula el flujo (Cengel Yanus, 2018).

Entonces, teniendo un mismo diámetro en un tramo de tubería para un cierto caudal, se obtiene la fórmula de Darcy-Weisbach, expresada en la ecuación 31 (Cengel Yanus, 2018).

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (\text{Ec. 31})$$

Donde:

h_f = Pérdida de carga distribuida en metros de columna de agua.

D = Diámetro interno de la tubería en m.

f = Coeficiente adimensional de pérdida de carga distribuida por fricción.

v = Velocidad media de flujo en la sección en m/s.

g = Aceleración de la gravedad en m/s².

El proceso para calcular el coeficiente de pérdidas de carga distribuida por fricción es:

En primer lugar, se calcula el número de Reynolds (Re) con la ecuación 30 para determinar el régimen del flujo, laminar o turbulento (Rocha Felices, 2012).

$$Re = \frac{D * V}{\nu} \quad (\text{Ec. 30})$$

Para el caso de flujo laminar ($Re < 2000$), el coeficiente de fricción (f) puede ser determinado del diagrama de Moody o con la ecuación 32 (Rocha Felices, 2012).

$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{Ec. 32})$$

Y para el caso de flujo turbulento ($Re > 2000$), para conductos de cualquier sección y diámetro hidráulico D , con paredes lisas o rugosas, se debe calcular el límite inferior ($R'e$) y superior ($R''e$) del número de Reynolds (Re) con las ecuaciones 33 y 34 para determinar la zona de turbulencia al que pertenece el flujo turbulento; ya sea zona de flujo de tubo liso, pre cuadrática o cuadrática, para según el caso, obtener el coeficiente de fricción mediante iteraciones (Rocha Felices, 2012).

$$R'e = \frac{10}{\varepsilon/D} \quad (\text{Ec. 33})$$

$$R''e = \frac{500}{\varepsilon/D} \quad (\text{Ec. 34})$$

Si $Re < R'e$, se considera flujo de tubo liso y para calcular el coeficiente de fricción se utiliza la ecuación 35 (ecuación de Prandtl y Von Karman) (Rocha Felices, 2012).

$$f = [2 \log(Re\sqrt{f}) - 0,8]^{-2} \quad (\text{Ec. 35})$$

Cuando en el flujo de tubo liso tenga un valor de $Re < 10^5$, se puede utilizar la ecuación 36 (ecuación de Blasius) (Rocha Felices, 2012).

$$f = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (\text{Ec. 36})$$

Si $R'e < Re < R''e$, se considera al flujo como turbulento en zona pre cuadrática y para calcular el coeficiente de fricción se utiliza la ecuación 37 (ecuación de Colebrook y Haaland (Rocha Felices, 2012)).

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (\text{Ec. 37})$$

Si $R''e < Re$, se considera al flujo como turbulento de zona cuadrática y para calcular el coeficiente de fricción se utiliza la ecuación 38 (ecuación de Colebrook) (Rocha Felices, 2012).

$$f = \frac{0,25}{\left(\log \frac{\varepsilon}{3,7D} \right)^2} \quad (\text{Ec. 38})$$

Hazen-Williams también planteó la una fórmula para calcular pérdidas por fricción, partiendo por determinar la pendiente hidráulica (J) con la ecuación 39 (Rocha Felices, 2012).

$$J = \left(\frac{Q}{0,28 * C * D^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}} \quad (\text{Ec. 39})$$

Donde:

J = Pendiente hidráulica en porcentaje en %.

Q = Caudal en m³/s.

D = Diámetro interior de la tubería en metros.

C = Coeficiente de rozamiento adimensional de Hazen-Williams.

Teniendo que las pérdidas por fricción se las calcula mediante la ecuación 40 (Rocha Felices, 2012).

$$h_f = L * J \quad (\text{Ec. 40})$$

Donde:

h_f = Pérdida de carga por fricción en m.c.a.

L = Longitud de la tubería en metros.

J = Pendiente hidráulica en porcentaje (%).

Para aplicar la fórmula de pérdida de cargas se necesita saber los valores del coeficiente C, que en este caso en particular será tubería de PVC, cuyo coeficiente C tiene un valor de 150.

2.3.4.2. Pérdidas de carga debido a elementos singulares.

Las conducciones de tuberías a presión al estar compuestas por tramos rectos y curvos, cambios de dirección o de sección, así como los diversos dispositivos para el control del funcionamiento hidráulico como válvulas, compuertas u otros, necesarios para ajustarse a la topografía del terreno, generan pérdidas de carga localizadas en el lugar de alteración del flujo, conocidas como pérdidas locales. Estas pérdidas se expresan como una fracción de la carga de velocidad del flujo en ese punto o inmediatamente aguas abajo del punto en análisis, utilizando la ecuación 41 (Rocha Felices, 2012).

$$h_s = K_s \times \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ec. 41})$$

Donde:

h_s = Pérdida de energía expresado en m.

K_s = Coeficiente adimensional dependiente del tipo de pérdida.

$$\frac{v^2}{2g} = \text{Carga de velocidad expresado en m.}$$

El valor de K_G lo han obtenido empíricamente diversos autores; en la figura 13 se muestra las ecuaciones para calcular la pérdida de carga local en tuberías en diferentes casos, complementando la información, la tabla 11, en donde se especifica como obtener el coeficiente de Weisbach (C_e) para las contracciones bruscas, y en la figura 14 se detallan los diferentes grados de ensanchamientos graduales de las tuberías (Rocha Felices, 2012).

Tabla 11

Coficiente de Weisbach (C_e) para contracciones bruscas.

| $[D_2/D_1]^2$ | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| C_e | 0,586 | 0,624 | 0,632 | 0,643 | 0,659 | 0,681 | 0,712 | 0,755 | 0,813 | 0,892 | 1 |

Nota: El coeficiente (C_e) pretende representar las pérdidas de carga en contracciones bruscas de las tuberías. Elaborado por: Los autores con información tomada de (Rocha Felices, 2012).

Figura 13

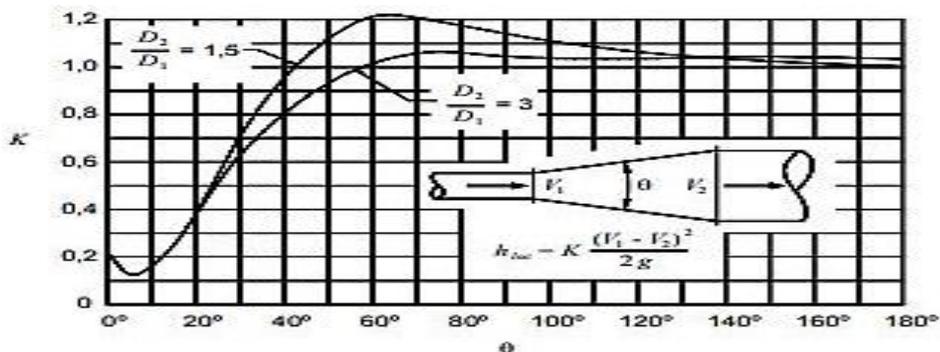
Valor del coeficiente k_s (k) para pérdidas locales en tuberías.

| | | |
|----------------------------|--|--|
| ENTRADA | $K \frac{V^2}{2g}$ | (V : velocidad media de la tubería) |
| | Bordes Agudos | $K = 0,5$ |
| | Bordes ligeramente redondeados | $K = 0,26$ |
| | Bordes Acampanados | $K = 0,04$ |
| | Bordes Entrantes | $K = 1$ |
| ENSANCHAMIENTO | $K \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = K \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2 \frac{V_2^2}{2g}$ | (V_1 : velocidad aguas arriba; V_2 : velocidad aguas abajo) |
| | Brusco | $K = 1$ |
| | Gradual | Gráfico de Gibson |
| CONTRACCION | $\left(\frac{1}{c_c} - 1 \right)^2 \frac{V_2^2}{2g} = K \frac{V_2^2}{2g}$ | (V_2 : Velocidad aguas abajo) |
| | Brusca | Tabla de Weisbach |
| | Gradual | $K = 0$ |
| CAMBIO DE DIRECCION | $K \frac{V^2}{2g}$ | (V : velocidad media) |
| | Codo de 90° | $K = 0,90$ |
| | Codo de 45° | $K = 0,42$ |
| | Codo de curv. fuerte | $K = 0,75$ |
| | Codo de curv. suave | $K = 0,60$ |
| VALVULAS | (V : velocidad media) | |
| | Válvulas de globo (totalmente abierta) | $K = 10,0$ |
| | Válvula de compuerta (totalmente abierta) | $K = 0,19$ |
| | Válvula check (totalmente abierta) | $K = 2,5$ |

Nota: Cuadro guía para el cálculo de pérdidas de carga locales en tuberías para diferentes casos. Fuente: (Rocha Felices, 2012).

Figura 14

Gráfico de Gibson para ensanchamiento gradual de tuberías.



Nota: Gráfico guía para el cálculo de pérdidas de carga en ensanchamiento gradual de las tuberías. Fuente: (Rocha Felices, 2012).

2.3.5. Tiempo de llenado y vaciado de un depósito con altura variable

Para calcular el tiempo de llenado del reservorio (t_l), se utilizará la ecuación 42, considerando que el caudal de entrada es constante (Franzini & Finnemore, 1999).

$$t_l = \frac{V_{ol}}{Q_e} \quad (\text{Ec. 42})$$

Donde:

t_l = Tiempo de llenado del reservorio en s.

V_{ol} = Volumen de almacenamiento del reservorio en m^3 .

Q_e = Caudal de entrada al reservorio en m^3/s .

Para calcular el tiempo de descarga o vaciado.

Cuando el flujo está sometido a una carga variable, el caudal variará continuamente. Consideremos las condiciones de la figura 15, donde V representa el volumen del líquido contenido en el tanque en un momento determinado. Existe un caudal de entrada Q_e y un caudal de salida Q_s . La variación de volumen durante un pequeño intervalo de tiempo dt se puede expresar como

$$dV = Q_e dt - Q_s dt$$

Si A_s = área de la superficie libre del fluido mientras que dz es la variación del nivel de la superficie, entonces $dV = A_s dz$. Igualando estas dos expresiones de dV se tiene,

$$A_s dz = Q_e dt - Q_s dt$$

En cualquier caso, z o h es la altura variable de la superficie del fluido por encima del plano de referencia apropiado. Despejando e integrando la ecuación 43 se

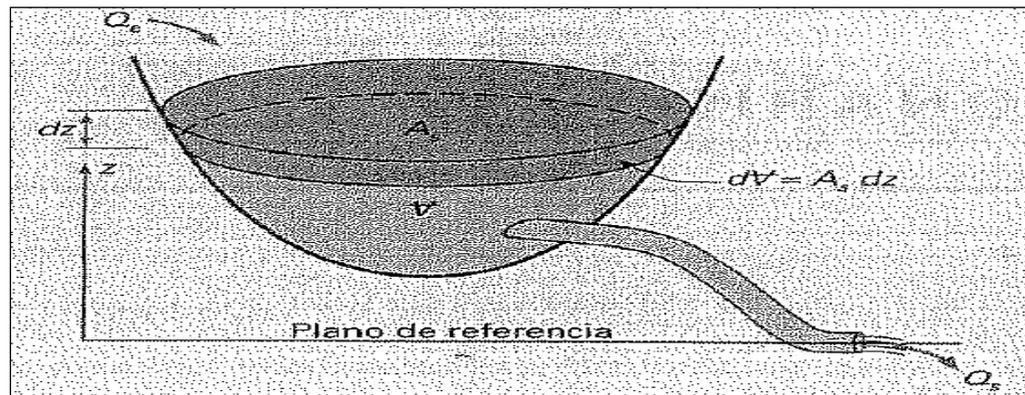
obtiene la expresión de t , el tiempo para que el nivel del agua varíe de z_1 a z_2 . Por tanto,

$$t = \int_{z_1}^{z_2} \frac{A_s dz}{Q_e - Q_s} \quad (\text{Ec. 43})$$

Esta integral se puede resolver solamente si Q_e es cero o constante y si A_s y Q_s se puede expresar como funciones de z . Tenga en cuenta que aquí los valores instantáneos de Q_s se han expresado de la misma manera que para el flujo estacionario. Esto no es estrictamente correcto, ya que la ecuación de la energía para el flujo no estacionario debería incluir además una altura de aceleración. La introducción de dicho término hace que la resolución sea mucho más difícil. En los casos en que el valor de z no varía rápidamente, no resultará ningún error apreciable si ignoramos este término de aceleración. Por tanto, las ecuaciones se pueden escribir como si se tratara de flujo estacionario (Franzini & Finnemore, 1999, pág. 349).

Figura 15

Descarga con altura variable en el depósito.



Nota: Depósito de agua con altura variable. Fuente: (Franzini & Finnemore, 1999, pág. 349).

2.3.6. Obras de arte especiales para agua

Son obras complementarias de un sistema hidráulico de tuberías, que al existir un obstáculo que pueda interferir con el paso libre del agua, éstas ayudan a superarlo, así mismo estas sirven para protección, cruce de depresiones y seguridad de las personas aledañas a la conducción de agua como sifones y otras obras similares. Entre estas obras de cruce se puede nombrar a los puentes canal, sifón invertido, alcantarillas, túneles, etc. (Solís & Yacelga, 2018).

2.3.6.1. Sifón invertido.

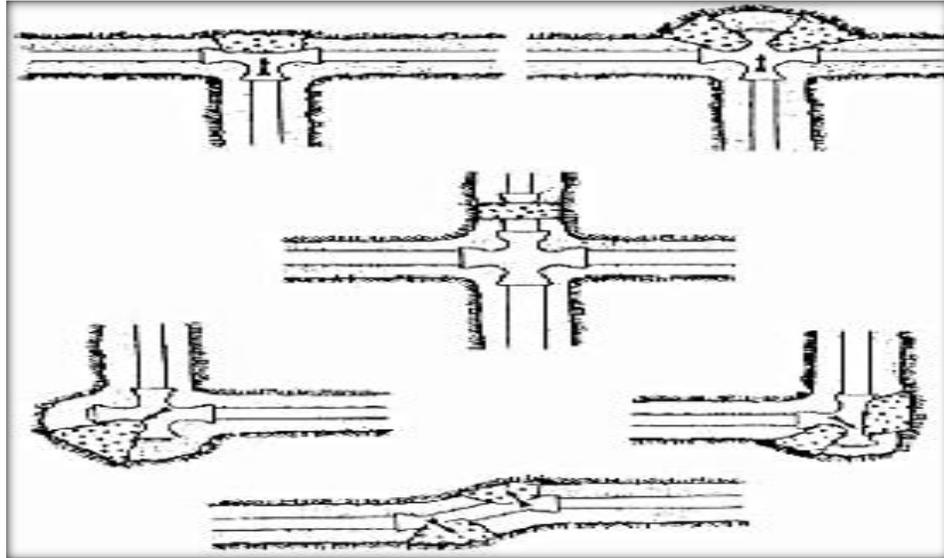
Es un conducto que trabaja a presión y se lo utiliza para conducir el agua cuando su paso se da por una depresión topográfica o quebrada, así mismo se la puede hacer pasar debajo de un camino, dren u otro canal. Un sifón invertido diseñado en unión a una tubería a presión tiene un anclaje y la tubería (Solís & Yacelga, 2018).

Los anclajes, como se muestra en las figuras 16 y 17, son estructuras complementarias que ayudan a soportar los constantes esfuerzos o empujes a las que es sometida la tubería y afectan sus ensambles, ya que para evitarlos estos se deben distribuir a lo largo de las paredes de la zanja (Solís & Yacelga, 2018).

Estos anclajes son de hormigón simple y pueden tener una resistencia de 100 a 140 kg/cm². Para su diseño se utilizan datos de la tubería, así como del suelo, y de tal manera obtener la superficie de contacto del anclaje, expresada en función del esfuerzo o empuje y la resistencia admisible del terreno según el tipo de suelo (Solís & Yacelga, 2018).

Figura 16

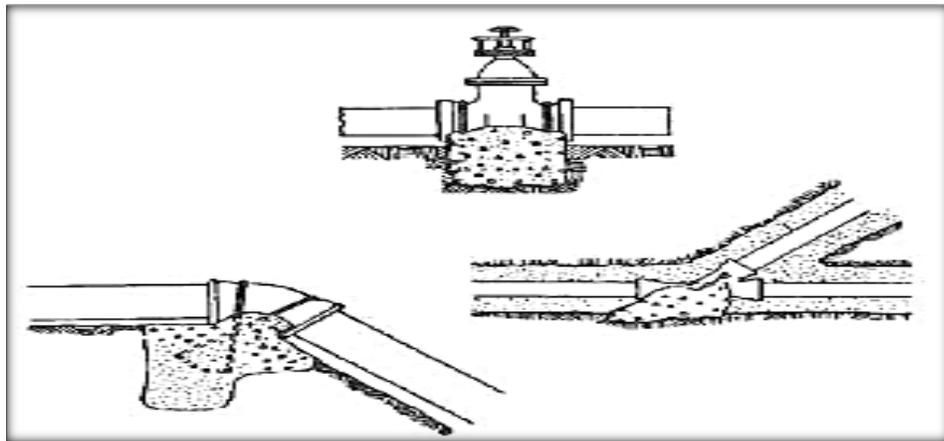
Localización de anclajes (1).



Nota: Localización adecuada de anclajes de la tubería. Fuente: (Solís & Yacelga, 2018).

Figura 17

Localización de anclajes (2).



Nota: Localización adecuada de anclajes de la tubería. Fuente: (Solís & Yacelga, 2018).

2.3.7. Estructuras complementarias de conducción de agua

Son estructuras necesarias que garantizan el correcto funcionamiento de la conducción evitando daños al momento de su operación, como lo son los tanques rompe presión que regulen las presiones en ciertos tramos del sistema y cajas de revisión que faciliten el mantenimiento del sistema (Loomis, 2002).

2.3.7.1. Tanque rompe presiones.

Son tanques de hormigón armado, como se muestra en la figura 18, construidos con la finalidad de reducir la presión en los tramos de las tuberías de conducción a cero o igualarla a la presión atmosférica, además de garantizar que las tuberías no sufran rupturas debido a la ocurrencia de presiones de trabajo mayores a las de diseño (Solís & Yacelga, 2018).

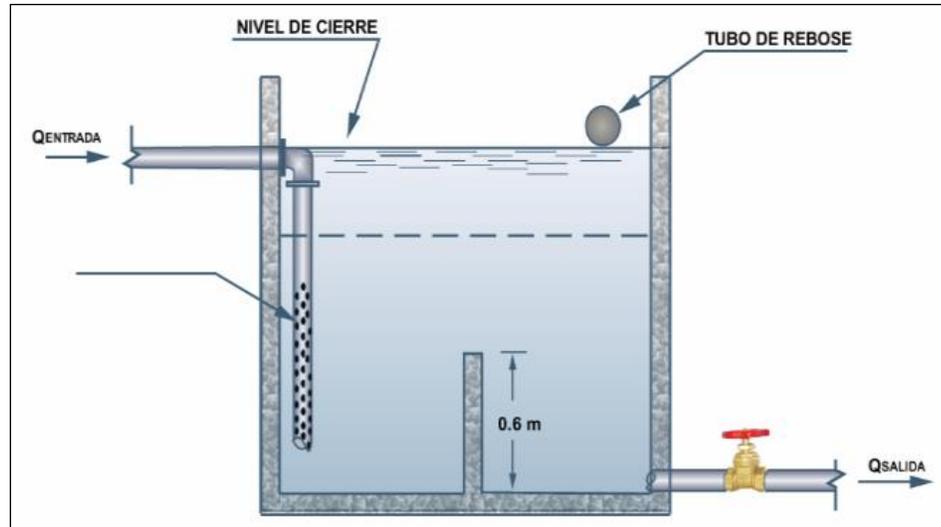
En el presente trabajo, si con el diagnóstico hidráulico de la red de riego se comprueba el buen estado y funcionamiento de los tanques rompe presiones ya construidos, se prevé utilizarlos en el nuevo diseño o si es el caso, rehabilitarlos o volverlos a construir.

Un tanque rompe presión consta de las siguientes partes:

- Tubería de entrada con huecos, una válvula de compuerta y una válvula flotadora, opcional.
- Tubería de salida.
- Tubería de rebose.
- Tapa sanitaria con dispositivos de seguridad.
- Vertedero sumergido, opcional.

Figura 18

Tanque rompe presión.



Nota: Esquema básico del tanque rompe presión tipo III. Fuente: (Solís & Yacelga, 2018).

Para realizar el diseño del tanque rompe presión, en primer lugar, se determina la altura de la cámara rompe presión, para lo cual es necesario conocer la carga mínima con la cual el agua puede fluir dentro de la misma. Para ello se utiliza la ecuación experimental de Bernoulli (Ec. 44) (Solís & Yacelga, 2018).

$$H = 1,56 * \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ec. 44})$$

Donde:

H= Carga de agua en m.

v= Velocidad del flujo en m/s.

g= Aceleración de la gravedad en m/s.

Para calcular la velocidad de flujo, se recomienda utilizar la ecuación 45 (Solís & Yacelga, 2018).

$$v = 1,9735 * \frac{Q}{D^2} \quad (\text{Ec. 45})$$

Donde:

v = Velocidad del flujo en m/s.

Q = Caudal del flujo en m³/s.

D = Diámetro de la tubería en m.

De acuerdo a este criterio, la composición de la altura total de la cámara rompe presión se la define como se muestra en la ecuación 46 (Solís & Yacelga, 2018).

$$H_{to} = A + H + D + BL \quad (\text{Ec. 46})$$

Donde:

H_{to} = Altura total del tanque rompe presión en m.

A = Altura de sedimentación, mínima de 0,10 m.

H = Altura que permite que el agua fluya, mínima de 0,3 m.

D = Diámetro del tubo de salida en m.

BL = Borde libre del tanque, mínimo de 0,4 m.

2.4. Riego

Al riego se lo puede definir como:

La aportación de agua a la tierra por distintos métodos para facilitar el desarrollo de las plantas. Se practica en todas aquellas partes del mundo donde las precipitaciones no suministran suficiente humedad al suelo o bien donde se quieren implantar cultivos de regadío. En regiones de pluviosidad irregular, se usa en los periodos secos para asegurar las cosechas y aumentar el rendimiento de estas. Esta técnica ha aumentado notablemente la extensión de tierras cultivables y la

producción de alimentos en todo el mundo. El diseño de un sistema de riego debe tener como finalidad satisfacer las demandas de agua de los usuarios en tiempo y volumen, por lo que se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones (Berlijn, 2008, pág. 49).

- El agua destinada para el riego debe ser captada, transportada y distribuida de acuerdo a las condiciones del sitio de implantación del sistema.
- La eficiencia del sistema que se va a implantar.
- La capacidad que tengan los usuarios o regantes para la operación y mantenimiento del sistema

2.4.1. Métodos de riego

Existen diferentes formas para repartir el agua en el terreno. De acuerdo con el tipo de distribución se distinguen los siguientes métodos de riego (Berlijn, 2008).

- Riego por inundación.
- Riego por surcos y corrugaciones.
- Riego por goteo.
- Riego por aspersión.

2.4.1.1. Riego por inundación.

Consiste en la distribución del agua por gravedad sobre toda la superficie de un terreno encerrado por pequeños diques. Se llena el compartimiento, charco o melga con una cantidad relativamente grande de agua, como se puede ver en la figura 19, la cual penetra verticalmente la tierra. Este sistema se aplica en terrenos planos y en aquellos que permitan su nivelación. Requiere un suministro relativamente grande de agua y un subsuelo menos permeable. Es usado principalmente para el cultivo de arroz y, en menor grado, para

ciertas hortalizas y pastos; la forma de las melgas y charcos puede ser casi cuadrada o rectangular, en donde la superficie de los charcos es normalmente de hasta una hectárea, mientras que las melgas son de mayor tamaño, dependiendo de la pendiente y del tipo de suelo (Berlijn, 2008).

Figura 19

Riego por inundación.



Nota: Cultivo de arroz regado con el método de inundación.

https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=112

Ventajas:

- Recomendable utilizar en terrenos planos y en aquellos que permitan ser nivelados.
- Se acopla perfectamente a suelos que presenten bajas velocidades de infiltración.
- Su aplicación no toma en cuenta el viento.

Desventajas:

- Dentro de áreas lluviosas es preciso incorporar un sistema de drenaje.
- No se puede aplicar en todos los cultivos.
- No es apto para suelos arenosos.

2.4.1.2. Riego por surcos y corrugaciones.

Consiste en la distribución del agua por gravedad a lo largo y a través de surcos o corrugaciones en el terreno, como se puede ver en la figura 20. Las corrugaciones son pequeños surcos de aproximadamente 15 cm de profundidad empleados en cultivos de menor distancia entre hileras. Este sistema es frecuentemente usado debido a la gran cantidad de cultivos que se siembran en hileras tales como caña de azúcar, papas, maíz, algodón, tomate, tabaco, etc. En terrenos nivelados, los surcos son rectos y en el caso de terrenos ondulados, los surcos siguen las curvas de nivel de dicho terreno (Berlijn, 2008).

Figura 20

Riego por surcos y corrugaciones.



Nota: Inundación de los espacios entre los surcos de las plantaciones.

<https://vivaelcampo.wordpress.com/2014/06/15/soluciones-ingenieriles-riego-por-surcos/>

Ventajas:

- Puede aplicarse en el día o en la noche, no toma en cuenta el viento.
- El follaje no es humedecido con lo que se evitan enfermedades foliares.
- No se requiere equipos especiales.

- Bajo costo de instalación, ya que no precisa aporte de energía.
- Control óptimo del agua de riego.
- Volumen grande de suelo mojado a disposición de las raíces.

Desventajas:

- No es recomendable utilizar en terrenos con alta velocidad de infiltración.
- No se puede utilizar en terrenos con pendientes muy inclinadas ni en terrenos completamente planos.
- No permite aplicar fertilizantes con el riego.
- Necesita grandes volúmenes de agua.
- Exige mayor preparación del suelo, con mayor costo de mano de obra.
- Provoca pérdidas de fertilidad del suelo.
- Puede dificultar el trabajo con maquinaria agrícola.

2.4.1.3. Riego por goteo.

Consiste en la aplicación directa del agua al sistema radicular de la planta y del árbol, como se puede ver en la figura 21. Mediante este sistema, se suministra el agua a la planta y al árbol individualmente, de esta manera, el agua cae en los lugares donde es necesaria. La aplicación de agua a los cultivos se hace a través de pequeños orificios que están calculados para una emisión de agua entre 1 y 8 litros/s/ha para lograr un máximo ahorro del agua (Berlijn, 2008).

Figura 21

Riego por goteo.



Nota: Cultivo de maíz provisto de agua por el método de riego por goteo.

https://es.123rf.com/photo_68046271_peque%C3%B1o-plant%C3%ADo-de-ma%C3%ADz-con-sistema-de-riego-por-goteo-en-la-granja.html

Ventajas:

- Evita el desperdicio del agua.
- Se puede aplicar en terrenos con cualquier pendiente.
- El rendimiento del cultivo aumenta.
- No tiene en cuenta el viento.

Desventajas:

- Inversión inicial alta.
- El mantenimiento del sistema tiene que ser realizado por personas con buen conocimiento del mismo.
- La planta puede sufrir estrés hídrico debido a las pequeñas cantidades de agua que se aplica.
- Se pueden presentar daños por causa de animales.

2.4.1.4. Riego por aspersión.

El riego por aspersión es un sistema por medio del cual el agua se suministra en el campo en forma de lluvia (Ver figura 22) a través de elementos de aspersión alimentados por la presión hidráulica generada por una bomba o la diferencia de alturas. El riego por aspersión se adapta en la mayoría de los cultivos, con excepción del arroz. Además, el sistema es adecuado para ser usado bajo un amplio rango de condiciones topográficas y no requiere un acondicionamiento previo del terreno (Berlijn, 2008).

Figura 22

Riego por aspersión.



Nota: Aspersor aplicando agua en forma de lluvia a los cultivos por el método de riego por aspersión. <http://www.ambiente.gob.ec/ministerio-del-ambiente-promueve-medidas-de-adaptacion-al-cambio-climatico-en-manabi/>

2.4.1.4.1. Tipos de riego por aspersión.

Los sistemas de riego por aspersión se dividen en 2 grupos:

- **Sistemas estacionarios:** este sistema permanece en la misma posición mientras se da riego a los cultivos y estos pueden ser móviles, semifijos o fijos. En el sistema móvil todos los elementos pueden moverse, como se muestra en la figura 23, este

sistema es adecuado para áreas de riego pequeñas y riegos poco frecuentes (Solís & Yacelga, 2018).

Figura 23

Sistema móvil de riego por aspersión.



Nota: Plantación de gran extensión provista de agua por el método de riego por aspersión de sistema móvil. https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Sistema-de-riego-por-pivote-central-C-Gene-Alexander-1987_fig7_308938342

En el sistema semifijo, la unidad de bombeo y alguna o toda la tubería principal son fijas, mientras que las tuberías laterales son móviles, como se puede ver en la figura 24, es adecuado para cultivos anuales (Solís & Yacelga, 2018).

Figura 24

Sistema semi fijo de riego por aspersión.



Nota: Es el método de riego semifijo de aspersión es el más utilizado.

<https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/aspersion.aspx>

En el sistema fijo, todos los elementos se encuentran fijos y siempre se ubican en el mismo lugar, como se puede ver en la figura 25 (Solís & Yacelga, 2018).

Figura 25

Sistema fijo de riego por aspersión.



Nota: Empleado en monocultivos. <https://diconsa.hn/producto/canones/>

- **Sistemas mecanizados:** todos los elementos se desplazan continuamente durante el riego, como se puede ver en la figura 26, se utiliza en cultivos en hileras que necesitan de riegos frecuentes y poco abundantes (Solís & Yacelga, 2018).

Figura 26

Sistemas mecanizados de riego por aspersión.



Nota: Empleado en industrias agrotecnificadas <https://www.traxco.es/blog/pivotes-de-riego/preservar-el-agua-con-riego-mecanizado>

2.4.1.4.2. Componentes del sistema de riego por aspersión.

Un sistema de riego por aspersión está compuesto de:

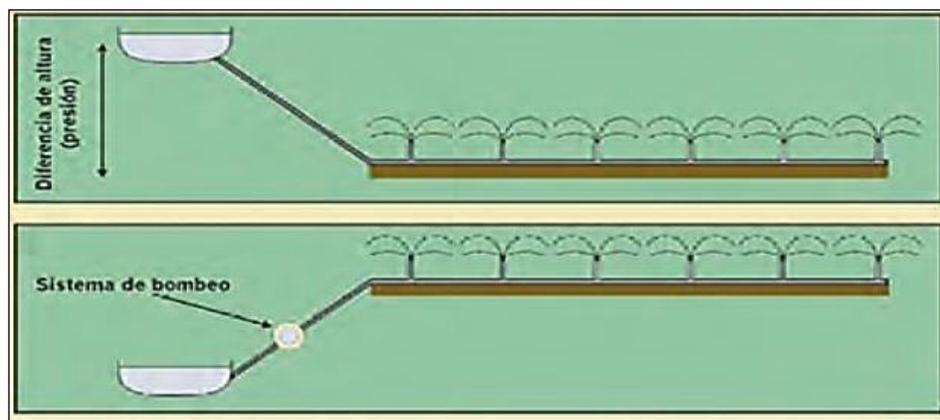
- **Fuente de agua:** se refiere al lugar de donde se va a tomar el agua para utilizarla en el riego de los cultivos, de la cual interesa conocer: la ubicación, calidad y cantidad de agua. Al referirse a la ubicación se debe saber la diferencia de altura, la distancia y la presencia de accidentes geográficos (quebradas, caminos, acequias, etc.) que hay entre el lugar de toma del agua y el terreno que se va a regar. Cuando se refiere a la calidad del agua se debe conocer si el agua tiene tierra, minerales o basura. En cuanto a la cantidad de agua que se pueda tomar de la fuente, este dato

debe ser lo más seguro, sí la cantidad no es la misma y existe variación, se debe trabajar con el menor valor para que sea seguro (Cadena V. H., 2016, pág. 173).

- **Fuente de energía:** hace referencia a la presión hidráulica necesaria para realizar su trabajo, como se puede ver en la figura 27, que puede conseguirse de dos maneras, con la utilización de una bomba y un motor (una motobomba) que puede funcionar con electricidad, diésel o con gasolina y se encargue de tomar el agua desde la fuente, mandarla por las tuberías y entregar a los aspersores, o utilizando la diferencia de altura entre la fuente de agua y el terreno, teniendo en cuenta que una diferencia de altura de 10 metros es la mínima que se debe tener para que funcionen los aspersores, estos 10 metros son iguales a 1 atmósfera, 1 bar, 1 kg/cm², 14,5 psi o 10 m.c.a. (metros de columna de agua) que son unidades en las que se mide la presión de trabajo de los aspersores (Cadena V. H., 2016, pág. 174).

Figura 27

Fuente de energía del riego por aspersión.

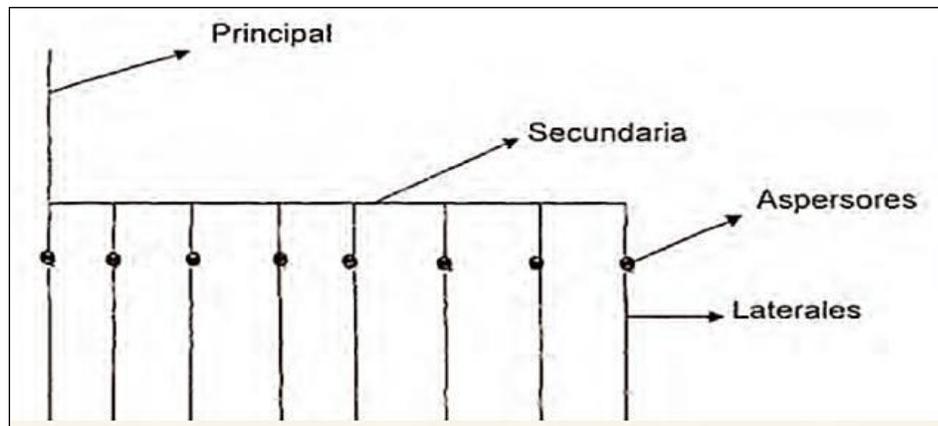


Nota: Las dos fuentes de energía que se utilizan para la operación del sistema de riego por aspersión son por bombeo o por gravedad. Fuente: (Cadena V. H., 2016).

- **Red de conducción y de distribución:** el agua es conducida y distribuida por tuberías; estas tuberías tienen distintos nombres de acuerdo al orden que van apareciendo en el sistema, como se puede ver en la figura 28. La tubería que sale de la fuente de agua se llama tubería principal que es una tubería de conducción, de esta salen tuberías de distribución que se llaman tuberías secundarias, pueden tener o no inclinación de acuerdo al terreno, de ser necesario saldrán de estas otras tuberías que se llaman terciarias y así sucesivamente hasta que se llega al lugar donde se va a regar, que es donde se instala la tubería en la que están los aspersores, esta tubería que es la última en la red se llama tubería lateral (Cadena V. H., 2016, pág. 173).

Figura 28

Red de conducción y de distribución.



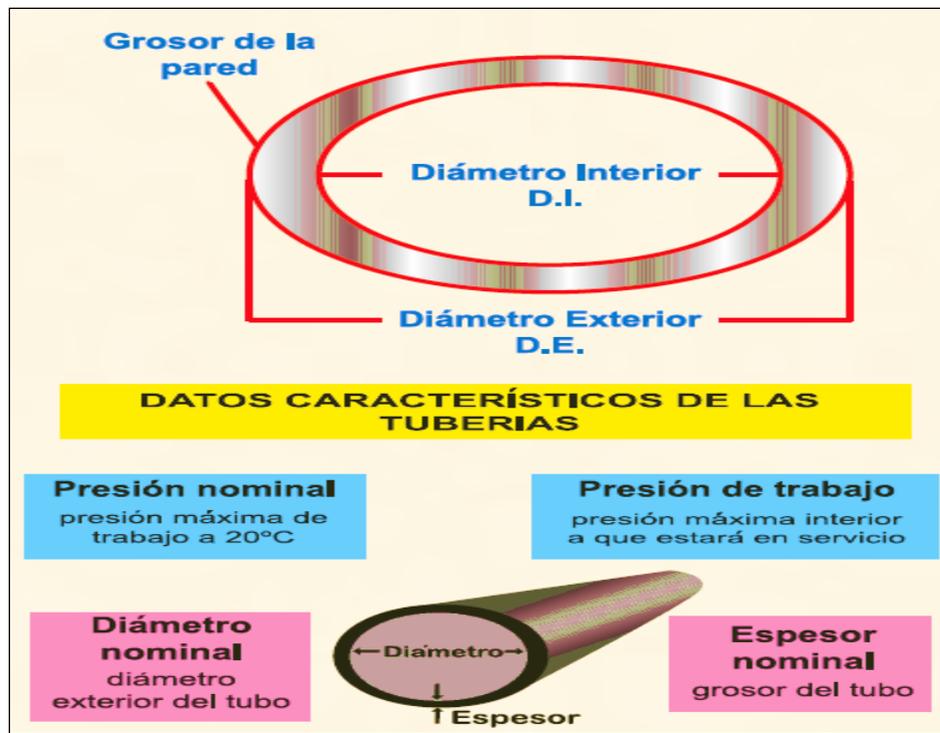
Nota: Nombres de las tuberías de la red de conducción y distribución del sistema de riego por aspersión. Fuente: (Cadena V. H., 2016).

La tubería puede ser de aluminio o de plástico, aunque se encuentra también de acero. El largo de los tubos en el mercado es de 6 y 9 metros. Dependiendo del

material del tubo, la unión entre ellos se puede hacer a través de un anillo de caucho (sistema americano) o con una palanca (sistema europeo). Cuando se trata de poner un aspersor en la lateral, este va en la unión de dos tubos. El diámetro de los tubos se determina en pulgadas y milímetros, cuando son de acero se mide el diámetro exterior en pulgadas, cuando son de plástico se mide el diámetro interior en milímetros. Los datos característicos de las tuberías se muestran en la figura 29 (Cadena V. H., 2016, pág. 175).

Figura 29

Propiedades de las tuberías.

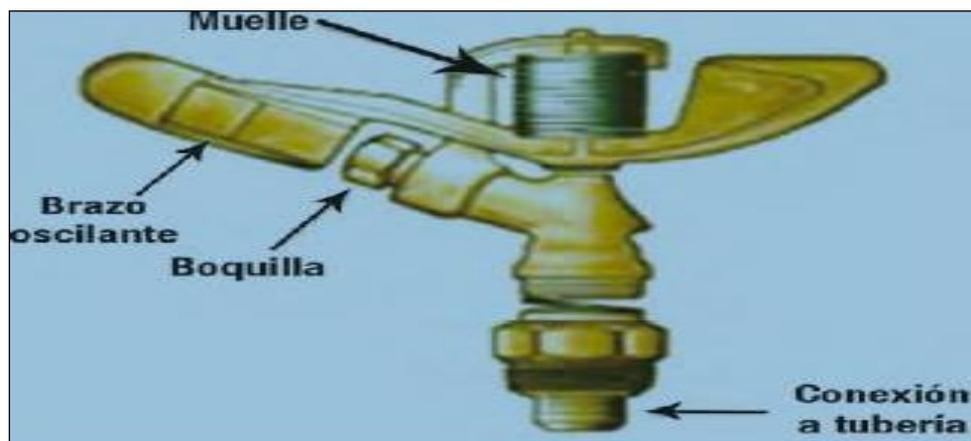


Nota: Propiedades físicas más importantes de las tuberías empleadas en las redes de conducción y distribución del sistema de riego por aspersión. Fuente: (Cadena V. H., 2016).

- **Aspersores:** son tubos provistos de un mecanismo que les da movimiento y por donde sale el agua, como se muestra en la figura 30. Estos accesorios funcionan a presión y lanzan chorros de agua al aire, la misma que cae sobre el suelo en forma de lluvia (Cadena V. H., 2016, pág. 176).

Figura 30

Aspersor.

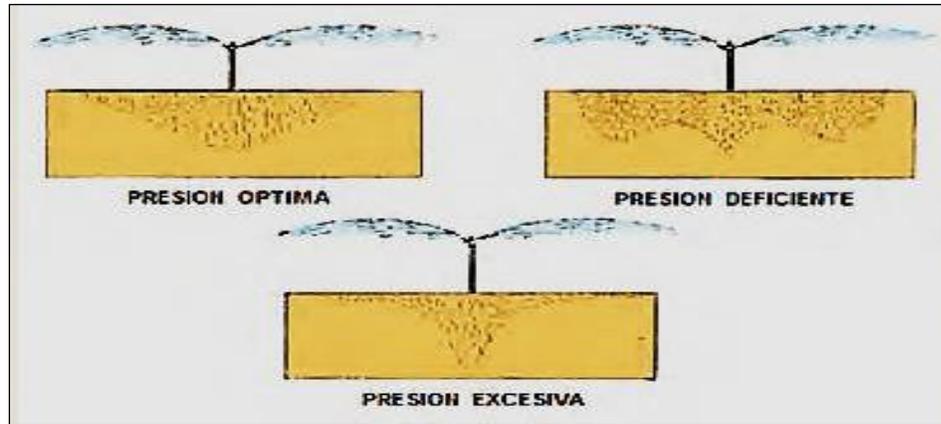


Nota: Aspersor agrícola de una sola boquilla. Fuente: (Cadena V. H., 2016).

Se colocan sobre la tubería lateral o sobre tubos llamados elevadores que se ponen verticalmente a la lateral asegurados con estacas para que permanezcan parados. Se presentan de todos los tamaños y formas, sabiendo que cada aspersor tiene los datos de la cantidad de agua que arroja por cada hora que riega, de la distancia que moja el terreno y de la presión con la que debe trabajar. Por ende, si no se trabaja con la presión que el fabricante indica, se puede tener gotas muy gruesas que dañen el cultivo o gotas muy delgadas que no mojen bien el suelo, como se observa en la figura 31 (Cadena V. H., 2016, pág. 176).

Figura 31

Modelo de aplicación de un aspersor en función de la presión.



Nota: Esquema de irrigación del suelo con el método de riego por aspersión.

Fuente: (Cadena V. H., 2016).

- **Accesorios:** se refiere a los accesorios de la tubería como codos, uniones, válvulas, tees, etc. necesarias para que el sistema funcione eficientemente.

2.4.1.4.3. Ventajas del sistema de riego por aspersión.

Según (Berlijn, 2008), son:

- No es necesario nivelar el suelo. Se adapta a suelos poco profundos, de topografía irregular y a suelos arenosos.
- El hecho de utilizar en la conducción y distribución tubería hace que se pueda utilizar más superficie para la producción, controlar la calidad del agua y que se pierda menos agua por evaporación.
- Evita la erosión del suelo.
- Permite aplicar abonos líquidos, como fertilizantes y pesticidas con el agua de riego, lo que hace que haya ahorro en la mano de obra.

- Se emplea en el control de heladas.
- Instalación del sistema rápida, fácil operación y alta eficiencia.
- La eficiencia es alta y el equipo puede trabajar un elevado número de horas al día.

2.4.1.4.4. Desventajas del sistema de riego por aspersión.

Según (Berlijn, 2008), son:

- Elevados gastos de construcción.
- Al crear un ambiente húmedo alrededor de la planta, se facilita la aparición de plagas y enfermedades.
- No es recomendable utilizar este sistema en zonas con fuertes vientos o temperaturas elevadas ya que impide el reparto uniforme de agua.
- No se puede hacer al mismo tiempo riego y labores de control manual de plagas y enfermedades.
- Su costo es inversamente proporcional al área de terreno a regar, es decir, mientras más pequeño sea el terreno a regar más caro resulta el instalar este sistema de riego.
- El terreno no se riega en todas sus partes por lo que pueden quedarse algunos lugares sin regar.
- Se necesita un caudal continuo, por lo que en muchos casos es necesaria la construcción de reservorios.
- El agua puede llevar sedimentos ocasionando problemas de taponamiento en el sistema.
- Si no se utiliza el aspersor o la boquilla adecuada, se puede provocar la caída de hojas y flores.

2.4.2. Selección de un sistema de riego

Según (Berlijn, 2008), la aplicación de un cierto sistema de riego depende de los siguientes factores:

- **Topografía del terreno:** hace referencia a la pendiente del terreno.
- **Tipo de cultivo:** corresponde a la densidad de siembra, es decir, al número de plantas o árboles por unidad de superficie.
- **Rendimiento del cultivo:** es la relación de producción total de un cultivo cosechado por hectárea de terreno utilizada.
- **Disponibilidad del agua:** uno de los factores más importantes a tener en cuenta, ya que la disponibilidad del agua limita la superficie a regar.
- **Inversión y costo de mantenimiento del sistema:** son los costos que los usuarios deben asumir para implementar y mantener el sistema operativo.
- **Disponibilidad de mano de obra:** algunos sistemas de riego tienen elementos constructivos que necesitan gran cantidad de mano de obra para su implantación.

Al tomar en cuenta los anteriores factores, se podrá elegir el método de riego que mejor se adapte a las condiciones del sitio del proyecto y sea capaz de satisfacer las necesidades de los usuarios.

El método de riego con el que actualmente cuenta la comuna San Vicente Alto es el riego por aspersión, siendo el que mejor se adapta a las condiciones del terreno, como la topografía y el área de riego, y además, los usuarios ya están familiarizados con sus procesos de operación y mantenimiento, por ende, se lo continuará empleando.

CAPÍTULO III

RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE

3.1. Recopilación de información existente

El diseño hidráulico para la rehabilitación y mejoramiento del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto, es un estudio que debe contar con información verídica y confiable, por lo cual, se procedió con la recopilación de dicha información directamente de la comunidad y del informe de factibilidad social para el proyecto Sistema de Riego San Vicente Alto No. INF-185-CPO elaborado por la Dirección de Gestión de Riego y Drenaje (DGRD) del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha (GADPP).

La recopilación de información y fortalecimiento organizacional fue entregada en dicha dirección conforme a la tabla 12.

Tabla 12*Recopilación de información y fortalecimiento organizacional.*

| Detalle | Fecha | Actual |
|---|--------------------------|---------------|
| Certificado de Caudal otorgado por el Directorio de Aguas de la Acequia Guangulquí. | 09 de marzo de 2017 | SI |
| Notificación de personería Jurídica otorgada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). | 06 de junio de 2018 | SI |
| Nombramiento de la Directiva otorgado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). | 15 de junio de 2018 | SI |
| Padrón de usuarios emitido por la Directiva de la Comunidad. | 15 de septiembre de 2018 | SI |
| Acta de compromiso de la mano de obra calificada y no calificada. | 27 de julio de 2018 | SI |
| Acta de resolución del paso de servidumbre, emitido por la Directiva de la Comunidad. | 01 de agosto de 2018 | SI |
| Mapa del catastro del área a intervenir, con identificación de los predios de los beneficiarios del proyecto. | Sin fecha | Sin fecha |

Nota: Documentación necesaria para iniciar el proceso de priorización de estudios para el sistema de riego de San Vicente Alto. Elaborado por: Los autores con información tomada de (Dirección de Gestión de Riego y Drenaje del GADP Pichincha, 2018).

Documentación habilitante necesaria para iniciar la gestión solicitada por la comuna San Vicente Alto y los estudios de factibilidad social, para identificar las problemáticas presentadas en el sistema de riego que permita corroborar el pedido de la comunidad.

El estudio de factibilidad social inició con la entrega de formatos impresos y digitales para el levantamiento de información, mediante censos socio – económicos y de fortalecimiento organizacional, los cuales fueron llenos por cada uno de los beneficiarios directos, conforme al padrón de usuarios emitida por la directiva de la comunidad.

3.1.1. Análisis de la documentación existente

Según el informe de factibilidad social para el proyecto sistema de riego San Vicente Alto No. INF-185-CPO, sobre la base de la información recopilada se entregan datos para la elaboración de los estudios definitivos, sustentada en los respaldos de la documentación habilitante y los censos entregados, la cual se puede visualizar en la tabla 13 (Dirección de Gestión de Riego y Drenaje del GADP Pichincha, 2018).

Tabla 13

Datos generales del proyecto

| Datos | Detalle |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| Provincia | Pichincha |
| Cantón | Cayambe |
| Parroquia | Cangahua |
| Sector | San Vicente Alto |
| Caudal autorizado | 20,10 l/s |
| Número de beneficiarios directos | 61 usuarios |
| Nominación personería jurídica | Comuna "San Vicente Alto" |
| Organización beneficiaria | Comuna Jurídica San Vicente Alto |
| Superficie total del proyecto | 87.83 ha |
| Superficie del terreno cultivable | 67.97 ha |
| Superficie del terreno no cultivable | 19.86 ha |
| Tipo de riego actual | Aspersión |

Nota: Elaborado por: Los autores con información tomada de (Dirección de Gestión de Riego y Drenaje del GADP Pichincha, 2018).

3.1.2. Identificación de la situación actual de la zona de estudio

La comuna San Vicente Alto está ubicada en la parroquia rural de Cangahua del cantón Cayambe de la provincia de Pichincha, a 78 kilómetros de la ciudad de Quito y a 13 kilómetros al sur oriente de la ciudad de Cayambe, véase la figura 32. La ubicación geográfica es:

ESTE: 814046,6 m

NORTE: 9992468,6 m

Figura 32

Ubicación del proyecto.



Nota: Esquema de la ubicación del sitio del proyecto. Elaborado por: Los autores con información tomada de Google Earth 2018.

Límites:

- **Norte:** con la parroquia Cangahua y barrio San Vicente de Cangahua.
- **Este:** con el río Cangahua y la comuna Izoloma.
- **Sur:** con la comuna Paccha y Asociación San Vicente Bajo.
- **Oeste:** con la comuna Pucará.

La comuna San Vicente Alto posee un sistema de riego que entró en operación en el año 2007, gestionado y construido por el Instituto de Estudios de las Culturas Andinas (IDECA) y la comunidad, según afirman los comuneros, el cual es concesionario y usuario de la Junta de Aguas de la Acequia Guanguilquí, quienes, facultados por la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA) Demarcación hidrográfica Esmeraldas, zonal Quito, le han autorizado el uso de un caudal de 12,67 l/s, el cual se detalla en el certificado de caudales del 9 de marzo de 2017 (Ver Anexo 1). Pero debido a la gestión de la comunidad y al nuevo reparto de caudales, dicha junta ha autorizado el aumento del caudal otorgado a 20,10 l/s, de acuerdo al certificado de caudales del 1 de noviembre de 2019 (Ver Anexo 2), el que ingresa al sistema a través de una obra de captación compuesta por un desarenador y una compuerta reguladora. Según los comuneros, el caudal de ingreso disminuye hasta en un 50% en los meses de verano.

En el año 2015, el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha (GADPP) realizó trabajos para el mejoramiento del reservorio, siendo recubierto de hormigón e incrementada su capacidad de almacenamiento a aproximadamente 2748 m³, la cual depende de la demanda de los usuarios y del caudal de ingreso para mantener un volumen de almacenamiento constante, existiendo déficit en meses de verano.

La tubería de conducción, de acuerdo a la información levantada en el recorrido de campo, es de PVC en su totalidad y tiene diámetros que varían entre 125 a 40 mm; está compuesto por la conducción principal que tiene una extensión de casi 3000 m, 10 ramales secundarios, 4 válvulas reguladoras, 14 válvulas de aire, 1 válvula reguladora de presión, 1 válvula de desagüe, 1 válvula flotadora, 1 desarenador, 1 tanque rompe presiones, 16 cajas de revisión y 109 tomas parcelarias de los 46 usuarios.

De acuerdo a lo anteriormente descrito, el sistema cuenta con la infraestructura necesaria para su buen funcionamiento, pero según la información obtenida de los comuneros y del recorrido de campo, presenta graves problemas de taponamientos, filtraciones y variación de presión, que han deteriorado varios tramos de la tubería y averiado algunas válvulas de aire; es así que se instaló una válvula reguladora de presión para controlar estas variaciones, pero que no ha dado los resultados esperados.

Para mitigar los problemas de variación de presión, el sistema fue dividido en dos partes, con la implementación de una válvula reguladora de caudal, asignándose turnos de riego para cada una; la primera, con 26 usuarios riega los primeros 3 días de la semana, la segunda, con 20 usuarios riega los siguientes tres y en el último día se cierra todo el sistema para reabastecer el reservorio. Este modo de operación representa un perjuicio para la población, que al basar su economía estrictamente en actividades agrícolas, requieren aprovechar al máximo de sus territorios para el desarrollo de las mismas.

3.2. Perspectiva social

3.2.1. Área de riego cultivable

La superficie de terreno de la comuna San Vicente Alto tiene una extensión de 87,83 hectáreas, de las cuales 67,97 hectáreas son terrenos netamente cultivables.

3.2.2. Caudal concesionado

El Directorio de Aguas de la Acequia Guanguilquí, facultado por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), demarcación hidrográfica de Esmeraldas, Zonal Quito, en uso de sus atribuciones, ha otorgado un caudal de 20,10 l/s, según certificado de caudales del 1 de noviembre de 2019 (Ver Anexo 2), a la comuna San Vicente Alto para uso de riego.

3.2.3. Población beneficiaria

Los beneficiarios directos del proyecto son 61 usuarios cabeza de familia, de las cuales, en promedio, cada familia está conformada por 6 integrantes.

3.2.4. Servicios básicos

3.2.4.1. Agua de consumo humano.

La comuna San Vicente Alto no cuenta con un método de potabilización de agua, sino que se abastece de ella mediante dos sistemas de agua entubada destinada al consumo humano, el primero es el sistema de agua de consumo “Guanguilquí” que atiende a 37 usuarios, los cuales cancelan una tarifa estándar de 1.50 USD mensuales; el segundo es el sistema de agua de consumo “Niña María” que atiende a 24 usuarios, los cuales tienen instalado medidores de agua en sus viviendas y deben cancelar una tarifa promedio de 2,0 USD mensuales.

3.2.4.2. Alcantarillado.

La comunidad no cuenta con un adecuado sistema de saneamiento o alcantarillado para la evacuación de aguas servidas, siendo un problema típico de las zonas rurales, por lo que se emplean métodos tradicionales, como lo son excavar fosas sépticas en cada vivienda en donde se depositan las excretas de las aguas del inodoro y así evitar la propagación de enfermedades.

3.2.4.3. Manejo de desechos sólidos.

El área del proyecto no cuenta con el servicio de recolección de basura, por lo que se recurre a la quema de los desechos inorgánico para deshacerse de ellos, a diferencia de los desechos orgánicos que son utilizados como alimento para animales de granja o como abono para los suelos.

3.2.4.4. Energía eléctrica, telefonía e internet.

El servicio de energía eléctrica domiciliaria es prestado por la Empresa Eléctrica Regional del Norte EMELNORTE S.A., pero no cuenta con alumbrado público en las calles; en lo referente a telefonía e internet, no existe el servicio fijo de telefonía ni de internet, pero la cobertura de las empresas de servicio de telefonía móvil es buena en todo el sector.

3.2.4.5. Centros educativos.

La comuna San Vicente Alto no cuenta con instituciones educativas de ningún nivel, por ello, los estudiantes deben trasladarse a la Unidad Educativa Intercultural Bilingüe “Padre Juan de Velasco” ubicada en la vecina comunidad de Pucará o a los centros educativos de la cabecera cantonal de la parroquia Cangahua.

3.2.4.6. Salud pública.

En la comuna San Vicente Alto solo 15 de las 61 familias están afiliadas al Seguro Social Campesino del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) y pueden recibir atención médica en el “Dispensario Médico San Vicente Alto” ubicado en el sector; el resto de familias deben trasladarse al “Sub Centro de Salud Tipo A de Cangahua” del Ministerio de Salud Pública (MSP) ubicado en la cabecera cantonal de la parroquia Cangahua.

3.2.4.7. Vías de comunicación y transporte.

La vía de acceso al área del proyecto se divide en dos tramos: el tramo de la Panamericana Norte (E35) de la Troncal de los Andes a la cabecera cantonal de Cangahua (Vía Guachalá), es una vía que presenta una capa de rodadura asfáltica de aproximadamente 6,5 km de longitud, se encuentra en buen estado de circulación pero con deficiente señalización horizontal y vertical; y el tramo de la cabecera cantonal de

Cangahua a la comuna San Vicente Alto, es un camino vecinal de aproximadamente 1,5 km de longitud, presenta capas de rodadura empedrada y lastre en regular estado de circulación y sin ningún tipo de señalización.

Las empresas que brindan el servicio de transporte de pasajeros son: las compañías de buses “Transportes Cangahua Cía. Ltda.” y “Transportes Pukaturis S.A.”, y las compañías de camionetas “Trans. Piba” y “Servi fortaleza Cía. Ltda.”

3.2.5. Análisis de la situación actual y legal de la organización beneficiaria

La organización y representación legal de la comuna San Vicente Alto está dada por la notificación de personería Jurídica según acuerdo ministerial 0021 del 6 de junio de 2018 realizado con el apoyo técnico de la Confederación del Pueblo Kayambi, aprobado en asamblea comunitaria y expedido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en el cual se reconoce a la comuna “San Vicente Alto” como una organización de base sin fines de lucro, conformada por núcleos familiares que ejercen los derechos propios emanados de su pueblo, así como los derechos y garantías establecidas en la Constitución de la República del Ecuador y tiene domicilio en la parroquia de Cangahua, cantón Cayambe, provincia de Pichincha y cuya estructura dirigenal está compuesta por:

- La asamblea general de comuneros/as: es la máxima autoridad de la comuna y la integran todos los comuneros con goce de derechos. Estará dirigida por el presidente y a falta de éste, por el vicepresidente y las decisiones serán tomadas por consenso o simple mayoría de votos.
- El Cabildo: es el órgano responsable de la comuna, de la gestión y la administración, es el cuerpo colegiado que representa a la comuna.
- Las comisiones especiales creadas por la Asamblea General de Comuneros/as.

3.2.6. Caracterización socio económica de la organización beneficiaria

Según la información del censo del padrón de usuarios presentada en el informe de factibilidad social para el proyecto sistema de riego San Vicente Alto No. INF-185-CPO la caracterización socio económica se representa en la tabla 14 y es ilustrada en la figura 34 (Dirección de Gestión de Riego y Drenaje del GADP Pichincha, 2018).

Tabla 14

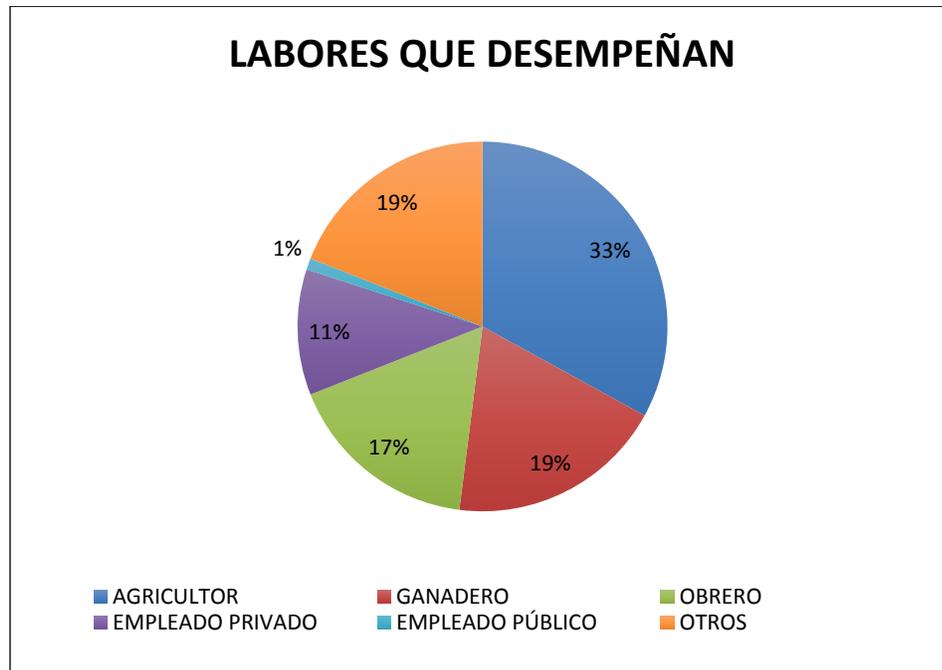
Labores que desempeñan los usuarios.

| Agricultor | Ganadero | Obrero | Empleado privado | Empleado público | Otros | No usuarios |
|-------------------|-----------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------|------------------------|
| 51 | 30 | 26 | 17 | 2 | 30 | 61 |
| 33% | 19% | 17% | 11% | 1% | 19% | 100% |

Nota: Levantamiento de información a través de un censo respecto a las labores que desempeñan los usuarios del sistema de riego. Elaborado por: Los autores con información tomada de (Dirección de Gestión de Riego y Drenaje del GADP Pichincha, 2018).

Figura 33

Labores que desempeñan los usuarios.



Nota: Esquema de resultados de las labores que desempeñan los usuarios del sistema de riego. Elaborado por: Los autores con información tomada de (Dirección de Gestión de Riego y Drenaje del GADP Pichincha, 2018).

Como se puede visualizar en la figura 33, el mayor porcentaje de actividades representa al sector agrícola con un total de 51 usuarios cabeza de familia, es decir el 33% de usuarios desempeñan actividades agrícolas y 30 usuarios que representan un 19% desempeñan actividades ganaderas y otros trabajos, cabe recalcar que algunos usuarios realizan a la par actividades agrícolas y ganaderas, por ende, la mayor parte de terreno está destinada a la producción alimenticia.

Tabla 15

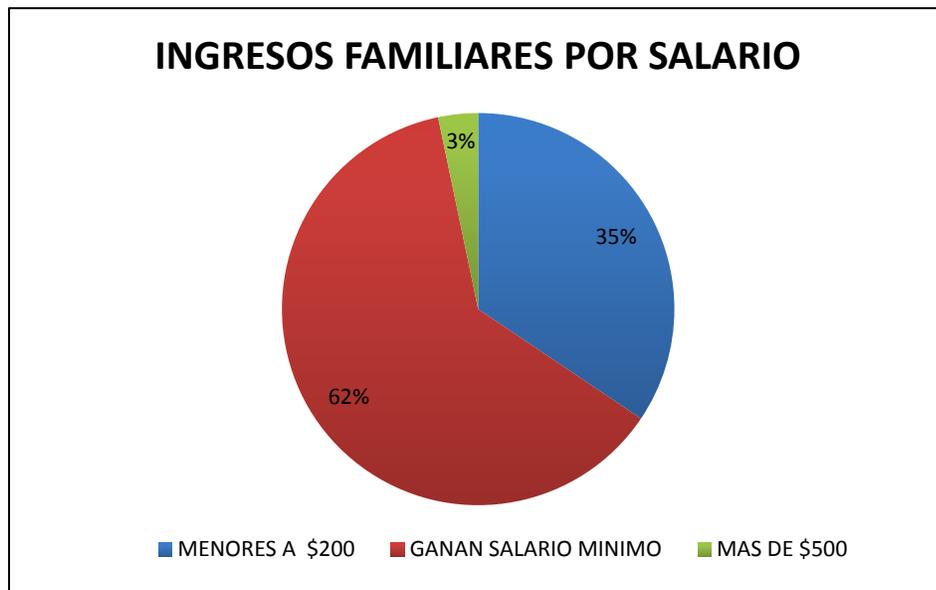
Ingresos y promedio de gastos familiares.

| Ingresos familiares | Usuarios |
|----------------------|-----------|
| Menores a \$200 | 21 |
| Ganan salario mínimo | 38 |
| Mas de \$500 | 2 |
| Total | 61 |

Nota: Levantamiento de información a través de un censo respecto a los ingresos y promedio de gastos familiares de los usuarios del sistema de riego. Elaborado por: Los autores con información tomada de (Dirección de Gestión de Riego y Drenaje del GADP Pichincha, 2018).

Figura 34

Ingresos y promedio de gastos familiares.



Nota: Esquema de resultados de los ingresos y promedio de gastos familiares de los usuarios del sistema de riego. Elaborado por: Los autores con información tomada de (Dirección de Gestión de Riego y Drenaje del GADP Pichincha, 2018).

Tabla 16

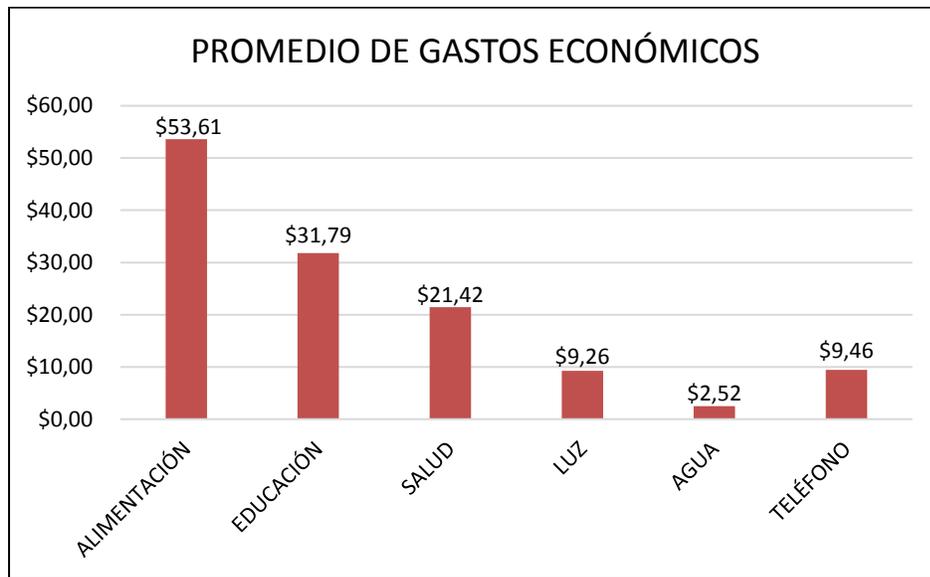
Promedio de gastos económicos.

| Alimentación | Educación | Salud | Luz | Agua | Teléfono |
|---------------------|------------------|--------------|------------|-------------|-----------------|
| \$ 53,61 | \$ 31,79 | \$ 21,42 | \$ 9,26 | \$ 2,52 | \$ 9,46 |

Nota: Levantamiento de información a través de un censo respecto al promedio de gastos económicos de los usuarios del sistema de riego. Elaborado por: Los autores con información tomada de (Dirección de Gestión de Riego y Drenaje del GADP Pichincha, 2018).

Figura 35

Promedio de gastos económicos.



Nota: Esquema de resultados del promedio de los gastos económicos de los usuarios del sistema de riego. Elaborado por: Los autores con información tomada de (Dirección de Gestión de Riego y Drenaje del GADP Pichincha, 2018).

Como se puede observar en las tablas 15 y 16, además de en las figuras 34 y 35, en cuanto a los ingresos económicos, 38 usuarios que representan un 62% tienen como ingreso

un salario básico y 21 usuarios, que representan el 35%, generan ingresos menores a \$200, considerando que la mayoría de usuarios dependen de los ingresos generados por actividades agrícolas y ganaderas, se puede visualizar el déficit de ingresos económicos por el no aprovechamiento de terrenos de secano que no cuentan con la optimización del sistema de riego.

3.3. Datos meteorológicos

La información meteorológica es proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), en este caso, se utilizará la información de la estación Agrometeorológica M1094 Tomalón – Tabacundo correspondiente a los años 2002 – 2012, período en el cual se dispone de toda la información requerida (Ver anexo 3). La estación está ubicada en el cantón Pedro Moncayo, siendo la más cercana al sitio de estudio; en la tabla 17 se muestran los datos de dicha estación.

Tabla 17

Datos de la estación agrometeorológica.

| | | | |
|------------------|------------------------|--------------------|---------------|
| Código | M1094 | Altitud | 2790 m.s.n.m. |
| Nombre | Tomalón - Tabacundo | Latitud | 0°2'0"N |
| Tipo | Agrometeorológica (AP) | Longitud | 78°14'0"W |
| Provincia | Pichincha (17) | Propietario | INAMHI |

Nota: Elaborado por: Los autores con información tomada de los anuarios (2002-2012) del INAMHI.

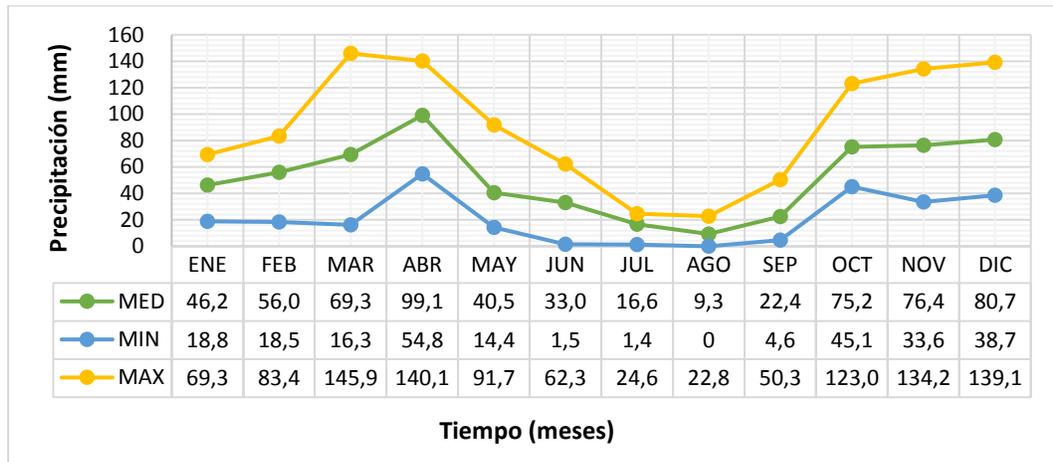
3.3.1. Precipitación

Se necesita saber los períodos con mayor y menor precipitación en el año, para identificar temporadas de invierno y sequía. Como se puede observar en la figura 36, los

valores de mayor precipitación se presentan en abril y diciembre, mientras que en los de menor precipitación están en los meses de julio y agosto.

Figura 36

Precipitación media mensual.



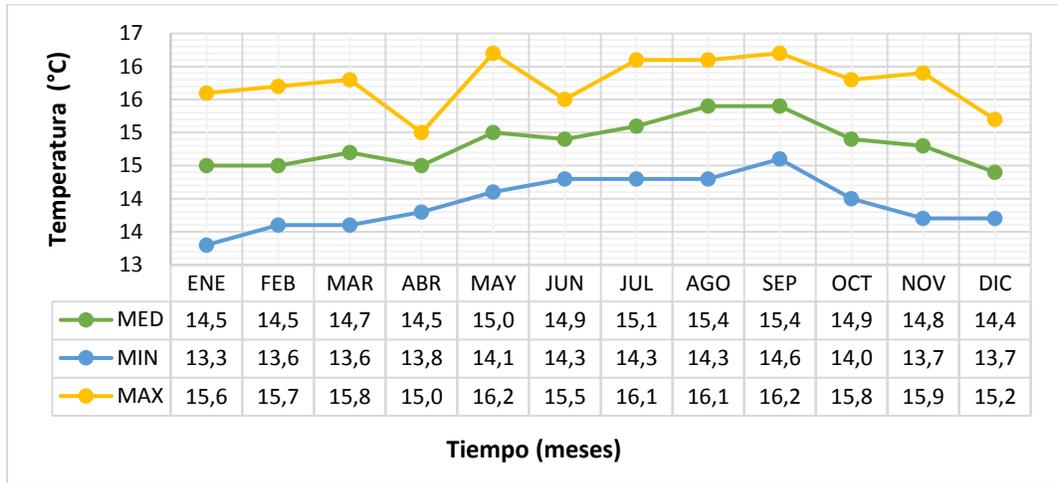
Nota: Elaborado por: Los autores con información tomada de los anuarios (2002-2012) del INAMHI.

3.3.2. Temperatura

Es un factor sumamente importante que está relacionado directamente a la evapotranspiración del cultivo. En la figura 37 se puede apreciar que existen altas temperaturas en los meses de agosto y septiembre, en cambio las menores se presentan en el mes de diciembre. En la figura 38 se muestra la temperatura máxima mensual, por otra parte, la temperatura mínima mensual se observa en la figura 39.

Figura 37

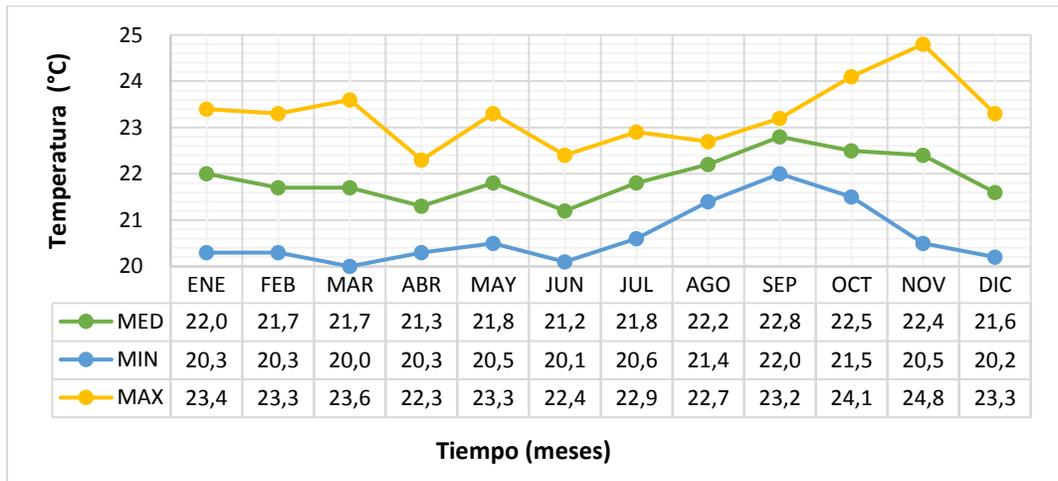
Temperatura media mensual.



Nota: Elaborado por: Los autores con información tomada de los anuarios (2002-2012) del INAMHI.

Figura 38

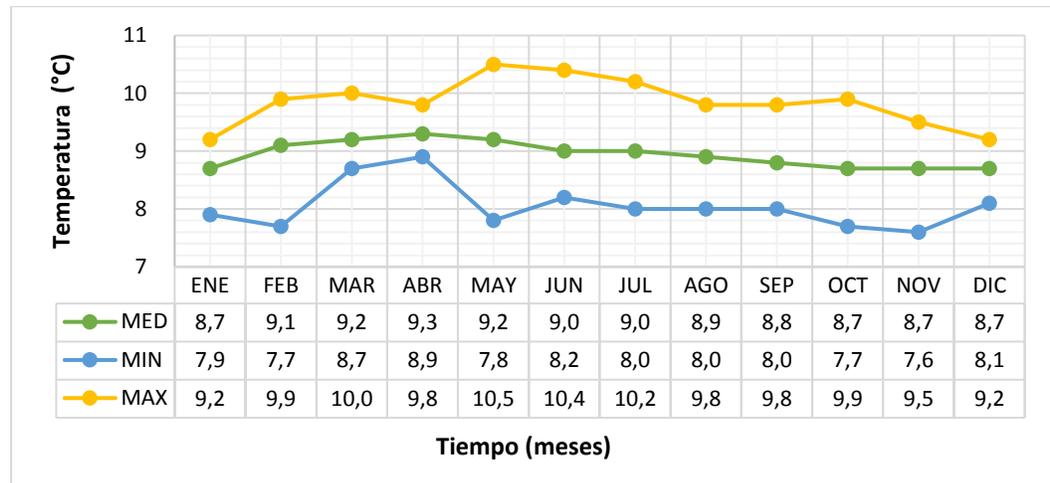
Temperatura máxima mensual.



Nota: Elaborado por: Los autores con información tomada de los anuarios (2002-2012) del INAMHI.

Figura 39

Temperatura mínima mensual.



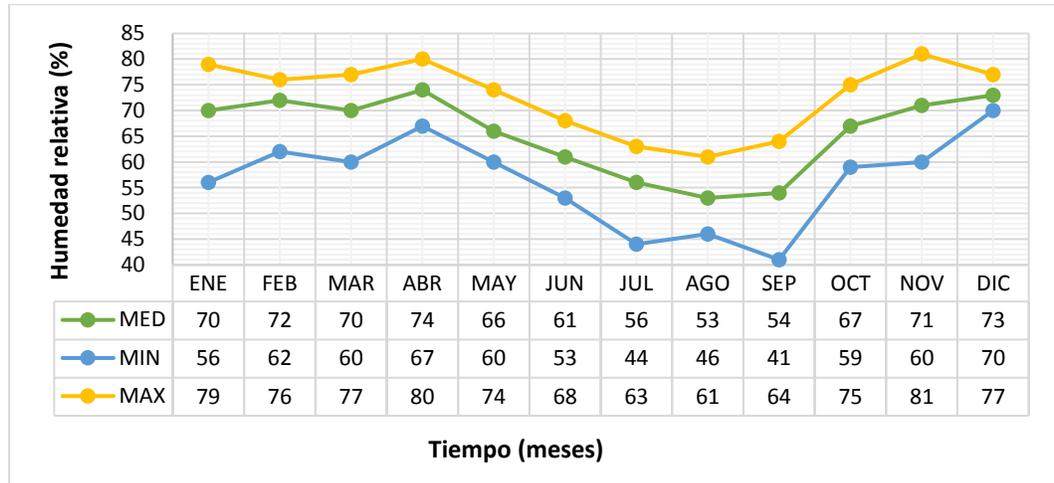
Nota: Elaborado por: Los autores con información tomada de los anuarios (2002-2012) del INAMHI.

3.3.3. Humedad relativa

Está directamente relacionada con la temperatura, y se define como la cantidad de vapor que contiene el aire. Como se puede visualizar en la figura 40, el valor más alto de humedad está en el mes de abril, y el más bajo en el mes de agosto.

Figura 40

Humedad relativa.



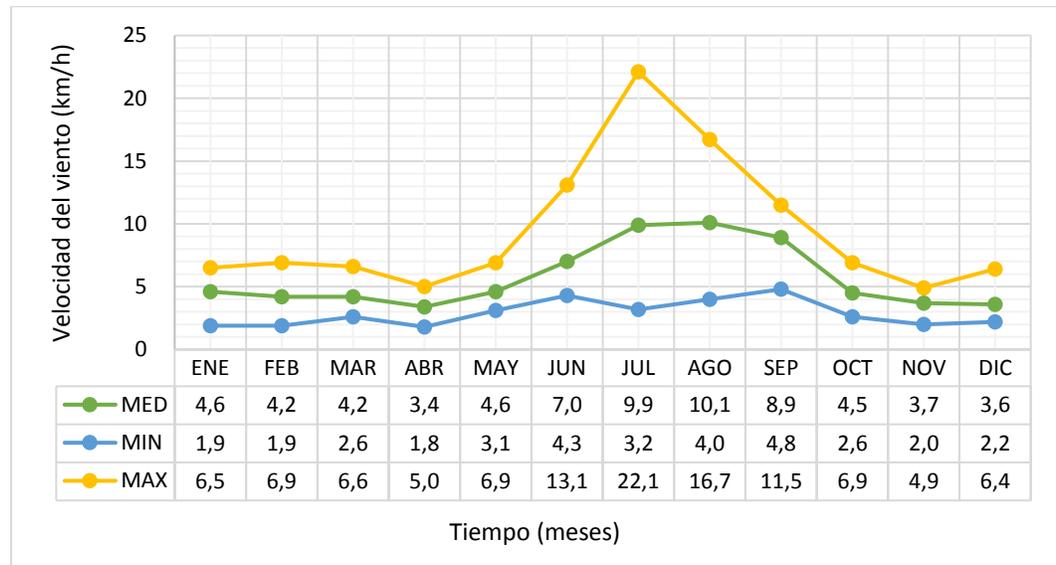
Nota: Elaborado por: Los autores con información tomada de los anuarios (2002-2012) del INAMHI.

3.3.4. Velocidad del viento

Las altas velocidades de los vientos pueden disminuir drásticamente la eficiencia del riego por aspersión, asimismo, puede aumentar los valores de transpiración de las plantas. En la figura 41 se muestra que los vientos fuertes, con dirección al Este, se presentan en los meses de julio y agosto, mientras que en abril los vientos son calmos.

Figura 41

Velocidad mensual del viento.



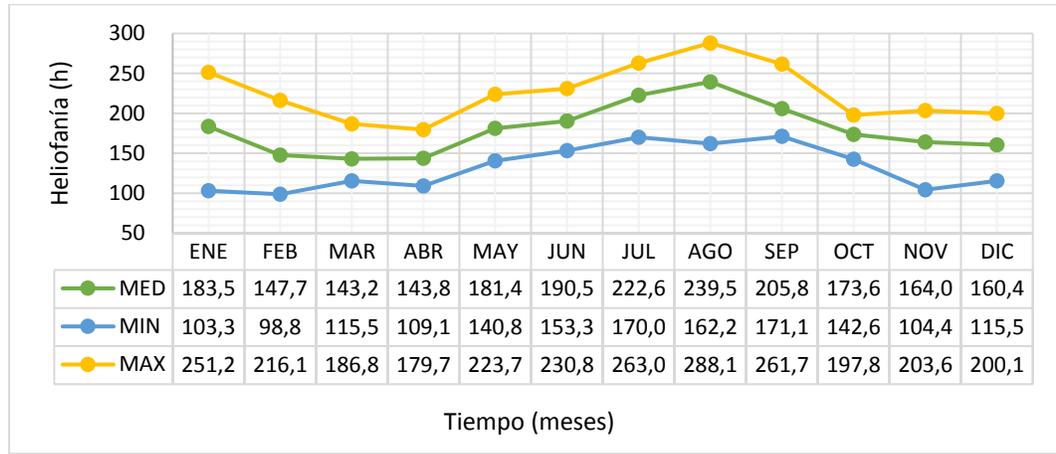
Nota: Elaborado por: Los autores con información tomada de los anuarios (2002-2012) del INAMHI.

3.3.5. Heliofanía

Es el tiempo que dura el brillo solar, en la figura 42 se puede observar que el mayor valor se presenta en el mes de agosto.

Figura 42

Heliofanía.



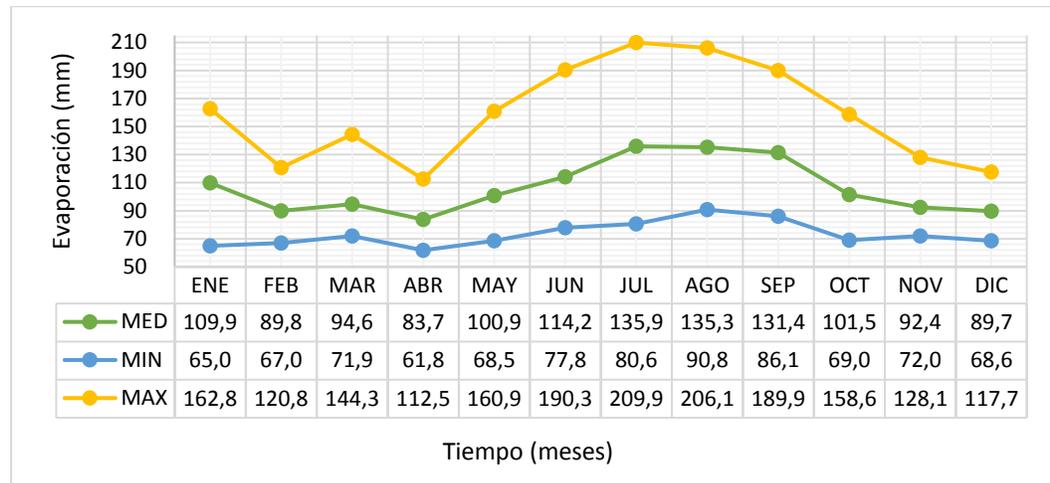
Nota: Elaborado por: Los autores con información tomada de los anuarios (2002-2012) del INAMHI.

3.3.6. Evaporación

Es el proceso físico mediante el cual el agua de la superficie del suelo se convierte en vapor. En la figura 43 se observa que el mes con menor valor de evaporación es abril y el de mayor es julio.

Figura 43

Evaporación.



Nota: Elaborado por: Los autores con información tomada de los anuarios (2002-2012) del INAMHI.

3.4. Patrón de cultivos

Al realizar un recorrido de campo con delegados de la directiva de la comuna San Vicente Alto se pudo determinar que los cultivos que tienen mayor representatividad en el área del proyecto son los de cebolla, pastos, papas y trigo; pero no se logró establecer los porcentajes de dichas áreas cultivadas. En consecuencia, para efectos de la evaluación y diseño del sistema de riego, se trabajará con el valor de la demanda de riego más alta de los cultivos representativos.

3.5. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico es un conjunto de operaciones que se lo realiza con el fin de conocer el terreno y la posición de elementos naturales o instalaciones construidas por el hombre antes de realizar un proyecto. En el presente levantamiento topográfico se recogerán y analizarán todos los datos necesarios para la elaboración de un plano

topográfico de la zona de influencia del proyecto, en donde se puedan identificar los puntos de interés y su posición exacta mediante coordenadas de longitud, latitud y cotas del terreno (x, y, z).

El territorio continental ecuatoriano está ubicado en la zona 17 y 18, entre los hemisferios Norte y Sur, divididos por la línea ecuatorial; a partir de lo cual, se ubica a la comuna San Vicente Alto en la Zona 17 Norte.

El sistema de coordenadas que se utilizará para la georreferenciación y el levantamiento topográfico será el UTM WGS – 84 (Universal Transversal de Mercator del año 1984), que se hará con la ayuda de los equipos GPS LEICA 1200 L1/L2 (Ver figura 44), mediante los cuales al utilizar el método estático, que emplea como base para la toma de datos a la estación certificada de control horizontal y vertical VIETIC, se puede obtener una precisión horizontal y vertical de hasta 3 mm + 0,5 ppm y 6 mm + 0,5 ppm respectivamente (Ver figura 45), posteriormente, el post proceso de los mismos se hará en el software Leica Geo Office versión 7,0 (Escobar & Flores, 2018).

Figura 44

Precisión y tiempos de observación equipo GPS Leica 1200 L1/L2.

| | |
|---|---|
| Post-proceso con el software Leica Geo Office | Horizontal: 10 mm + 1 ppm, cinemático Vertical: 20 mm + 1 ppm, cinemático |
| Todos los receptores GPS1200 de doble frecuencia | Horizontal: 5 mm + 0,5 ppm, estático Vertical: 10 mm + 0,5 ppm, estático |
| | Para líneas largas con observaciones largas Horizontal: 3 mm + 0,5 ppm, estático Vertical: 6 mm + 0,5 ppm, estático |

Nota: Fuente: (Escobar & Flores, 2018).

Figura 45

Equipo GPS Leica 1200 L1/L2.



Nota: Fuente: (Escobar & Flores, 2018).

3.5.1. Reconocimiento de campo

Como etapa preliminar al levantamiento topográfico de la zona de estudio, se procedió a realizar un recorrido de campo en donde estuvo presente el personal técnico de la Dirección de Gestión de Riego y Drenaje (DGRD) del GADP de Pichincha, una delegación de la comuna San Vicente Alto y los autores del presente trabajo, en el que se llegaron a algunos acuerdos, entre ellos, los habitantes de la comuna San Vicente Alto decidieron que no se modifique el trazado actual de la red del sistema de riego y que se aumente un ramal para cubrir un posible aumento de usuarios, además, se comprometieron a realizar el abscisado a cada 20 m en todo el sistema y a conformar delegaciones que ayuden a realizar los trabajos del levantamiento; a su vez, el personal técnico del DGRD y los autores del presente trabajo, con el fin de bajar los costos que debían ser asumidos por los últimos, sin afectar la confiabilidad de la toma de datos, llegaron al acuerdo de hacer el

levantamiento topográfico en franja, siguiendo el abscisado hecho por la comunidad, con un ancho de 20 m en la conducción principal y 10 m en los ramales secundarios.

3.5.2. Metodología de trabajo

De acuerdo al avance tecnológico, el sistema de posicionamiento global (GPS) es una herramienta de mucha ayuda al momento de ubicar puntos de referencia exactos en la realización de un proyecto, es así que se utilizó la metodología RTK que por sus siglas en inglés significa navegación satelital en tiempo real, la cual se realiza mediante el uso de antenas receptoras de señales GPS, GLONASS y/o GALILEO. Para el presente proyecto se utilizó las antenas LEICA GPS 1200, como se muestra en la figura 46 (Escobar & Flores, 2018).

El procedimiento de campo consta de utilizar una base nivelada y centrada en un punto con coordenadas conocidas, en este caso el punto GPS 1, ubicado en el reservorio del sistema de riego, la cual emite señales de corrección al receptor RTK (antenas LEICA GPS 1200), el receptor calcula las coordenadas del punto y las almacena en el sistema.

Figura 46

Toma de puntos con la antena LEICA GPS 1200.



Nota: Toma y almacenamiento de puntos (X, Y, Z) con los equipos LEICA GPS 1200. Elaborado por: Los autores.

En la etapa de post proceso, se realiza un ajuste de los datos tomados en campo y se corrige o elimina los puntos que no han alcanzado la precisión deseada por interrupciones en la recepción de la señal satelital, es así, que culminada esta etapa, la precisión de los puntos tomados es de 5 mm + 0.5 ppm en sentido horizontal y de 10 mm + 0.5 ppm en sentido vertical; que está dentro del rango exigido por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) para levantamientos topográficos bajo esta metodología (Escobar & Flores, 2018).

3.5.3. Planimetría y altimetría

Una vez obtenida la información del levantamiento topográfico se realiza el procesamiento de la misma, con la ayuda del programa AutoCAD Civil 3D 2019 a modo

de establecer la configuración del terreno tanto en planta como en elevación, de lo cual, algunos de los resultados obtenidos son:

- La conducción principal tiene 2967,79 metros de longitud.
- La conducción secundaria o ramales secundarios suman 1272,74 metros de longitud.
- La cota inicial y final del proyecto es 3510,31 m.s.n.m. y 3321,90 m.s.n.m. respectivamente.
- Pendiente de inclinación promedio de 8,2%.
- El sistema cuenta con un desarenador de 2,3 x 1,0 x 1,0 m, un reservorio recubierto de hormigón de 20 x 45,8 x 3,0 m, 15 cajas de revisión de 1,0 x 1,0 x 0,60 m, una caja de revisión especial de 2,0x1,0x1,0 y un tanque rompe presión de 1,5 x 1,0 x 1,0 m.

CAPÍTULO IV

DISEÑO AGRONÓMICO

4.1. Caudal de demanda de los cultivos

4.1.1. Cálculo de la evapotranspiración potencial (ET_o)

La evapotranspiración es la necesidad de agua que tienen las plantas, la cual depende del tipo de clima (temperatura, humedad, viento y nubosidad), cultivo (naturaleza de la planta, etapas de crecimiento y forma de siembra) y suelo (capacidad de retención de agua). Por lo tanto, es un parámetro indispensable en la formulación del estudio de implantación de un sistema de riego (Cadena V. , 2016).

4.1.1.1. Método del software CROPWAT 8,0 (FAO).

Es un método planteado por la FAO, en él se ingresa los datos de temperaturas medias máximas (Ver figura 38) y medias mínimas (Ver figura 39), humedad media relativa (Ver figura 40), velocidad media del viento (Ver figura 41) y heliofanía media (Ver figura 42) al software CROPWAT para obtener valores de radiación y evapotranspiración potencial diaria (ET_o), como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18*Evapotranspiración potencial por método CROPWAT (FAO).*

| Mes | Días | Temperatura Mínima °C | Temperatura Máxima °C | Humedad Relativa % | Velocidad Viento Km/día | Heliofanía horas | Rad MJ/m ² /día | ET _o mm/mes | ET _o mm/día |
|------------|------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Enero | 31 | 8,7 | 22,0 | 70 | 110 | 5,9 | 18,0 | 107,21 | 3,45 |
| Febrero | 28 | 9,1 | 21,7 | 72 | 101 | 5,3 | 17,5 | 94,89 | 3,39 |
| Marzo | 31 | 9,2 | 21,7 | 70 | 101 | 4,6 | 16,8 | 117,31 | 3,78 |
| Abril | 30 | 9,3 | 21,3 | 74 | 82 | 4,8 | 16,3 | 94,12 | 3,13 |
| Mayo | 31 | 9,2 | 21,8 | 66 | 110 | 5,9 | 17,1 | 104,23 | 3,36 |
| Junio | 30 | 9,0 | 21,2 | 61 | 168 | 6,4 | 17,2 | 106,32 | 3,54 |
| Julio | 31 | 9,0 | 21,8 | 56 | 238 | 7,2 | 18,9 | 128,51 | 4,14 |
| Agosto | 31 | 8,9 | 22,2 | 53 | 242 | 7,7 | 20,2 | 140,18 | 4,52 |
| Septiembre | 30 | 8,8 | 22,8 | 54 | 214 | 6,9 | 19,3 | 133,71 | 4,45 |
| Octubre | 31 | 8,7 | 22,5 | 67 | 108 | 5,6 | 17,9 | 110,63 | 3,56 |
| Noviembre | 30 | 8,7 | 22,4 | 71 | 89 | 5,5 | 17,6 | 100,39 | 3,34 |
| Diciembre | 31 | 8,7 | 21,6 | 73 | 86 | 5,2 | 15,9 | 97,67 | 3,15 |

Nota: Resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial del sitio de estudio. Elaborado por: Los autores con información tomada del software CROPWAT 8,0.

4.1.1.2 Método del tanque evaporímetro.

Para utilizar este método es necesario contar con los datos de evaporación media mensual (Ver figura 43) y con el coeficiente del tanque que depende del tipo de tanque, clima y del medio circundante del tanque (K_p) (Ver tabla 7), que para este caso será de 0,85.

Como ejemplo de cálculo se tomará al mes de enero, que tiene 31 días, una evaporación de 109,9 mm/mes y un coeficiente de tanque (K_p)=0,85 para todos los casos. Reemplazamos los datos en la ecuación 9, y obtenemos los resultados que se muestran en la tabla 19.

$$ET_o = E_p * K_p \quad (\text{Ec.9})$$

$$ET_o = 109,9 \text{ mm/mes} * 0,85$$

$$ET_o = 93,41 \text{ mm/mes}$$

$$ET_o = \frac{93,41 \text{ mm/mes}}{31 \text{ dias de enero}}$$

$$ET_o = 3,01 \text{ mm/día}$$

Tabla 19*Evapotranspiración potencial por método de tanque evaporímetro.*

| Mes | Días | Evaporación mm/mes | Kp | ETo mm/mes | ETo mm/día |
|------------|------|-----------------------|------|---------------|---------------|
| Enero | 31 | 109,9 | | 93,62 | 3,02 |
| Febrero | 28 | 89,8 | | 76,44 | 2,73 |
| Marzo | 31 | 94,6 | | 80,29 | 2,59 |
| Abril | 30 | 83,7 | | 71,10 | 2,37 |
| Mayo | 31 | 100,9 | | 85,56 | 2,76 |
| Junio | 30 | 114,2 | 0,85 | 97,20 | 3,24 |
| Julio | 31 | 135,9 | | 115,32 | 3,72 |
| Agosto | 31 | 135,3 | | 115,01 | 3,71 |
| Septiembre | 30 | 131,4 | | 111,60 | 3,72 |
| Octubre | 31 | 101,5 | | 86,18 | 2,78 |
| Noviembre | 30 | 92,4 | | 78,60 | 2,62 |
| Diciembre | 31 | 89,7 | | 76,26 | 2,46 |

Nota: Resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial del sitio de estudio.

Elaborado por: Los autores.

En la tabla 20 y figura 47 se muestra el resumen de los resultados obtenidos con los dos métodos antes descritos.

Tabla 20

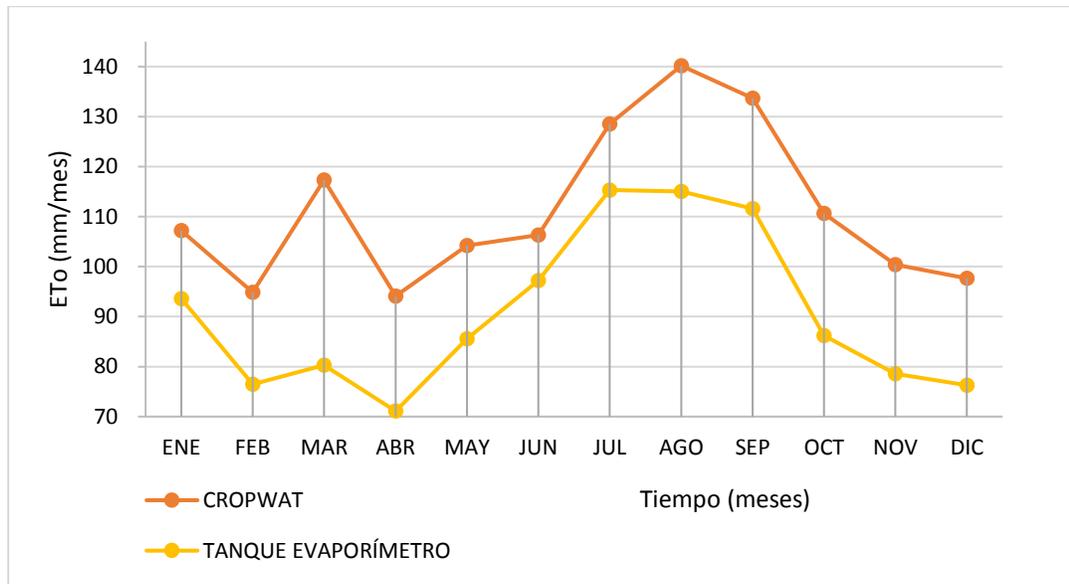
Resumen de resultados de evapotranspiración.

| Mes | Método CROPWAT (FAO) ETo mm/mes | Método tanque evaporimétrico ETo mm/mes |
|------------|--|--|
| Enero | 107,21 | 93,62 |
| Febrero | 94,89 | 76,44 |
| Marzo | 117,31 | 80,29 |
| Abril | 94,12 | 71,10 |
| Mayo | 104,23 | 85,56 |
| Junio | 106,32 | 97,20 |
| Julio | 128,51 | 115,32 |
| Agosto | 140,18 | 115,01 |
| Septiembre | 133,71 | 111,60 |
| Octubre | 110,63 | 86,18 |
| Noviembre | 100,39 | 78,60 |
| Diciembre | 97,67 | 76,26 |

Nota: Resultados de la evapotranspiración potencial del sitio de estudio calculado por el método del tanque evaporímetro y de CROPWAT. Elaborado por: Los autores.

Figura 47

Resumen de resultados de evapotranspiración.



Nota: Esquema de los resultados de la evapotranspiración potencial del sitio de estudio calculado por el método del tanque evaporímetro y de CROPWAT. Elaborado por: Los autores.

Como se puede observar en los resultados de evapotranspiración, obtenidos por dos diferentes métodos, varían ligeramente uno del otro, por ende, se ha decidido adoptar los resultados del método CROPWAT (FAO), ya que tiene en cuenta más variables climáticas que el método del tanque evaporímetro, asegurando un grado mayor de confianza.

4.1.2. Cálculo de la precipitación efectiva (P_e)

La precipitación efectiva se calculará con la ecuación 10 y los datos de la precipitación media mensual (Ver figura 36), y cuyos resultados se muestran en la tabla 21. Para el ejemplo de cálculo se utilizará los datos del mes de enero, $P_r = 46,2$ mm/mes y 31 días.

$$P_e = 0,7 * P_r \quad (\text{Ec. 47})$$

$$P_e = 0,7 * 46,2 \text{ mm/mes}$$

$$P_e = \frac{32,3 \text{ mm}}{31 \text{ días}} = 1,04 \text{ mm/día}$$

Tabla 21

Precipitación efectiva mensual (Pe).

| Mes | Días | Precipitación | Precipitación | Precipitación |
|------------|------|---------------|---------------|---------------|
| | | Media (Pr) | efectiva (Pe) | Efectiva (Pe) |
| | | mm/mes | mm/mes | mm/día |
| Enero | 31 | 46,20 | 32,34 | 1,04 |
| Febrero | 28 | 56,00 | 39,20 | 1,40 |
| Marzo | 31 | 69,30 | 48,51 | 1,56 |
| Abril | 30 | 99,10 | 69,37 | 2,31 |
| Mayo | 31 | 40,50 | 28,35 | 0,91 |
| Junio | 30 | 33,00 | 23,10 | 0,77 |
| Julio | 31 | 16,60 | 11,62 | 0,37 |
| Agosto | 31 | 9,30 | 6,51 | 0,21 |
| Septiembre | 30 | 22,40 | 15,68 | 0,52 |
| Octubre | 31 | 75,20 | 52,64 | 1,69 |
| Noviembre | 30 | 76,40 | 53,48 | 1,78 |
| Diciembre | 31 | 80,70 | 56,49 | 1,82 |
| Promedio | | 52,06 | 36,44 | 1,20 |

Nota: Resultados del cálculo de la precipitación efectiva del sitio de estudio.

Elaborado por: Los autores.

4.1.3. Cálculo de la demanda de riego (Dt)

Para calcular la cantidad de agua que se debe aportar con el riego, hay que conocer las necesidades de la planta y la cantidad de agua que puede aportar la precipitación efectiva durante el ciclo vegetativo; siendo la diferencia entre estas el valor de la demanda de riego.

Dicho valor será determinado para cada tipo de cultivo representativo de la zona de estudio, utilizando la duración de su ciclo vegetativo (Ver tabla 5), el coeficiente de cultivo (K_c) (Ver tabla 6); la precipitación efectiva mensual (P_e) (Ver tabla 21) y de la evapotranspiración potencial (E_{To}) obtenido con el método CROPWAT (Ver tabla 18). Para el ejemplo de cálculo se tomará al cultivo de cebolla en el mes de enero.

Datos:

Evapotranspiración potencial (E_{To}) = 3.45 mm/día. (Valor tomado de la tabla 18).

Precipitación efectiva (P_e) = 1,04 mm/día. (Valor tomado de la tabla 18).

Coefficiente de cultivo (K_c) fase 1 = 0.50. (Valor tomado de la tabla 6).

Coefficiente de cultivo (K_c) fase 2 = 0.70. (Valor tomado de la tabla 6).

Duración fase 1 de cultivo = 15 días. (Valor tomado de la tabla 5).

Duración fase 2 de cultivo = 16 días. (Valor tomado de la tabla 5).

Eficiencia del riego por aspersión (E_r) = 0,75. (Valor tomado de la tabla 8).

En primer lugar, se calcula la evapotranspiración (E_{Tc}) diaria para la fase 1 con la ecuación 7,

$$E_{Tc} = E_{To} * K_c \quad (\text{Ec. 7})$$

$$E_{Tc} = 3,45 \text{ mm/día} * 0,50$$

$$E_{Tc} = 1,73 \text{ mm/día}$$

Lo mismo para la evapotranspiración (E_{Tc}) diaria para la fase 2,

$$E_{Tc} = E_{To} * K_c$$

$$E_{Tc} = 3,45 \text{ mm/día} * 0,70$$

$$E_{Tc} = 2,42 \text{ mm/día}$$

Posteriormente la evapotranspiración (E_{Tc}) para la primera fase del cultivo,

$$ETc = 1,72 \text{ mm/día} * 15 \text{ días}$$

$$ETc = 25,88 \text{ mm/fase}$$

Lo mismo con la evapotranspiración (ETc) para la segunda fase del cultivo,

$$ETc = 2,41 \text{ mm/día} * 16 \text{ días}$$

$$ETc = 38,64 \text{ mm/fase}$$

Se realiza el cálculo de la evapotranspiración (ETc) total para el mes,

$$ETc = 25,88 \text{ mm/fase} + 38,64 \text{ mm/fase}$$

$$ETc = 64,52 \text{ mm/mes}$$

Se convierte a la evapotranspiración (ETc) tola mensual a diaria,

$$ETc = \frac{64,52 \text{ mm/mes}}{31 \text{ días}}$$

$$ETc = 2,08 \text{ mm/día}$$

A continuación, se calcula la demanda de riego neta (Dn), con la ecuación 11,

$$Dn = ETc - Pe \quad (\text{Ec. 11})$$

$$Dn = 2,08 \text{ mm/día} - 1,04 \text{ mm/día}$$

$$Dn = 1,04 \text{ mm/día}$$

Luego se calcula la demanda de riego total (Dt), con la ecuación 12,

$$Dt = \frac{Dn}{Ea} \quad (\text{Ec. 12})$$

$$Dt = \frac{1,04 \text{ mm/día}}{0,75}$$

$$Dt = 1,39 \text{ mm/día}$$

Finalmente, se transforma la demanda de riego total (Dt) a caudal por unidad de área,

$$Q = Dt * \frac{10000}{24 * 3600}$$

$$Q = 1,39 \text{ mm/día} * \frac{10000}{24 * 3600}$$

$$Q = 0,16 \text{ l/s/ha}$$

De lo anterior se puede concluir que la demanda de riego de la primera fase de desarrollo de un cultivo de cebolla para el mes de enero, es de 0,16 l/s/ha.

A continuación, se determina los valores de demanda de riego de los cultivos representativos de la zona de estudio, es decir, cebolla (Ver tabla 22), trigo (Ver tabla 23), pastos (Ver tabla 24) y papa (Ver tabla 25).

Tabla 22*Caudal de demanda de riego para el cultivo de cebolla.*

| Mes | Días | Fases Cultivo | Duración Fase | Kc | ETo mm/día | ETc mm/día | ETc mm/fase | ETc mm/día | Pe mm/día | Dn mm/día | Ea % | Dt mm/día | Qrequerido l/s/ha |
|-----|------|---------------|---------------|-----|---------------|---------------|----------------|---------------|--------------|--------------|---------|--------------|----------------------|
| Ene | 31 | 1 | 15 | 0,5 | 3,45 | 1,73 | 25,88 | 2,08 | 1,04 | 1,04 | | 1,39 | 0,16 |
| | | 2 | 16 | 0,7 | 3,45 | 2,42 | 38,64 | | | | | | |
| Feb | 28 | 2 | 14 | 0,7 | 3,39 | 2,37 | 33,22 | 2,88 | 1,40 | 1,48 | | 1,98 | 0,23 |
| | | 3 | 14 | 1,0 | 3,39 | 3,39 | 47,46 | | | | | | |
| Mar | 31 | 3 | 31 | 1,0 | 3,78 | 3,78 | 117,18 | 3,78 | 1,56 | 2,22 | | 2,96 | 0,34 |
| Abr | 30 | 3 | 10 | 1,0 | 3,13 | 3,13 | 31,30 | 3,13 | 2,31 | 0,82 | | 1,09 | 0,13 |
| | | 4 | 20 | 1,0 | 3,13 | 3,13 | 62,60 | | | | | | |
| May | 31 | 1 | 15 | 0,5 | 3,36 | 1,68 | 25,20 | 2,03 | 0,91 | 1,12 | | 1,49 | 0,17 |
| | | 2 | 16 | 0,7 | 3,36 | 2,35 | 37,63 | | | | | | |
| Jun | 30 | 2 | 14 | 0,7 | 3,54 | 2,48 | 34,69 | 3,04 | 0,77 | 2,27 | | 3,03 | 0,35 |
| | | 3 | 16 | 1,0 | 3,54 | 3,54 | 56,64 | | | | 0,75 | | |
| Jul | 31 | 3 | 31 | 1,0 | 4,14 | 4,14 | 128,34 | 4,14 | 0,37 | 3,77 | | 5,03 | 0,58 |
| Ago | 31 | 3 | 8 | 1,0 | 4,52 | 4,52 | 36,16 | 4,30 | 0,21 | 4,09 | | 5,46 | 0,63 |
| | | 4 | 20 | 1,0 | 4,52 | 4,52 | 90,40 | | | | | | |
| Sep | 30 | 1 | 3 | 0,5 | 4,52 | 2,26 | 6,78 | | | | | | |
| | | 1 | 12 | 0,5 | 4,45 | 2,23 | 26,70 | 2,76 | 0,52 | 2,24 | | 2,99 | 0,35 |
| Oct | 31 | 2 | 18 | 0,7 | 4,45 | 3,12 | 56,07 | | | | | | |
| | | 2 | 12 | 0,7 | 3,56 | 2,49 | 29,90 | 3,15 | 1,69 | 1,46 | | 1,94 | 0,22 |
| | | 3 | 19 | 1,0 | 3,56 | 3,56 | 67,64 | | | | | | |

| Mes | Días | Fases Cultivo | Duración Fase | Kc | ETo mm/día | ETc mm/día | ETc mm/fase | ETc mm/día | Pe mm/día | Dn mm/día | Ea % | Dt mm/día | Qrequerido l/s/ha |
|----------|------|---------------|---------------|-----|---------------|---------------|----------------|---------------|--------------|--------------|---------|--------------|----------------------|
| Nov | 30 | 3 | 30 | 1,0 | 3,34 | 3,34 | 100,20 | 3,34 | 1,78 | 1,56 | | 2,08 | 0,24 |
| Dic | 31 | 3 | 6 | 1,0 | 3,15 | 3,15 | 18,90 | 3,15 | 1,82 | 1,33 | 0,75 | 1,77 | 0,21 |
| | | 4 | 19 | 1,0 | 3,15 | 3,15 | 59,85 | | | | | | |
| Promedio | | | | | | | | | | | | | 0,30 |

Nota: Resultados del cálculo del caudal de demanda de riego para el cultivo de cebolla. Elaborado por: Los autores.

Tabla 23*Caudal de demanda de riego para el cultivo de trigo.*

| Mes | Días | Fases Cultivo | Duración Fase | Kc | ETo mm/día | ETc mm/día | ETc mm/fase | ETc mm/m | Pe mm/día | Dn mm/mes | Ea % | Dt mm/día | Qrequerido l/s/ha |
|----------|------|---------------|---------------|------|------------|------------|-------------|----------|-----------|-----------|------|-----------|-------------------|
| Nov | 30 | 1 | 15 | 0,35 | 3,34 | 1,17 | 17,54 | 1,84 | 1,78 | 0,06 | | 0,08 | 0,01 |
| | | 2 | 15 | 0,75 | 3,34 | 2,51 | 37,58 | | | | | | |
| Dic | 31 | 2 | 15 | 0,75 | 3,15 | 2,36 | 35,44 | 3,01 | 1,82 | 1,19 | | 1,59 | 0,18 |
| | | 3 | 16 | 1,15 | 3,15 | 3,62 | 57,96 | | | | | | |
| Ene | 31 | 3 | 31 | 1,15 | 3,45 | 3,97 | 122,99 | 3,97 | 1,04 | 2,93 | | 3,90 | 0,45 |
| Feb | 28 | 3 | 18 | 1,15 | 3,39 | 3,90 | 70,17 | 3,05 | 1,40 | 1,65 | | 2,20 | 0,25 |
| | | 4 | 10 | 0,45 | 3,39 | 1,53 | 15,26 | | | | | | |
| Mar | 31 | 4 | 30 | 0,45 | 3,78 | 1,70 | 51,03 | 1,69 | 1,56 | 0,13 | | 0,17 | 0,02 |
| | | 1 | 1 | 0,35 | 3,78 | 1,32 | 1,32 | | | | | | |
| Abr | 30 | 1 | 14 | 0,35 | 3,13 | 1,10 | 15,34 | 1,76 | 2,31 | -0,55 | 0,75 | -0,73 | 0,00 |
| | | 2 | 16 | 0,75 | 3,13 | 2,35 | 37,56 | | | | | | |
| May | 31 | 2 | 14 | 0,75 | 3,36 | 2,52 | 35,28 | 3,26 | 0,91 | 2,35 | | 3,13 | 0,36 |
| | | 3 | 17 | 1,15 | 3,36 | 3,86 | 65,69 | | | | | | |
| Jun | 30 | 3 | 30 | 1,15 | 3,54 | 4,07 | 122,13 | 4,07 | 0,77 | 3,30 | | 4,40 | 0,51 |
| Jul | 31 | 3 | 18 | 0,50 | 4,14 | 2,07 | 37,26 | 2,07 | 0,37 | 1,70 | | 2,27 | 0,26 |
| | | 4 | 13 | 0,50 | 4,14 | 2,07 | 26,91 | | | | | | |
| Ago | 31 | 4 | 27 | 0,70 | 4,52 | 3,16 | 85,43 | 3,16 | 0,21 | 2,95 | | 3,94 | 0,46 |
| Promedio | | | | | | | | | | | | | 0,25 |

Nota: Resultados del cálculo del caudal de demanda de riego para el cultivo de trigo. Elaborado por: Los autores.

Tabla 24*Caudal de demanda de riego para los pastos.*

| Mes | Días | Fases Cultivo | Duración Fase | Kc | ETo mm/día | ETc mm/día | ETc mm/fase | ETc mm/día | Pe mm/día | Dn mm/día | Ea % | Db mm/día | Qrequerido l/s/ha |
|-----|------|---------------|---------------|----|---------------|---------------|----------------|---------------|--------------|--------------|---------|--------------|----------------------|
| Ene | 31 | 1 | 25 | 1 | 3,45 | 3,45 | 86,25 | 3,45 | 1,04 | 2,41 | | 3,21 | 0,37 |
| | | 2 | 6 | 1 | 3,45 | 3,45 | 20,70 | | | | | | |
| Feb | 28 | 2 | 19 | 1 | 3,39 | 3,39 | 64,41 | 3,39 | 1,40 | 1,99 | | 2,65 | 0,31 |
| | | 3 | 9 | 1 | 3,39 | 3,39 | 30,51 | | | | | | |
| Mar | 31 | 3 | 6 | 1 | 3,78 | 3,78 | 22,68 | 3,78 | 1,56 | 2,22 | | 2,96 | 0,34 |
| | | 4 | 10 | 1 | 3,78 | 3,78 | 37,80 | | | | | | |
| | | 1 | 15 | 1 | 3,78 | 3,78 | 56,70 | | | | | | |
| Abr | 30 | 1 | 10 | 1 | 3,13 | 3,13 | 31,30 | 3,13 | 2,31 | 0,82 | | 1,09 | 0,13 |
| | | 2 | 20 | 1 | 3,13 | 3,13 | 62,60 | | | | | | |
| May | 31 | 2 | 5 | 1 | 3,36 | 3,36 | 16,80 | 3,36 | 0,91 | 2,45 | 0,75 | 3,27 | 0,38 |
| | | 3 | 15 | 1 | 3,36 | 3,36 | 50,40 | | | | | | |
| | | 4 | 10 | 1 | 3,36 | 3,36 | 33,60 | | | | | | |
| | | 1 | 1 | 1 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | | | | | | |
| Jun | 30 | 1 | 24 | 1 | 3,54 | 3,54 | 84,96 | 3,54 | 0,77 | 2,77 | | 3,69 | 0,43 |
| | | 2 | 6 | 1 | 3,54 | 3,54 | 21,24 | | | | | | |
| Jul | 31 | 2 | 19 | 1 | 4,14 | 4,14 | 78,66 | 4,14 | 0,37 | 3,77 | | 5,03 | 0,58 |
| | | 3 | 12 | 1 | 4,14 | 4,14 | 49,68 | | | | | | |

| Mes | Días | Fases Cultivo | Duración Fase | Kc | ETo | ETc | ETc | ETc | Pe | Dn | Ea | Db | Qrequerido |
|----------|------|---------------|---------------|----|--------|--------|---------|--------|--------|--------|------|--------|------------|
| | | | | | mm/día | mm/día | mm/fase | mm/día | mm/día | mm/día | % | mm/día | l/s/ha |
| Ago | 31 | 3 | 3 | 1 | 4,52 | 4,52 | 13,56 | 4,37 | 0,21 | 4,16 | | 5,55 | 0,64 |
| | | 4 | 10 | 1 | 4,52 | 4,52 | 45,20 | | | | | | |
| | | 1 | 17 | 1 | 4,52 | 4,52 | 76,84 | | | | | | |
| Sep | 30 | 1 | 8 | 1 | 4,45 | 4,45 | 35,60 | 4,45 | 0,52 | 3,93 | | 5,24 | 0,62 |
| | | 2 | 22 | 1 | 4,45 | 4,45 | 97,90 | | | | | | |
| Oct | 31 | 2 | 3 | 1 | 3,56 | 3,56 | 10,68 | 3,56 | 1,69 | 1,87 | 0,75 | 2,49 | 0,31 |
| | | 3 | 15 | 1 | 3,56 | 3,56 | 53,40 | | | | | | |
| | | 4 | 10 | 1 | 3,56 | 3,56 | 35,60 | | | | | | |
| | | 1 | 3 | 1 | 3,56 | 3,56 | 10,68 | | | | | | |
| Nov | 30 | 1 | 22 | 1 | 3,34 | 3,34 | 73,48 | 3,34 | 1,69 | 1,65 | | 2,20 | 0,27 |
| | | 2 | 8 | 1 | 3,34 | 3,34 | 26,72 | | | | | | |
| Dic | 31 | 2 | 17 | 1 | 3,15 | 3,15 | 53,55 | 3,15 | 1,69 | 1,46 | | 1,95 | 0,23 |
| | | 3 | 14 | 1 | 3,15 | 3,15 | 44,10 | | | | | | |
| Promedio | | | | | | | | | | | | | 0,42 |

Nota: Resultados del cálculo del caudal de demanda de riego para el cultivo de pastos. Elaborado por: Los autores.

Tabla 25*Caudal de demanda de riego para el cultivo de papa.*

| Mes | Días | Fases Cultivo | Duración Fase | Kc | ETo mm/día | ETc mm/día | ETc mm/fase | ETc mm/mes | Pe mm/día | Dn mm/día | Ea % | Db mm/día | Qrequerido l/s/ha |
|----------|------|---------------|---------------|------|------------|------------|-------------|------------|-----------|-----------|------|-----------|-------------------|
| En | 31 | 1 | 30 | 0,45 | 3,45 | 1,55 | 46,58 | 1,59 | 1,04 | 0,55 | | 0,73 | 0,08 |
| | | 2 | 1 | 0,75 | 3,45 | 2,59 | 2,59 | | | | | | |
| Feb | 28 | 2 | 28 | 0,75 | 3,39 | 2,54 | 71,19 | 2,54 | 1,40 | 1,14 | | 1,52 | 0,18 |
| Mar | 31 | 2 | 21 | 0,75 | 3,78 | 2,84 | 59,54 | 3,32 | 1,56 | 1,76 | | 2,35 | 0,27 |
| | | 3 | 10 | 1,15 | 3,78 | 4,35 | 43,47 | | | | | | |
| Abr | 30 | 3 | 30 | 1,15 | 3,13 | 3,60 | 107,99 | 3,60 | 2,31 | 1,29 | | 1,72 | 0,20 |
| May | 31 | 3 | 25 | 1,15 | 3,36 | 3,86 | 96,60 | 3,67 | 0,91 | 2,76 | | 3,68 | 0,43 |
| | | 4 | 6 | 0,85 | 3,36 | 2,86 | 17,14 | | | | | | |
| Jun | 30 | 4 | 29 | 0,85 | 3,54 | 3,01 | 87,26 | 2,96 | 0,77 | 2,19 | | 2,92 | 0,34 |
| | | 1 | 1 | 0,45 | 3,54 | 1,59 | 1,59 | | | | 0,75 | | |
| Jul | 31 | 1 | 29 | 0,45 | 4,14 | 1,86 | 54,03 | 1,94 | 0,37 | 1,57 | | 2,10 | 0,24 |
| | | 2 | 2 | 0,75 | 4,14 | 3,11 | 6,21 | | | | | | |
| Ago | 31 | 2 | 31 | 0,75 | 4,52 | 3,39 | 105,09 | 3,39 | 0,21 | 3,18 | | 4,24 | 0,49 |
| Sep | 30 | 2 | 17 | 0,75 | 4,45 | 3,34 | 56,74 | 4,11 | 0,52 | 3,59 | | 4,79 | 0,55 |
| | | 3 | 13 | 1,15 | 4,45 | 5,12 | 66,53 | | | | | | |
| Oct | 31 | 3 | 31 | 1,15 | 3,56 | 4,09 | 126,91 | 4,09 | 1,69 | 2,40 | | 3,21 | 0,37 |
| Nov | 30 | 3 | 21 | 1,15 | 3,34 | 3,84 | 80,66 | 3,54 | 1,78 | 1,76 | | 2,35 | 0,27 |
| | | 4 | 9 | 0,85 | 3,34 | 2,84 | 25,55 | | | | | | |
| Dic | 31 | 4 | 26 | 0,85 | 3,15 | 2,68 | 69,62 | 2,68 | 1,82 | 0,86 | | 1,14 | 0,13 |
| Promedio | | | | | | | | | | | | | 0,30 |

Nota: Resultados del cálculo del caudal de demanda de riego para el cultivo de papa. Elaborado por: Los autores.

En la tabla 26 se muestra el resumen de las demandas de riego promedio de cada tipo de cultivo.

Tabla 26

Caudal de demanda de riego promedio de los cultivos.

| Cultivo | Q requerido l/s/ha |
|----------------|-------------------------------------|
| Cebolla | 0,30 |
| Papa | 0,30 |
| Pastos | 0,42 |
| Trigo | 0,25 |

Nota: Resultados del cálculo del caudal de demanda de riego de los cultivos representativos del sitio de estudio. Elaborado por: Los autores.

Con lo anterior, se puede establecer que es el pasto la planta que mayor caudal de demanda de riego posee. Al no tener un censo del área sembrada con cada tipo de cultivo, se adoptará a este valor como dato de diseño del sistema de riego por aspersión.

4.2. Programación del riego

La programación del riego tiene por finalidad ahorrar agua sin reducir la producción agrícola, tratando de dar una respuesta a las preguntas de ¿cuándo se debe regar?, ¿cuánta cantidad de agua se debe aplicar en cada riego? y ¿cuánto tiempo se debe aplicar el agua en cada riego?, para ello, se calculará la lámina total de riego (L_r), la frecuencia de riego (F_r) y el tiempo de riego (T_r) para cada tipo de cultivo (Cadena V. , 2016).

4.2.1. Cálculo de la lámina de riego total (L_r)

En el cálculo de la lámina de riego total para cada tipo de cultivo se seguirán los siguientes pasos; en el caso del ejemplo de cálculo se tomará al cultivo de cebolla.

Datos:

Arena (Ar)= 45 %. (Valor tomado de la tabla 1).

Limo (L)= 40 %. (Valor tomado de la tabla 1).

Arcilla (Ac)= 15 %. (Valor tomado de la tabla 1).

Densidad aparente del suelo (da)= 1,40 T/ m³. (Valor tomado de la tabla 4).

Profundidad de las raíces (prof)= 250 mm. (Valor tomado de la tabla 2).

Fracción de agotamiento (f)= 0,30 (Valor tomado de la tabla 3).

Eficiencia del riego por aspersión (Er)= 0,75. (Valor tomado de la tabla 8).

En primer lugar, se calcula la capacidad de campo (Cc) con la ecuación 3,

$$Cc = 0.48 Ac + 0.162 L + 0.023 Ar + 2.62 \quad (\text{Ec. 3})$$

$$Cc = 0.48 (15) + 0.162 (40) + 0.023 (45) + 2.62$$

$$Cc = 17 \%$$

A continuación, se calcula el punto de marchitez (Pm) con la ecuación 4,

$$Pm = \frac{Cc}{1.84} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$Pm = \frac{17 \%}{1.84}$$

$$Pm = 9 \%$$

Luego se calcula la lámina neta de riego (Ln) con la ecuación 17,

$$Ln = (Cc - Pm) * da * prof * f \quad (\text{Ec. 17})$$

$$Ln = (0,17 - 0,09) * 1,40 * 250 * 0,3$$

$$Ln = 8,40 \text{ mm}$$

Finalmente se calcula la lámina de riego total (L_r) con la ecuación 18,

$$L_r = \frac{L_n}{E_a} \quad (\text{Ec. 18})$$

$$L_r = \frac{8,40 \text{ mm}}{0,75}$$

$$L_r = 11,20 \text{ mm}$$

De lo anterior se puede concluir que la cantidad de agua que se debe entregar a la toma de agua de riego es de 11, 20 mm o litros (L_r) para que la planta de cebolla reciba los 8,2 litros (L_n) por metro cuadrado que necesita para desarrollarse correctamente.

En la tabla 27 se muestran la cantidad de agua que se debe entregar a la toma de riego y a la planta de los cultivos representativos de la zona de estudio.

Tabla 27

Lámina de riego neta (L_n) y lámina de riego total (L_r) de los cultivos.

| Cultivo | Suelo | | | Prof mm | f % | Ln mm | Ea % | Lr mm |
|---------|--------|--------|------------------------|------------|--------|----------|---------|----------|
| | Cc (%) | Pm (%) | da (T/m ³) | | | | | |
| Cebolla | | | | 250 | 0,30 | 8,40 | | 11,20 |
| Papa | 17,00 | 9,00 | 1,40 | 500 | 0,40 | 22,40 | 0,75 | 29,87 |
| Pastos | | | | 800 | 0,30 | 26,88 | | 35,84 |
| Trigo | | | | 850 | 0,60 | 57,12 | | 76,16 |

Nota: Resultados del cálculo de la lámina de riego neta y total de los cultivos representativos del sitio de estudio. Elaborado por: Los autores.

4.2.2. Cálculo de la frecuencia de riego (Fr)

El cálculo de la frecuencia de riego para cada tipo de cultivo seguirá los siguientes pasos; para el ejemplo de cálculo se tomarán los datos del cultivo de cebolla.

Datos:

Evapotranspiración potencial (ET_o)= 4,52 mm/día. (Valor máximo tomado de la tabla 18).

Coefficiente de cultivo (K_c) = 0.50. (Valor tomado de la tabla 6).

Lámina de riego neta para la cebolla (L_n)= 8,40 mm. (Valor tomado de la tabla 27).

Para calcular la evapotranspiración (ET_c) se utiliza la ecuación 7,

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (\text{Ec. 7})$$

$$ET_c = 4,52 \text{ mm/día} * 0,50$$

$$ET_c = 2,26 \text{ mm/día}$$

A la frecuencia de riego (Fr) se la calcula con la ecuación 19,

$$Fr = \frac{L_n}{ET_c} \quad (\text{Ec. 19})$$

$$Fr = \frac{8,40 \text{ mm}}{2,26 \text{ mm/día}}$$

$$Fr = 4 \text{ días}$$

De lo anterior se puede concluir que cada 4 días se debe regar al cultivo de cebolla.

En la tabla 28 se muestran la frecuencia de riegos para cada uno de los cultivos representativos de la zona de estudio.

Tabla 28*Frecuencia de riego (Fr) de los cultivos.*

| Cultivo | Ln mm | Fases | Kc | ETo mm/día | ETc mm/día | Fr días |
|----------------|------------------|--------------|-----------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| Cebolla | 8,40 | Inicio | 0,50 | 4,52 | 2,26 | 4 |
| | | Desarrollo | 0,70 | | 3,16 | 2 |
| | | Maduración | 1,00 | | 4,52 | 2 |
| | | Final | 1,00 | | 4,52 | 2 |
| Papa | 22,40 | Inicio | 0,45 | 4,52 | 2,03 | 11 |
| | | Desarrollo | 0,75 | | 3,39 | 7 |
| | | Maduración | 1,15 | | 5,20 | 4 |
| | | Final | 0,85 | | 3,84 | 6 |
| Pastos | 26,88 | Inicio | 1,00 | 4,52 | 4,52 | 6 |
| | | Desarrollo | 1,00 | | 4,52 | 6 |
| | | Maduración | 1,00 | | 4,52 | 6 |
| | | Final | 1,00 | | 4,52 | 6 |
| Trigo | 57,12 | Inicio | 0,35 | 4,52 | 1,58 | 36 |
| | | Desarrollo | 0,75 | | 3,39 | 17 |
| | | Maduración | 1,15 | | 5,20 | 11 |
| | | Final | 0,45 | | 2,03 | 28 |

Nota: Resultados del cálculo de la frecuencia de riego de los cultivos representativos del sitio de estudio. Elaborado por: Los autores.

4.2.3. Cálculo del tiempo de riego (Tr)

En el cálculo del tiempo de riego para cada tipo de cultivo se seguirán los siguientes pasos; para el ejemplo de cálculo se tomarán los datos del cultivo de cebolla.

Datos:

Lámina de riego total (Lr)= 11,20 mm. (Valor tomado de la tabla 27).

Velocidad de infiltración del suelo (Vi)= 13,00 mm/hora. (Valor promedio tomado de la tabla 4).

Para calcular el tiempo de riego (Tr) se utiliza la ecuación 20,

$$Tr = \frac{Lr}{Vi} \quad (\text{Ec. 20})$$

$$Tr = \frac{11,20 \text{ mm}}{13 \text{ mm/hora}}$$

$$Tr = 0,86 \text{ horas}$$

De lo anterior se puede decir que el tiempo que se debe regar el cultivo de cebolla es de 0,86 horas.

En la tabla 29 se muestran el tiempo de riego para cada cultivo representativo de la zona de estudio.

Tabla 29

Tiempo de riego (Tr) de los cultivos.

| Cultivo | Lr mm | Vi mm/hora | Tr horas |
|----------------|------------------|-----------------------|---------------------|
| Cebolla | 11,20 | 13 | 0,86 |
| Papa | 29,87 | | 2,30 |
| Pastos | 35,84 | | 2,76 |
| Trigo | 76,16 | | 5,86 |

Nota: Resultados del cálculo del tiempo de riego de los cultivos representativos del sitio de estudio. Elaborado por: Los autores.

En la tabla 30 se presenta el resumen del análisis agronómico descrito anteriormente, en donde se muestra el caudal de demanda y la programación de riego para cada cultivo representativo de la zona de estudio.

Tabla 30*Resumen del análisis agronómico de los cultivos.*

| Cultivo | Fases | Qrequerido l/s/ha | Ln mm | Lr mm | Fr día | Tr horas |
|---------|------------|----------------------|----------|----------|-----------|-------------|
| Cebolla | Inicio | 0,30 | 8,40 | 11,20 | 4 | 0,86 |
| | Desarrollo | | | | 3 | |
| | Maduración | | | | 2 | |
| | Final | | | | 2 | |
| Papa | Inicio | 0,30 | 22,40 | 29,87 | 11 | 2,30 |
| | Desarrollo | | | | 7 | |
| | Maduración | | | | 4 | |
| | Final | | | | 6 | |
| Pastos | Inicio | 0,42 | 26,88 | 35,84 | 6 | 2,76 |
| | Desarrollo | | | | 6 | |
| | Maduración | | | | 6 | |
| | Final | | | | 6 | |
| Trigo | Inicio | 0,25 | 57,12 | 76,16 | 36 | 5,86 |
| | Desarrollo | | | | 17 | |
| | Maduración | | | | 11 | |
| | Final | | | | 28 | |

Nota: Resultados finales del análisis agronómico de los cultivos representativos del sitio de estudio. Elaborado por: Los autores.

Con el análisis anteriormente realizado se pudo establecer que para el cultivo de cebolla se tiene un caudal de demanda (Qrequerido) de 0,30 l/s/ha; la cual deberá ser satisfecha con una programación de riego en la que se provea de una lámina de riego total (Lr) de 11,20 mm/m² o l/m², para que a la planta llegue una lámina de riego neta (Ln) de 8,40 mm/m² o l/m², que se debe repetir cada 4 días, (Fr), por 0,86 horas al día, (Tr).

CAPÍTULO V

AFORAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE

5.1. Campañas de aforamiento

El aforamiento se basa en medir un caudal para la administración de recursos hídricos en sistemas de riego y otras actividades relacionadas con el agua, así, se realizarán campañas de aforo para estimar el caudal real con el que cuenta el sistema de riego de la comuna San Vicente Alto y posteriormente evaluarlo hidráulicamente.

5.1.1. Aforamiento de la acequia “Guanguilquí”

Para realizar el aforo de la acequia Guanguilquí, se utilizará el método del flotador.

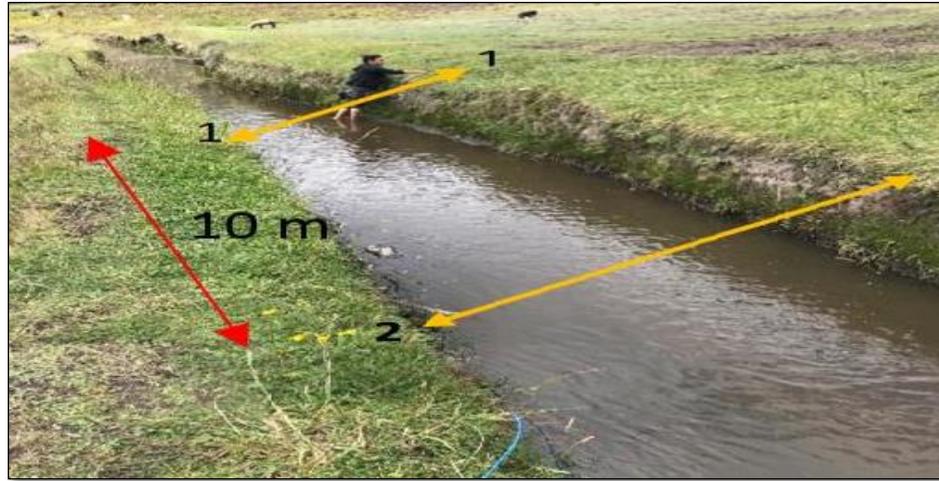
5.1.1.1. Aforamiento por el método del flotador.

El método del flotador se utiliza para medir la velocidad del flujo de agua más no el caudal directamente, utilizando elementos flotadores como botellas y pelotas de plástico, con los cuales se mide la velocidad superficial del agua registrando el tiempo que tarda el flotador en recorrer una distancia conocida, en este caso será de 10 m, marcada previamente sobre un tramo recto y uniforme. El flotador es soltado varias veces unos cuantos metros aguas arriba de la sección de prueba, cronometrando y obteniendo un tiempo promedio, que servirá para determinar la velocidad superficial dividiendo la distancia recorrida entre el tiempo promedio. Es necesario corregir la medición del flotador multiplicando por unos coeficientes que varían de 0.65 a 0.80; misma que debe ser de 0.80 para grandes caudales (ríos, diques y canales). Para calcular la sección del flujo se toman las medidas de ésta (Briones & García, 1997).

La elección del sitio de prueba de la acequia (Ver figura 48), en donde se demarcará el tramo de 10 m que recorrerán los elementos flotantes, en medida de lo posible, debe tener dimensiones de sección de flujo constantes, por ende, se probó varios tramos aguas arriba de la obra de captación de la comuna San Vicente Alto hasta encontrar el sitio que mejor se adapte a estas condiciones y en donde se realizarían todos los aforos; la toma de medidas de la sección de flujo se la hizo en los puntos inicial, medio y final del tramo (Ver figura 49), con el fin de obtener un promedio de profundidad y de sección transversal del mismo, y de éstos, el área de la sección de flujo. Como ejemplo de cálculo se toma al aforo realizado el mes de noviembre, 2019 cuyos datos se muestran en la tabla 31.

Figura 48

Marcación del tramo de recorrido de los elementos flotadores.



Nota: Marcación con hilos del tramo de recorrido de los elementos flotadores en la acequia Guanguilquí. Elaborado por: Los autores.

Figura 49

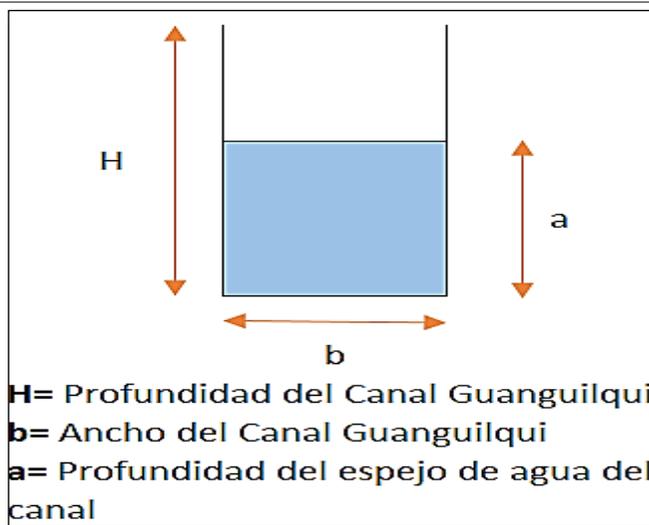
Medición de la sección de la acequia en el tramo de prueba.



Nota: Medición de la sección del tramo de recorrido de los elementos flotadores en la acequia Guanguilquí. Elaborado por: Los autores.

Tabla 31

Medidas de la sección de flujo de prueba en la acequia Guanguilquí.



PUNTO INICIAL DE AFORO 1-1

| a (m) | | |
|-----------|--------|---------|
| Izquierda | Centro | Derecha |
| 0,14 | 0,17 | 0,14 |
| b (m) | | |
| 2,18 | | |
| H (m) | | |
| 1,04 | | |

PUNTO MEDIO DE AFORO

| a (m) | | |
|-----------|--------|---------|
| Izquierda | Centro | Derecha |
| 0,15 | 0,19 | 0,16 |

DATOS PROMEDIO DEL AFORO

| a (m) | | |
|---|--------|---------|
| Izquierda | Centro | Derecha |
| 0,16 | 0,19 | 0,15 |
| a _{prom} (m) | | |
| 0,17 | | |
| b (m) | | |
| 2,12 | | |
| H(m) | | |
| 1,05 | | |
| ÁREA ESPEJO DE AGUA DEL CANAL (m ²) | | |
| 0,35 | | |

| b (m) | | |
|-------|--|--|
| H (m) | | |
| 2,06 | | |
| 1,00 | | |

PUNTO FINAL DE AFORO 2-2

| a (m) | | |
|-----------|--------|---------|
| Izquierda | Centro | Derecha |
| 0,20 | 0,20 | 0,14 |
| b (m) | | |
| 2,12 | | |
| H (m) | | |
| 1,12 | | |

Nota: Resultados de la medición de la sección del tramo de recorrido de los elementos flotadores en la acequia Guanguilquí. Elaborado por: Los autores.

De la tabla 31, se puede determinar que el área de la sección de flujo de la acequia para el aforo del mes de noviembre, 2019 será de 0,35 m².

La toma de datos se realizó descartando los picos mínimos y máximos de las medidas hasta obtener cinco datos similares para cada elemento flotante (Ver figura 50), y

de éstas, determinar un promedio general, denominado tiempo real (t), al cual se lo considerará como el tiempo que les toma a los elementos flotantes en recorrer la longitud de prueba (10 m) en un tramo de la acequia (Ver figura 51), como se muestra en el Anexo 4, para el aforo realizado en el mes de noviembre, 2019 se tiene los datos mostrados en la tabla 32.

Figura 50

Elementos utilizados como flotador.



Nota: Elementos de diferentes dimensiones utilizados como flotador para medir la velocidad de flujo de agua de la acequia Guanguilquí. Elaborado por: Los autores.

Figura 51

Medición del tiempo que tarda el flotador en recorrer la longitud de prueba.



Nota: Medición hecha con un cronómetro y repetida varias veces. Elaborado por:

Los autores.

Tabla 32

Datos del tiempo que tarda el flotador en recorrer la longitud de prueba.

| Elemento flotante | Diámetro/ Dimensión cm | Longitud de prueba m | t ₁ s | t ₂ s | t ₃ s | t ₄ s | t ₅ s | t _{prom} s | t s |
|-------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------|--------|
| Pelota de espuma flex | 12 | 10 | 8,92 | 9,97 | 9,58 | 9,32 | 9,40 | 9,44 | |
| Pelota de ping pong | 4 | 10 | 9,23 | 9,15 | 9,08 | 9,23 | 9,31 | 9,20 | 9,34 |
| Botella plástica 1.5 lt | 16 | 10 | 9,22 | 9,35 | 9,27 | 9,42 | 9,45 | 9,34 | |
| Botella plástica 400 ml | 7,5 | 10 | 8,91 | 9,10 | 9,79 | 9,90 | 9,17 | 9,37 | |

Nota: Resultado final del tiempo que tarda el flotador en recorrer la longitud de prueba en la acequia Guanguilquí. Elaborado por: Los autores.

De la tabla 32 se puede determinar que el tiempo que les toma a los elementos flotadores recorrer la longitud de prueba para el aforo del mes de nov, 2019 es de 9,34 s. Para procesar los datos obtenidos en el aforo por el método del flotador y obtener valores cercanos a la realidad, se utilizará la ecuación 22 y 29.

$$Q = A * V \quad (\text{Ec. 22})$$

Donde:

Q = Caudal expresado m³/s

A = Área de la sección transversal expresado en m²

V = Velocidad expresado en m/s

$$V = \frac{L}{t} \quad (\text{Ec. 47})$$

Donde:

V = Velocidad superficial del flujo en m/s.

L = Distancia que recorre el elemento flotador entre el punto inicial y final de muestreo en m.

t = Tiempo que le toma al elemento flotador en llegar del punto inicial al punto final de muestreo en s.

Entonces, se reemplaza en la Ecuación 47 el valor de la distancia que recorre el elemento flotador entre el punto inicial y final de muestreo o longitud de prueba (L), que para todos los aforos será de 10 m; y el valor del tiempo que les toma a los elementos flotadores en recorrer la longitud de prueba (t), que, para el aforo del mes de noviembre, 2019 es de 9,34 s,

$$V = \frac{L}{t} \quad (\text{Ec. 29})$$

$$V = \frac{10 \text{ m}}{9,34 \text{ s}}$$

$$V = 1,071 \text{ m/s}$$

A continuación, se reemplaza en la ecuación 22 el valor de la velocidad obtenido anteriormente y el valor del área de la sección transversal de la acequia en la longitud de prueba, que, para el aforo del mes de noviembre, 2019 es de 0,35 m². Además, es necesario corregir la medición del aforo con los elementos flotadores multiplicando por un coeficiente de reducción, que como se dijo anteriormente, para acequias será de 0,80.

$$Q = A * V \quad (\text{Ec. 22})$$

$$Q = 0,8 * 0,35 \text{ m}^2 * 1,071 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,299 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 299,88 \text{ l/s}$$

Repitiendo el anterior procedimiento para los cinco meses en los que se realizó el aforo, se logra establecer el caudal que fluye por la acequia en dichos meses, como se muestra en la tabla 33.

Tabla 33

Resumen de las campañas de aforo de la acequia Gualguilquí.

| Mes de muestreo | Aforo | Aforo promedio |
|-----------------|--------|----------------|
| | Q(l/s) | Q(l/s) |
| Noviembre, 2019 | 299,88 | 283,84 |
| Diciembre, 2019 | 340,76 | |
| Enero, 2020 | 246,12 | |
| Febrero, 2020 | 262,80 | |
| Marzo, 2020 | 269,64 | |

Nota: Caudal promedio que fluye por la acequia Guanguilquí obtenida con las campañas de aforo. Elaborado por: Los autores.

De lo anterior, se puede deducir que el caudal promedio que fluye por la acequia Guanguilquí en los cinco meses en los que se hizo el aforo es de 283,84 l/s.

Cabe recalcar que los resultados obtenidos de las campañas de aforamiento, no representan la realidad de las condiciones hídricas del sitio de estudio, ya que se tomó datos únicamente de cinco meses de época de invierno, haciendo necesario llevar a cabo un estudio más extenso y adicionalmente, emplear algún otro método de aforo, con el fin de poder caracterizar de mejor manera a la acequia Guanguilquí.

5.1.2. Aforamiento de la obra de captación

5.1.2.1. Aforo por el método del flotador.

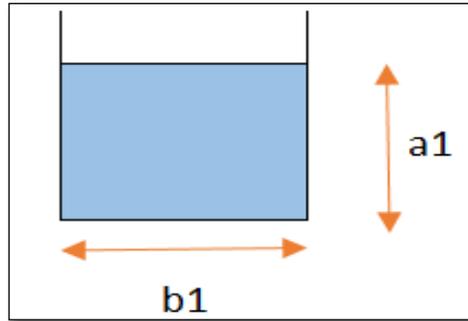
Para realizar el aforamiento de la obra de captación se utilizarán dos métodos, el aforamiento por el método del flotador y por el método teórico o empírico.

Con los datos de velocidad obtenidos en las campañas de aforo y las medidas de la sección transversal (b1) y de altura de abertura (a1) de la compuerta de la obra de captación de la comuna San Vicente Alto (Ver tabla 34), permiten calcular el área transversal por

donde ingresa el caudal, se puede establecer, de la misma forma que para la acequia Guanguilquí, el caudal que fluye o que ingresa a dicha obra de captación.

Tabla 34

Área transversal de la compuerta de ingreso de la obra de captación.



a1 0,05 m

b1 0,38 m

Área entrada captación

0,02 m²

Nota: Medidas de la compuerta de ingreso a la obra de captación del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto. Elaborado por: Los autores.

Entonces, reemplazando en la ecuación 22 el valor de la velocidad obtenido en el aforo del mes de noviembre, 2019 de 1,071 m/s y el valor del área de la sección transversal de la compuerta de la obra de captación (A), que para todos los aforos será de 0,02 m².

A demás, también es necesario corregir la medición del aforo con los elementos flotadores, multiplicando por un coeficiente de reducción, que como corrige la velocidad del flujo, se utilizará el mismo coeficiente que para canales o acequias, es decir, de 0,80.

$$Q = A * V \quad (\text{Ec. 22})$$

$$Q = 0,8 * 0,02 \text{ m}^2 * 1,071 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,017 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 17,13 \text{ l/s}$$

Lo que permite deducir que el caudal que ingresa a la obra de captación de la comuna San Vicente Alto en el mes de noviembre, 2019 es de 17,13 l/s.

Repitiendo este proceso para todos los meses en los que se realizó el aforamiento, (Ver Anexo 3), se obtiene los resultados que se muestran en la tabla 35.

Tabla 35

Resumen de las campañas de aforo de la obra de captación.

| Mes de muestreo | Aforo | Aforo promedio |
|-----------------|--------|----------------|
| | Q(l/s) | Q(l/s) |
| Noviembre, 2019 | 17,13 | 16,20 |
| Diciembre, 2019 | 19,47 | |
| Enero, 2020 | 14,07 | |
| Febrero, 2020 | 14,97 | |
| Marzo, 2020 | 15,40 | |

Nota: Caudal promedio que ingresa a la obra de captación del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto obtenida con las campañas de aforo. Elaborado por: Los autores.

De lo anterior, se puede deducir que el caudal promedio que ingresa a la obra de captación en los cinco meses en los que se hizo el aforo es de 16,20 l/s.

Como se aclaró anteriormente, los resultados obtenidos de las campañas de aforamiento, no representan la realidad de las condiciones hídricas del sitio de estudio, ya que se tomó datos únicamente de cinco meses de época de invierno, haciendo necesario llevar a cabo un estudio más extenso y completo para poder caracterizar de mejor manera a la acequia Guanguilquí.

5.1.2.2. Aforo por el método empírico.

Para poder obtener la velocidad y el caudal que ingresa a la obra de captación en forma teórica, se considerará al flujo según (Franzini & Finnemore, 1999), como estacionario, esto no es estrictamente correcto, ya que la ecuación de la energía para el flujo no estacionario debería incluir además una altura de aceleración. La introducción de dicho término hace que la resolución sea mucho más difícil. En los casos en que el valor de z no varía rápidamente, no resultará ningún error apreciable si ignoramos este término de aceleración. Por tanto, las ecuaciones se pueden escribir como si se tratara de flujo estacionario.

Se calculará la velocidad y caudal aguas arriba y aguas abajo de la compuerta de control de la obra de captación (Ver tabla 36 y figura 52, 53, 54, 55 y 56), para lo cual se empleará la ecuación de Bernoulli (Ec. 28) y la ecuación de conservación de masa, teniendo en cuenta las consideraciones anteriormente hechas.

Figura 52

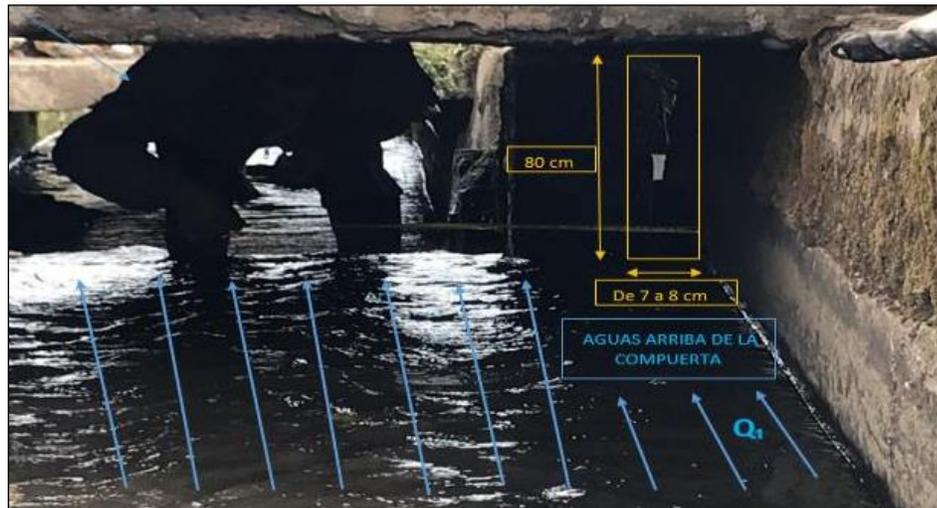
Obra de captación del sistema de riego.



Nota: Obra de captación del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto en acequia Guanguilquí. Elaborado por: Los autores.

Figura 53

Aguas arriba de la obra de captación del sistema de riego.



Nota: Aguas arriba de la obra de captación del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto en acequia Guanguilquí. Elaborado por: Los autores.

Figura 54

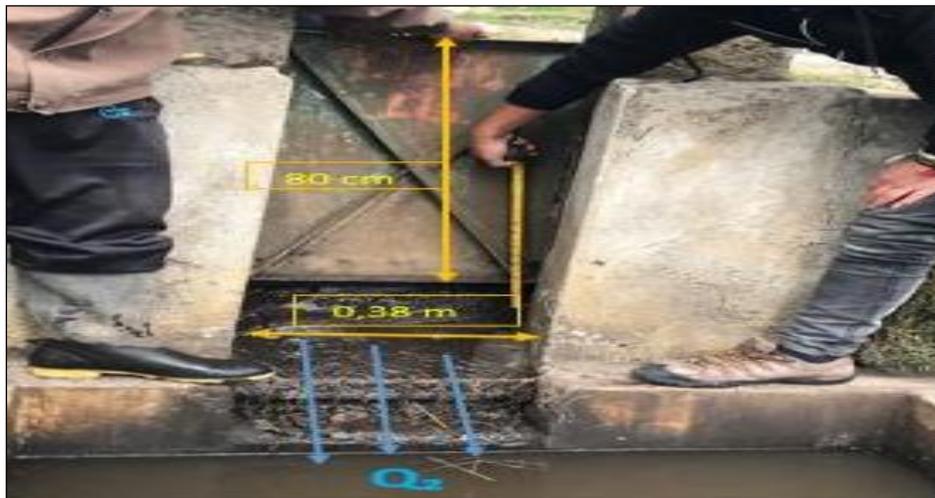
Aguas abajo de la obra de captación del sistema de riego.



Nota: Aguas abajo de la obra de captación del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto en acequia Guanguilquí. Elaborado por: Los autores.

Figura 55

Medidas de la compuerta en la captación del sistema de riego.



Nota: Medidas de la compuerta de la obra de captación del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto en acequia Guanguilquí. Elaborado por: Los autores.

Tabla 36

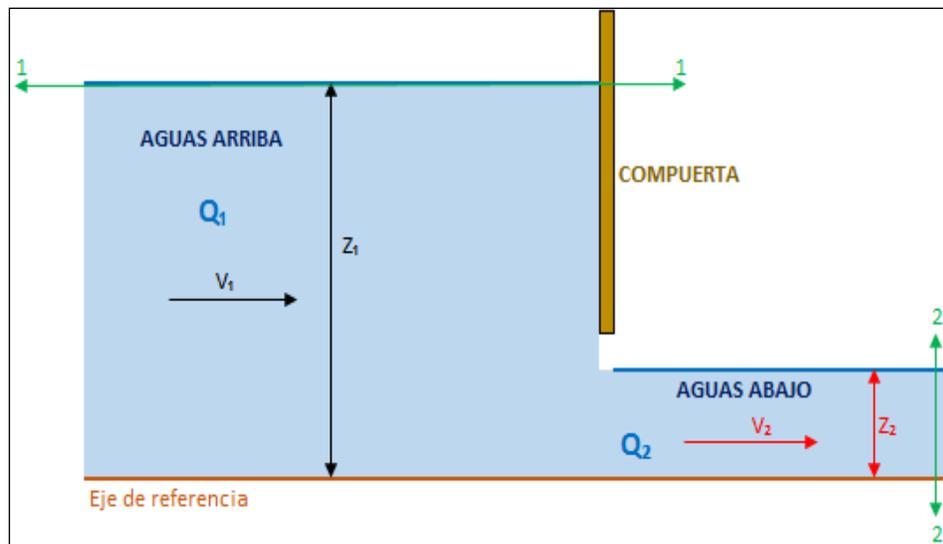
Medidas de la compuerta de control de la obra de captación.

| | | | |
|------------------|------|---|--------------------|
| W = | 0,38 | m | Ancho de compuerta |
| Z ₁ = | 0,25 | m | Nivel aguas arriba |
| Z ₂ = | 0,02 | m | Nivel aguas abajo |

Nota: Elaborado por: Los autores.

Figura 56

Esquema de análisis de la compuerta de la obra de captación.



Nota: Elaborado por: Los autores.

Aplicando la ecuación de Bernoulli (Ec.28) en los puntos 1-1 y 2-2, se tiene:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (\text{Ec. 28})$$

Quedando:

$$z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V_1^2 - V_2^2 = 2g (z_2 - z_1) \quad (\text{Ec. 48})$$

Aplicando la ecuación de conservación de masa donde:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = Q \quad (\text{Ec. 49})$$

Despejando de la ecuación el parámetro de velocidad:

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{Q}{W * z_1} \quad (\text{Ec. 50})$$

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{Q}{W * z_2} \quad (\text{Ec. 51})$$

Se reemplaza la ecuación 50 en la ecuación 48,

$$\left(\frac{Q}{W * z_1}\right)^2 - \left(\frac{Q}{W * z_2}\right)^2 = 2g (z_2 - z_1)$$

$$Q = W * z_1 * z_2 \sqrt{\frac{2g}{z_1 + z_2}} \quad (\text{Ec. 52})$$

En la ecuación 50 se reemplaza la ecuación 52 y se obtiene el valor de la velocidad en los puntos 1-1 y 2-2.

$$V_1 = z_2 \sqrt{\frac{2g}{z_1 + z_2}} \quad (\text{Ec. 53})$$

$$V_1 = 0,02m \sqrt{\frac{2(9,81m/s^2)}{0,25m + 0,02m}}$$

$$V_1 = 0,170 \text{ m/s}$$

$$V_2 = z_1 \sqrt{\frac{2g}{z_1 + z_2}} \quad (\text{Ec. 54})$$

$$V_2 = 0,25m \sqrt{\frac{2(9,81m/s^2)}{0,25m + 0,02m}}$$

$$V_2 = 2,131 \text{ m/s}$$

Y finalmente se obtiene el valor del caudal que fluye en los puntos 1-1 y 2-2,

$$Q_1 = A_1 V_1 = W * z_1 * V_1 \quad (\text{Ec. 49})$$

$$Q_1 = 0,38\text{m} * 0,25\text{m} * 0,170\text{m/s}$$

$$Q_1 = 0,0161 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_1 = 16,11 \text{ l/s}$$

$$Q_2 = A_2 V_2 = W * z_2 * V_2 \quad (\text{Ec. 49})$$

$$Q_2 = 0,38\text{m} * 0,02\text{m} * 2,131\text{m/s}$$

$$Q_2 = 0,0161 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = 16,11 \text{ l/s}$$

Determinando que los datos hidráulicos en el punto 1-1 (Aguas arriba) son: $v=0,17$ m/s y $Q=16,11$ l/s, mientras que en el punto 2-2 (Aguas abajo) son: $v=2,13$ y $Q=16,11$ l/s; estableciendo que el caudal que ingresa a la obra de captación es de 16,11 l/s.

Comparando el valor de caudal obtenido de manera teórica (16,11 l/s) y por el método del flotador (16,20 l/s), se puede establecer que no existe una gran variación entre éstos, por lo cual, se adoptará el valor obtenido mediante las campañas de aforo, ya que considera las condiciones hídricas reales de la zona de estudio.

5.1.2.3. Capacidad de almacenamiento de la obra de captación.

A continuación, se calculará la capacidad o volumen de almacenamiento del desarenador teniendo en cuenta los datos obtenidos en campo (Ver la figura 57, 58 y tabla 37).

Figura 57

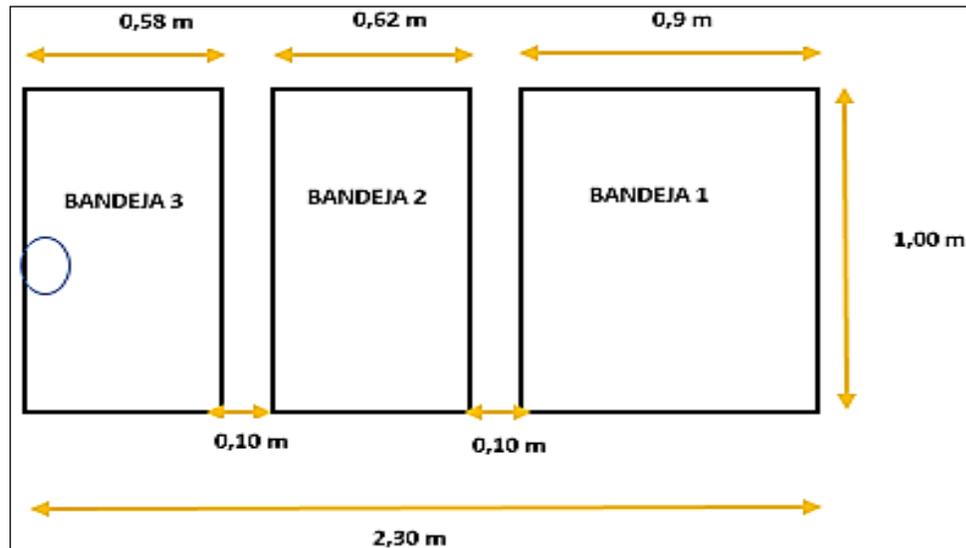
Bandejas del desarenador de la captación del sistema de riego.



Nota: Bandejas del desarenador de la obra de captación del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto. Elaborado por: Los autores.

Figura 58

Vista en planta del desarenador de la captación del sistema de riego.



Nota: Esquema de las bandejas del desarenador de la obra de captación del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto. Elaborado por: Los autores.

Tabla 37

Parámetros y medidas del desarenador de la obra de captación.

| | Profundidad del espejo de agua de la bandeja en m | | |
|---|---|------------------|------------------|
| | Bandeja 1 | Bandeja 2 | Bandeja 3 |
| h | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| b | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| a | 1,00 | 0,90 | 0,72 |
| c | 0,90 | 0,62 | 0,58 |

Nota: Elaborado por: Los autores.

Para ello, se seguirá el siguiente procedimiento de cálculo utilizando el área (A) y profundidad de cada bandeja (a), con la ecuación 55.

$$V = A * a \quad (\text{Ec. 55})$$

Bandeja 1,

$$V_1 = A_1 a_1$$

$$V_1 = 1,00m * 1,00m * 0,9m$$

$$V_1 = 0,9 m^3$$

Bandeja 2,

$$V_2 = A_2 a_2$$

$$V_2 = 1,00m * 0,9m * 0,62m$$

$$V_2 = 0,558 m^3$$

Bandeja 3,

$$V_3 = A_3 a_3$$

$$V_3 = 1,00m * 0,72m * 0,58m$$

$$V_1 = 0,417 m^3$$

El volumen total de almacenamiento del desarenador será la suma del volumen de cada bandeja.

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_T = 0,900m^3 + 0,558m^3 + 0,417m^3$$

$$V_T = 1,88 m^3$$

Obteniendo un área de la obra de captación de $2,10 m^2$ y un volumen de $1,88 m^3$.

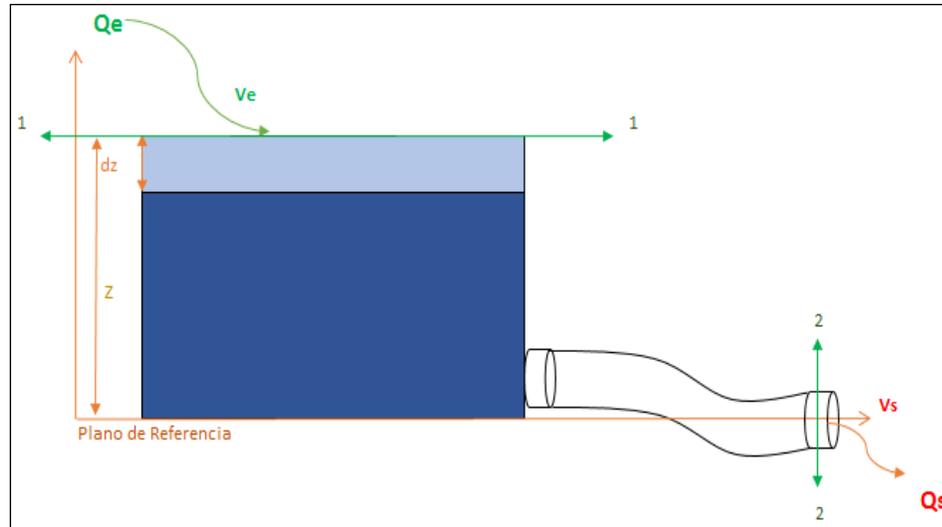
5.1.2.4. Caudal de salida de la obra de captación.

“Como el nivel del agua en las bandejas del desarenador y en el reservorio aumenta o disminuye uniformemente, de manera que el caudal varía continuamente, pero el cambio se produce lentamente se puede entender que el flujo está sometido a las mismas fuerzas previamente consideradas” (Franzini & Finnemore, 1999).

Es así que, para calcular el caudal de salida del desarenador y del reservorio (Ver figura 59), se utilizará la Ecuación de Bernoulli, de la cual se expresará la velocidad del flujo en función del nivel de llenado del depósito, para posteriormente reemplazarla en la ecuación de caudal ($Q=A*V$), siendo A el área del conducto o tubo de salida del depósito, que al dar valores para aumentar o disminuir el nivel de llenado de manera uniforme se podrá encontrar el caudal de salida para estos mismos niveles, como se muestra en el siguiente ejemplo de cálculo para el desarenador, tomando en cuenta que el nivel más bajo de llenado es la altura en donde se ubica el conducto de salida (5 cm) y el nivel más alto de llenado es la altura máxima de la tercera bandeja (0,72 cm).

Figura 59

Esquema de análisis del desarenador de la obra de captación.



Nota: Elaborado por: Los autores.

Aplicando la Ecuación de Bernoulli en los puntos 1-1 y 2-2 se tiene:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{f(1-2)} \quad (\text{Ec. 29})$$

Considerando que el flujo es estacionario en el punto 1-1, la presión y velocidad en dicho punto serán despreciables; y si en el punto 2-2 el conducto desfoga a la atmósfera la presión también será despreciable, quedando entonces la ecuación 56,

$$z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + h_{f(1-2)} \quad (\text{Ec. 56})$$

Teniendo en cuenta que las pérdidas de carga del punto 1-1 al punto 2-2 se expresan con la ecuación 57,

$$h_{f(1-2)} = \frac{V^2}{2g} \left(f \frac{L}{D} + \Sigma \xi_j \right) \quad (\text{Ec. 57})$$

Y que la cota del punto 1-1 con respecto al eje de referencia se puede representar como la altura del desarenador (H):

$$z_1 = H \quad (\text{Ec. 58})$$

Reemplazando las ecuaciones 57 y 58 en la ecuación 52 se tiene,

$$H = \frac{V^2}{2g} \left(1 + f \frac{L}{D} + \Sigma \xi_j \right) \quad (\text{Ec. 59})$$

Y despejando la velocidad de la ecuación 59, obtenemos la ecuación 60,

$$V = \frac{1}{\sqrt{1 + f \frac{L}{D} + \Sigma \xi_j}} \sqrt{2gH} \quad (\text{Ec. 60})$$

De lo cual, resta calcular el coeficiente de fricción (f) y la sumatoria de coeficientes de pérdida locales ($\Sigma \xi_j$) (Ver tabla 39), para dejar la ecuación en función de la profundidad del desarenador (H) (Ver tabla 38).

Tabla 38

Parámetros y medidas del desarenador de la obra de captación.

| | | | |
|------------|-------------|-------------------|---|
| Z | 1,000 | msnm | Diferencia de nivel en la entrada y salida del flujo. |
| H | 0,05 | m | Profundidad mínima del desarenador. |
| D | 0,1056 | m | Diámetro de la tubería de descarga. |
| ν | 0,000001207 | m ² /s | Viscosidad cinemática del agua a 13 °C. |
| ϵ | 0,00000156 | m | Rugosidad absoluta de la tubería de PVC. |
| L | 0,30 | m | Longitud de la tubería de descarga. |
| g | 9,81 | m/s ² | Aceleración de la gravedad. |

Nota: Elaborado por: Los autores.

En primer lugar, se calculará la sumatoria de coeficientes de pérdida locales ($\Sigma \xi_j$), según la figura 13.

Tabla 39*Análisis de pérdidas de carga locales en la tubería.*

| | | | |
|----------------------|------|---|---|
| ξ entrada | 1,0 | m | Coef. pérdida de carga local en la entrada del tubo. |
| ξ unión | 0,0 | m | Coef. pérdida de carga local en la unión del tubo. |
| ξ codo | 0,0 | m | Coef. pérdida de carga local en el codo del tubo. |
| ξ válvula | 0,0 | m | Coef. pérdida de carga local en la válvula. |
| ξ estrechamiento | 0,0 | m | Coef. pérdida de carga local estrechamiento del tubo. |
| ξ tee | 0,0 | m | Coef. pérdida de carga local en una tee del tubo. |
| ξ salida | 0,0 | m | Coef. pérdida de carga local a la salida del tubo. |
| $\Sigma \xi_j$ | 1,00 | m | Sumatoria coef. pérdida de carga local en la tubería. |

Nota: Elaborado por: Los autores.

Entonces,

$$\Sigma \xi_j = 1 m$$

Para las pérdidas de carga longitudinales se determina el coeficiente de fricción (f) mediante el siguiente proceso iterativo,

En primer lugar, se asume un valor cualquiera para el coeficiente de fricción (f),

$$f = 0,018$$

Reemplazando los valores anteriormente obtenidos en la ecuación 60 se tiene,

$$V = \frac{1}{\sqrt{1 + f \frac{L}{D} + \Sigma \xi_j}} \sqrt{2gH} \quad (\text{Ec. 60})$$

$$V = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,018 \frac{0,30m}{0,1056m} + 1}} \sqrt{2 * 9,81m/s^2 * 0,15m}$$

$$V = 1,198 m/s$$

Se calcula el número de Reynolds (Re) con la ecuación 30, para poder determinar el régimen del flujo, si es laminar o turbulento.

$$Re = \frac{D * V}{\nu} \quad (\text{Ec. 30})$$

$$Re = \frac{0,1056m \times 1,198m/s}{0,000001207m^2/s}$$

$$Re = 104\,798,4$$

$$Re > 2000$$

Como $Re > 2000$, el flujo es turbulento.

Se determina el límite inferior ($R'e$) y superior ($R''e$) del número de Reynolds (Re), con las ecuaciones 33 y 34, para identificar la zona de turbulencia al que pertenece el flujo turbulento; ya sea flujo de tubo liso, zona pre cuadrática o zona cuadrática,

$$R'e = \frac{10}{\varepsilon/D} \quad (\text{Ec. 33})$$

$$R'e = \frac{10}{0,00000156m/0,1056m}$$

$$R'e = 679\,923,1$$

$$R''e = \frac{500}{\varepsilon/D} \quad (\text{Ec. 34})$$

$$R''e = \frac{500}{0,00000156m/0,1056m}$$

$$R''e = 33\,846\,153,9$$

Como $Re < R'e$, se considera flujo de tubo liso.

Para calcular el coeficiente de fricción (f) en flujo de tubo liso se utiliza la ecuación

35,

$$f = [2 \log(Re\sqrt{f}) - 0,8]^{-2} \quad (\text{Ec. 35})$$

$$f = [2 \log(104798,4\sqrt{0,018}) - 0,8]^{-2}$$

$$f = 0,017797$$

El proceso de iteración puede terminar cuando el porcentaje de error (%e) entre el valor obtenido (n_f) y el valor asumido (n_o) es menor a un 2%, haciendo la comprobación con la ecuación 61 se obtiene,

$$\%e = \frac{n_o - n_f}{n_f} * 100\% \quad (\text{Ec. 61})$$

$$\%e = \frac{0,018 - 0,017797}{0,017797} * 100\%$$

$$\%e = 1,14 \%$$

Como se puede observar, el %e es menor al 2%, es decir, se podría adoptar a este valor como coeficiente de fricción, pero cabe recalcar que entre más iteraciones se realicen, se obtendrá un valor más exacto.

El resultado de realizar varias iteraciones es,

$$f = 0,017817$$

Se sustituyen los valores obtenidos en la ecuación 60 para determinar la velocidad en función del nivel de llenado del desarenador,

$$V = \frac{1}{\sqrt{1 + f \frac{L}{D} + \sum \xi_j}} \sqrt{2gH} \quad (\text{Ec. 60})$$

$$V = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,017817 \frac{0,30m}{0,1056m} + 1}} \sqrt{2 * 9,81m/s^2 * H}$$

$$V = 3,0932H^{1/2}$$

Se calcula el área del tubo de salida del desarenador con la ecuación 62,

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (\text{Ec. 62})$$

$$A = \frac{\pi * (0,1056m)^2}{4}$$

$$A = 0,0087 m^2$$

Reemplazando valores en la ecuación 22 se obtiene la ecuación 63,

$$Q = A * V \quad (\text{Ec. 22})$$

$$Q = 0,0087 m^2 * 3,0932H^{1/2}$$

$$Q = 0,02709H^{1/2} \quad (\text{Ec. 63})$$

Sustituyendo los diferentes valores de nivel de llenado del desarenador (H) en la ecuación 63, se obtiene el caudal de salida para los mismos, como se muestra en la tabla 40.

Tabla 40

Caudal de salida del desarenador para diferentes niveles de llenado.

| Profundidad o nivel de llenado del desarenador | Caudal de salida del desarenador en función de la profundidad | Velocidad del flujo |
|---|--|--------------------------------|
| H | Q_s | v |
| cm | l/s | m/s |
| 72 | 23,32 | 2,66 |
| 70 | 22,67 | 2,59 |
| 65 | 21,84 | 2,49 |
| 60 | 20,98 | 2,40 |
| 55 | 20,09 | 2,29 |
| 50 | 19,16 | 2,19 |
| 45 | 18,17 | 2,07 |
| 40 | 17,13 | 1,96 |
| 35 | 16,03 | 1,83 |
| 30 | 14,84 | 1,69 |
| 25 | 13,55 | 1,55 |
| 20 | 12,12 | 1,38 |
| 15 | 10,49 | 1,20 |
| 10 | 8,57 | 0,98 |
| 5 | 6,06 | 0,69 |
| 2 | 3,83 | 0,44 |

Nota: Caudal que sale del desarenador en diferentes niveles de llenado del mismo.

Elaborado por: Los autores.

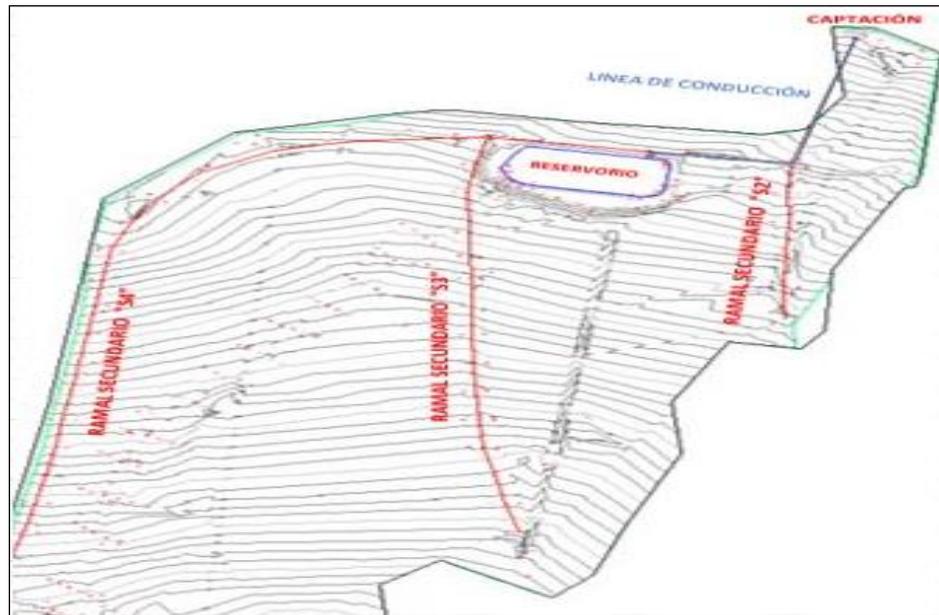
5.1.3. Aforamiento del reservorio

Para realizar el aforo del reservorio se utilizaron dos métodos, el aforo volumétrico directo y una modelación en el software WaterCAD V8i, con el fin de comparar los resultados obtenidos en campo y en gabinete; ya que el caudal que sale de la obra de captación no ingresa directamente al reservorio, sino que es distribuido entre los tres

primeros ramales del sistema de riego (S2, S3 y S4) y el canal de ingreso al reservorio; como se indica en la figura 60.

Figura 60

Ramales secundarios (S2, S3 y S4) del sistema de riego.



Nota: Esquema de los ramales secundarios (S2, S3, y S4) del sistema de riego obtenido del levantamiento topográfico. Elaborado por: Los autores.

5.1.3.1. Aforo por el método volumétrico.

En el aforo por el método volumétrico directo se cronometra el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido, en este caso un balde plástico de 20 litros, con el fin de expresar el caudal como una función de volumen sobre tiempo ($Q = V/t$) (Ver figura 61).

La toma de datos se realizó descartando los picos mínimos y máximos de las medidas hasta obtener cinco datos similares, y de éstos determinar un promedio general, denominado tiempo real (t), al cual se lo considerará como el tiempo que tarda en llenarse

el balde plástico de 20 litros, como se muestra en el anexo 5. Como ejemplo de cálculo se toma al aforo realizado el mes de noviembre, 2019, cuyos datos se muestran en la tabla 41.

Figura 61

Medición del tiempo que tarda el recipiente en llenarse.



Nota: Aplicación del aforo volumétrico para determinar el caudal de ingreso al reservorio del sistema de riego. Elaborado por: Los autores.

Tabla 41

Datos del tiempo que tarda en llenarse el balde plástico.

| Elemento flotante | Volumen litros | t₁ S | t₂ s | t₃ s | t₄ s | t₅ s | t_{prom} s | t s |
|--------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|------------|
| Balde plástico | 20 | 4,93 | 4,96 | 4,87 | 4,82 | 4,88 | 4,89 | 4,89 |

Nota: Resultados del aforo volumétrico para determinar el caudal de ingreso al reservorio del sistema de riego. Elaborado por: Los autores

De la tabla 41, se puede determinar que el tiempo que tarda en llenarse el balde plástico de 20 litros para el aforo del mes de noviembre, 2019 es de 4,89 s.

Para procesar los datos obtenidos en el aforo por el método volumétrico directo y obtener valores cercanos a la realidad, se utilizará la ecuación 21.

$$Q = \frac{Vol}{t} \quad (\text{Ec. 21})$$

Entonces, se reemplaza en la ecuación 21 el valor del volumen del balde de plástico (Vol), que para todos los aforos será de 0,02 m³; y el valor del tiempo que tarda en llenarse el balde plástico (t), que, para el aforo del mes de noviembre, 2019 es de 4,89 s,

$$Q = \frac{0,02 \text{ m}^3}{4,89 \text{ s}}$$

$$Q = 0,00409 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 4,09 \text{ l/s}$$

De lo anterior, se puede concluir que el caudal que entra al reservorio en el mes de noviembre, 2019 es de 4,09 l/s.

Repitiendo este proceso para todos los meses en los que se realizó el aforamiento, se obtiene los resultados que se muestran en la tabla 42.

Tabla 42

Resumen del aforamiento del reservorio.

| Mes de muestreo | Aforo | Aforo promedio |
|-----------------|--------|----------------|
| | Q(l/s) | Q(l/s) |
| Noviembre, 2019 | 4,09 | |
| Diciembre, 2019 | 4,46 | |
| Enero, 2020 | 3,19 | 3,68 |
| Febrero, 2020 | 3,31 | |
| Marzo, 2020 | 3,35 | |

Nota: Caudal de ingreso al reservorio del sistema de riego obtenido por el método de aforo volumétrico. Elaborado por: Los autores

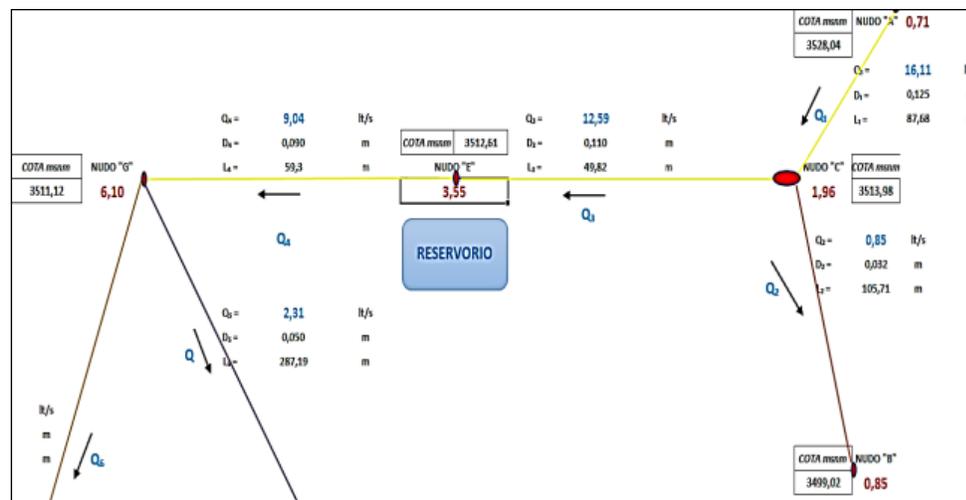
De acuerdo a la tabla 42, el caudal que ingresa al reservorio será de 3,68 l/s. Como ya se dijo, los resultados obtenidos de las campañas de aforamiento no representan la realidad de las condiciones hidráulicas del sitio del proyecto, ya que se tomaron datos únicamente de cinco meses de época de invierno, haciendo necesario llevar a cabo un estudio más extenso y adicionalmente, emplear algún otro método de aforo, con el fin de poder determinar de mejor manera el caudal que ingresa al reservorio.

5.1.3.2. Aforo por modelación en WaterCAD.

En el aforamiento por el método de la modelación en el software WaterCAD V8i, se toma al trazado de los tres ramales del sistema de riego (S2, S3 y S4) y al canal de ingreso al reservorio como un sistema de distribución abierto o red abierta (Ver figura 62), para lo cual, se asume como caudal de demanda al que sale de la obra de captación a una profundidad promedio de 36 cm, es decir, 16,11 l/s calculados anteriormente.

Figura 62

Esquema de cálculo de los caudales de los nodos en la red abierta.



Nota: El caudal de los nodos ubicados en el esquema serán ingresados al software de diseño WaterCAD. Elaborado por: Los autores

A continuación, se describe el proceso para determinar los caudales concentrados en los nodos de la red abierta e ingresarlos en el software siendo la demanda del nodo ubicado en el canal de ingreso al reservorio el caudal que ingresa a éste:

En primer lugar, con el valor del caudal de demanda, el que sale del desarenador a una altura promedio de 36 cm, se determina el caudal específico con ayuda de la ecuación 24,

$$q_l = \frac{Q - \Sigma Q_{alta\ concentraci3n}}{\Sigma_{longitudes\ distribuidas}} \quad (\text{Ec. 24})$$

$$q_l = \frac{16,11\ l/s}{87,68 + 105,71 + 49,82 + 59,30 + 287,19 + 409,84}$$

$$q_l = 0,0161\ l/s/m$$

Se determina los caudales concentrados en cada nodo con la ecuaci3n 25, siendo de inter3s el nudo E,

$$Q_{concentrado} = 0,5 \Sigma(q_l * longitud) \quad (\text{Ec. 25})$$

$$Q_{nudo\ A} = 0,5 * 0,0161\ l/s/m * 87,68$$

$$Q_{nudo\ A} = 0,71\ l/s$$

$$Q_{nudo\ B} = 0,5 * 0,0162\ l/s/m * 105,71$$

$$Q_{nudo\ B} = 0,85\ l/s$$

$$Q_{nudo\ C} = 0,5 * 0,0161\ l/s/m * (87,68 + 105,71 + 49,82)$$

$$Q_{nudo\ C} = 1,96\ l/s$$

$$Q_{nudo\ D} = 0,5 * 0,0161\ l/s/m * 287,19$$

$$Q_{nudo\ D} = 2,31\ l/s$$

$$Q_{nudo\ E} = 0,5 * 0,0161\ l/s/m * 409,84$$

$$Q_{nudo E} = 3,55 \text{ l/s}$$

$$Q_{nudo F} = 0,5 * 0,0161 \text{ l/s/m} * (49,82 + 59,3)$$

$$Q_{nudo F} = 0,63 \text{ l/s}$$

Finalmente, se verifica que la sumatoria de los caudales que salen de los nodos concentrados sea igual al caudal de demanda con la ecuación 26,

$$Q_{demanda} = \Sigma Q_{nodo} \quad (\text{Ec. 26})$$

$$16,11 \text{ l/s} = (0,71 + 0,85 + 1,96 + 2,31 + 3,55 + 0,63 + 6,10) \text{ l/s}$$

$$16,11 \text{ l/s} = 16,11 \text{ l/s}$$

Obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 43:

Tabla 43

Caudales concentrados obtenidos por el método de nodos.

| Nombre | Caudal (l/s) |
|----------|--------------|
| Q nudo A | 0,71 |
| Q nudo C | 1,96 |
| Q nudo B | 0,85 |
| Q nudo F | 0,63 |
| Q nudo G | 6,10 |
| Q nudo D | 2,31 |
| Q nudo E | 3,55 |

Nota: Caudal de ingreso al reservorio del sistema de riego obtenido por el método de aforo volumétrico. Elaborado por: Los autores

El caudal que ingresa al reservorio, según el nudo E, será de 3,55 l/s.

Comparando el valor de caudal de ingreso al reservorio obtenido de manera teórica (3,55 l/s) y por campañas de aforo (3,68 l/s), se puede establecer que no existe una gran

variación entre éstos, por lo cual, se adoptará el valor obtenido mediante las campañas de aforo, ya que considera las condiciones hídricas reales de la zona de estudio.

5.1.3.3. Capacidad de almacenamiento aproximada del reservorio.

Para calcular la capacidad de almacenamiento del reservorio y ante la imposibilidad de tomar las medidas del fondo y la irregularidad de la forma de éste (Ver figura 63 y 64), se utilizaron medidas promedio para estimar dicha capacidad, que se muestra en la tabla 44.

Figura 63

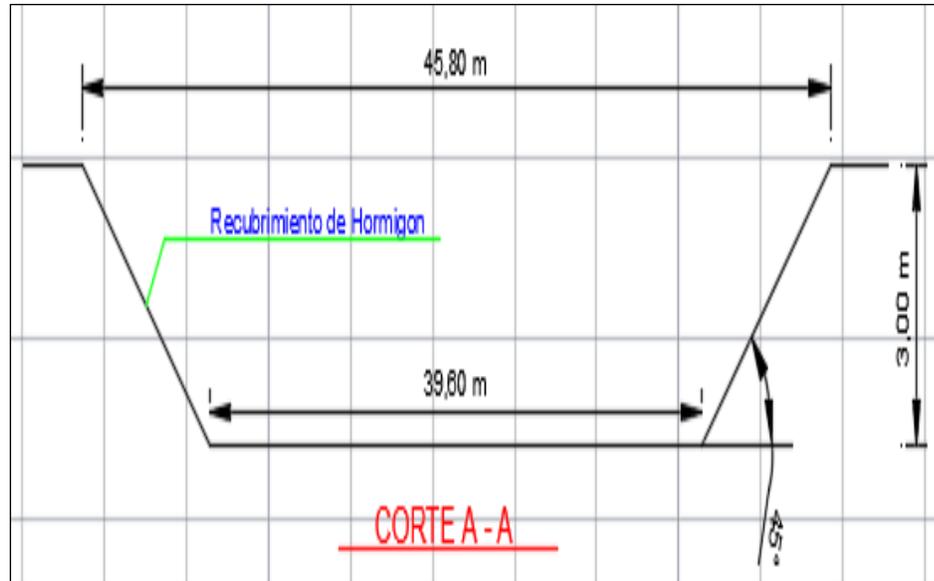
Vista del reservorio del sistema de riego en el plano topográfico.



Nota: Esquema del reservorio del sistema de riego obtenido del levantamiento topográfico. Elaborado por: Los autores

Figura 64

Corte transversal del reservorio del sistema de riego.



Nota: Esquema del corte transversal del reservorio del sistema de riego obtenido de AutoCAD 2019. Elaborado por: Los autores

Tabla 44

Capacidad aproximada de almacenamiento del reservorio.

| | |
|---|--|
| Capacidad de almacenamiento del reservorio |  |
| 2748 m ³ | |

Nota: Elaborado por: Los autores

5.1.3.4. Caudal de salida del reservorio.

Para determinar el caudal de salida del reservorio se utilizará el mismo proceso de cálculo explicado para el desarenador, tomando en cuenta que el nivel más bajo de llenado es la altura en donde se ubica el conducto de salida de fondo (15 cm) y el nivel máximo de llenado es la altura máxima del reservorio (275 cm), como se muestra en la tabla 45.

Tabla 45

Parámetros y medidas del reservorio del sistema de riego.

| | | | |
|---------------|-------------|-------------------|---|
| Z | 2,75 | msnm | Diferencia de nivel en la entrada y salida del flujo. |
| H | 0,15 | m | Profundidad mínima del reservorio. |
| D | 0,1314 | m | Diámetro de la tubería de descarga. |
| ν | 0,000001207 | m ² /s | Viscosidad cinemática del agua a 13 °C. |
| ε | 0,00000156 | m | Rugosidad absoluta de la tubería de PVC. |
| L | 7,70 | m | Longitud de la tubería de descarga. |
| g | 9,81 | m/s ² | Aceleración de la gravedad. |

Nota: Elaborado por: Los autores

En primer lugar, se calculará la sumatoria de coeficientes de pérdida locales ($\Sigma\xi_j$) como se puede ver en la tabla 46, según la Figura 13.

Tabla 46

Análisis de pérdidas de carga locales en la tubería.

| | | | |
|----------------------|------|---|---|
| ξ entrada | 1,0 | m | Coef. pérdida de carga local en la entrada del tubo. |
| ξ unión | 0,0 | m | Coef. pérdida de carga local en la unión del tubo. |
| ξ codo | 0,0 | m | Coef. pérdida de carga local en el codo del tubo. |
| ξ válvula | 0,0 | m | Coef. pérdida de carga local en la válvula. |
| ξ estrechamiento | 0,0 | m | Coef. pérdida de carga local estrechamiento del tubo. |
| ξ tee | 0,0 | m | Coef. pérdida de carga local en una tee del tubo. |
| ξ salida | 0,0 | m | Coef. pérdida de carga local a la salida del tubo. |
| $\Sigma\xi_j$ | 1,00 | m | Sumatoria coef. pérdida de carga local en la tubería. |

Nota: Elaborado por: Los autores

Entonces,

$$\Sigma \xi_j = 1 \text{ m}$$

Para las pérdidas de carga longitudinales se determina el coeficiente de fricción (f) mediante el siguiente proceso iterativo.

En primer lugar, se asume un valor cualquiera para el coeficiente de fricción (f),

$$f = 0,018$$

Reemplazando los valores anteriormente obtenidos en la ecuación 60 se tiene,

$$V = \frac{1}{\sqrt{1 + f \frac{L}{D} + \Sigma \xi_j}} \sqrt{2gH} \quad (\text{Ec. 60})$$

$$V = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,018 \frac{7,70\text{m}}{0,1314\text{m}} + 1}} \sqrt{2 * 9,81\text{m/s}^2 * 0,15\text{m}}$$

$$V = 0,981 \text{ m/s}$$

Se calcula el número de Reynolds (Re) con la ecuación 30 para poder determinar el régimen del flujo, si es laminar o turbulento.

$$Re = \frac{DV}{\nu} \quad (\text{Ec. 30})$$

$$Re = \frac{0,1314\text{m} \times 0,981\text{m/s}}{0,000001207\text{m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 106\ 854,35$$

$$Re > 2000$$

Como $Re > 2000$, el flujo es turbulento.

Se determina el límite inferior ($R'e$) y superior ($R''e$) del número de Reynolds (Re) utilizando la ecuación 33 y 34, para identificar la zona de turbulencia al que pertenece el flujo turbulento; zona de tubo liso, pre cuadrática o cuadrática,

$$R'e = \frac{10}{\varepsilon/D} \quad (\text{Ec. 33})$$

$$R'e = \frac{10}{0,00000156\text{m}/0,1314\text{m}}$$

$$R'e = 842\,307,69$$

$$R''e = \frac{500}{\varepsilon/D} \quad (\text{Ec. 34})$$

$$R''e = \frac{500}{0,00000156\text{m}/0,1314\text{m}}$$

$$R''e = 42\,115\,384,62$$

Como $Re < R'e$, se considera flujo de tubo liso.

Para calcular el coeficiente de fricción (f) en flujo de tubo liso se utiliza la ecuación 35,

$$f = [2 \log(Re\sqrt{f}) - 0,8]^{-2} \quad (\text{Ec. 35})$$

$$f = [2 \log(106854,35\sqrt{0,018}) - 0,8]^{-2}$$

$$f = 0,017717$$

El proceso de iteración puede terminar cuando el porcentaje de error (%e) entre el valor obtenido (n_f) y el valor asumido (n_o) es menor a un 2%, haciendo la comprobación con la ecuación 61 se obtiene,

$$\%e = \frac{n_o - n_f}{n_f} * 100\% \quad (\text{Ec. 61})$$

$$\%e = \frac{0,018 - 0,017717}{0,017717} * 100\%$$

$$\%e = 1,60 \%$$

Como se puede observar, el %e es menor al 2%, es decir, se podría adoptar a este valor como coeficiente de fricción, pero cabe recalcar que entre más iteraciones se realicen, se obtendrá un valor más exacto.

El resultado de realizar varias iteraciones es,

$$f = 0,017737$$

Se sustituyen los valores en la ecuación 60 para obtener la velocidad en función del nivel de llenado del reservorio,

$$V = \frac{1}{\sqrt{1 + f \frac{L}{D} + \Sigma \xi_j}} \sqrt{2gH} \quad (\text{Ec. 60})$$

$$V = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,017737 \frac{7,70m}{0,1314m} + 1}} \sqrt{2 * 9,81m/s^2 * H}$$

$$V = 2,547H^{1/2}$$

Calculando el área del tubo de salida del reservorio con la ecuación 62,

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (\text{Ec. 62})$$

$$A = \frac{\pi * (0,1314m)^2}{4}$$

$$A = 0,0135 m^2$$

Reemplazando valores en la ecuación 22, se obtiene la ecuación 64,

$$Q = A * V \quad (\text{Ec. 22})$$

$$Q = 0,0135 m^2 * 2,547H^{1/2}$$

$$Q = 0,03454H^{1/2} \quad (\text{Ec. 64})$$

Sustituyendo los diferentes valores de nivel de llenado del reservorio (H) en la ecuación 64, se obtiene el caudal de salida para los mismos, mostrados en la tabla 47.

Tabla 47

Caudal de salida del reservorio de acuerdo al nivel de llenado.

| Profundidad o nivel de llenado del reservorio H m | Caudal de salida del reservorio en función de la profundidad Q_s l/s | Velocidad del flujo v m/s |
|--|---|--|
| 2,80 | 57,79 | 4,26 |
| 2,70 | 56,75 | 4,18 |
| 2,60 | 55,69 | 4,11 |
| 2,50 | 54,61 | 4,03 |
| 2,40 | 53,50 | 3,95 |
| 2,30 | 52,38 | 3,86 |
| 2,20 | 51,23 | 3,78 |
| 2,10 | 50,05 | 3,69 |
| 2,00 | 48,84 | 3,60 |
| 1,90 | 47,61 | 3,51 |
| 1,80 | 46,34 | 3,42 |
| 1,70 | 45,03 | 3,32 |
| 1,60 | 43,69 | 3,22 |
| 1,50 | 42,30 | 3,12 |
| 1,40 | 40,86 | 3,01 |
| 1,30 | 39,38 | 2,90 |
| 1,20 | 37,83 | 2,79 |
| 1,10 | 36,22 | 2,67 |
| 1,00 | 34,54 | 2,55 |
| 0,90 | 32,76 | 2,42 |
| 0,80 | 30,89 | 2,28 |
| 0,70 | 28,90 | 2,13 |
| 0,60 | 26,75 | 1,97 |
| 0,50 | 24,42 | 1,80 |
| 0,40 | 21,84 | 1,61 |

Nota: Caudal de salida del reservorio para diferentes niveles de llenado de éste.

Elaborado por: Los autores

5.1.3.5. Tiempo de llenado y vaciado del reservorio.

En la programación del riego es necesario saber el tiempo real de vaciado y llenado del reservorio, que está en función de la variabilidad del caudal de ingreso, debido a lo cual, para estimar dichos tiempos se emplearán los datos obtenidos con los aforamientos descritos anteriormente.

Para calcular el tiempo de llenado del reservorio se utilizará la ecuación 42,

$$t_l = \frac{V_{ol}}{Q_e} \quad (\text{Ec. 42})$$

Asumiendo que el caudal de entrada es constante $Q_e = 7,40 \text{ l/s}$, y el volumen de almacenamiento del reservorio $V_{ol} = 2748 \text{ m}^3$,

$$t_l = \frac{2748 \text{ m}^3}{0,0074 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$t_l = 371351,35 \text{ s}$$

$$t_l = 4,30 \text{ dias}$$

Estableciendo que el tiempo de llenado del reservorio es de 4 días con 7 horas y 12 minutos.

Para determinar el tiempo de vaciado del reservorio se utilizará la ecuación 43, para calcular la descarga con altura variable en el depósito; tomando como niveles de variación z_1 y z_2 , al nivel en donde se ubica el conducto de salida de fondo (15 cm) y al nivel máximo de llenado (275 cm) respectivamente.

$$t = \int_{z_1}^{z_2} \frac{A_s dz}{Q_e - Q_s} \quad (\text{Ec. 43})$$

Esta integral se puede resolver solamente si Q_e es cero o constante y si A_s y Q_s se puede expresar como funciones de z . Tenga en cuenta que aquí los valores instantáneos de

Q_s se han expresado de la misma manera que para el flujo estacionario. Esto no es estrictamente correcto, ya que la ecuación de la energía para el flujo no estacionario debería incluir además una altura de aceleración. La introducción de dicho término hace que la resolución sea mucho más difícil. En los casos en que el valor de z no varía rápidamente, no resultará ningún error apreciable si ignoramos este término de aceleración. Por tanto, las ecuaciones se pueden escribir como si se tratara de flujo estacionario (Franzini & Finnemore, 1999). En la tabla 48 se aprecian los datos del reservorio que serán utilizados en la integral.

Tabla 48

Parámetros del reservorio del sistema de riego.

| | | | |
|-------|------------------|---------|---|
| z_1 | 0,15 | M | Nivel de variación de llenado mínimo. |
| z_2 | 2,75 | M | Nivel de variación de llenado máximo. |
| A_s | 916 z | m^2 | Área de la superficie libre del fluido $f(z)$. |
| Q_e | 0,020 | m^3/s | Caudal de entrada. |
| Q_s | 0,0306 $z^{1/2}$ | m^3/s | Caudal de salida. |

Nota: Elaborado por: Los autores

Sustituyendo valores se tiene los resultados que se observan en la tabla 48,

$$t = \int_{0,15}^{2,75} \frac{916 z m^2}{0,0074 m^3/s - 0,03454z^{1/2}m^3/s} dz$$

$$t = \int_{0,15}^{2,75} \frac{916 z m^2}{0,0074 m^3/s} dz - \frac{916 z m^2}{0,03454z^{1/2}m^3/s} dz$$

$$t = \int_{0,15}^{2,75} 123783,78z m^{-1}s dz - 26519,97z^{1/2}m^{-1}s dz$$

$$t = 387064,91 s$$

$$t = 4,48 \text{ días}$$

Estableciendo que el tiempo de vaciado del reservorio es de 4 días con 11 horas y 31 minutos.

Con lo anterior se puede establecer que el reservorio tarda casi el mismo tiempo en ser llenado y vaciado, por lo que es necesario llevar a cabo una estimación de balance hídrico para establecer si existe o no un déficit en el volumen de agua disponible para atender las necesidades de riego de los cultivos.

5.1.3.6. Balance hídrico del reservorio.

Para estimar el balance hídrico del reservorio de la comuna San Vicente Alto, se proyectará un análisis de oferta (caudales que ingresan) y demanda (caudales que salen) para establecer un rango de déficit o exceso en su volumen de almacenamiento.

En primer lugar, se fija la demanda proyectada, que será la suma de las demandas de las intercepciones, que están en función de la longitud de las tuberías adyacentes a un mismo nodo, y de las demandas agrícolas, calculadas a partir de la demanda de agua de riego y el área neta de cultivo. Para ello se utiliza la ecuación 65 y 66.

$$\mathbf{Demanda\ agrícola = An * Qrequerido} \quad (\text{Ec. 65})$$

Donde:

Demanda agrícola = Caudal de demanda agrícola en l/s.

An = Área neta de cultivo en Ha.

Qrequerido = Caudal de demanda de riego de los cultivos en l/s.

Teniendo como información que An= 67,97 Ha. (Valor tomado de la tabla 13) y Qrequerido= 0,42 l/s/ha (Valor tomado de la tabla 23), se procede a reemplazar datos,

$$\mathbf{Demanda\ agr\acute{ic}ola = 67,97\ Ha * 0,42\ l/s/ha}$$

$$\mathbf{Demanda\ agr\acute{ic}ola = 28,54\ l/s} \quad (\text{Ec. 66})$$

Con el valor de la demanda agr colica y de la demanda por intercepción de tuberías, que para este vaso será de 20,35 l/s; se procede a calcular la demanda proyectada con la ecuación 66.

$$\mathbf{Dem\ proyect. = Dem.\ intercepción + Dem.\ agr\acute{ic}ola} \quad (\text{Ec. 67})$$

$$\mathbf{Dem\ proyect. = 20,35\ l/s + 28,54\ l/s}$$

$$\mathbf{Dem\ proyect. = 48,89\ l/s}$$

Con los datos de los aforos de entrada del reservorio obtenidos en la simulación del sistema en WaterCAD, cabe recalcar que no existe otro cuerpo de agua que pueda aportar al reservorio y la precipitación ya fue considerada en el cálculo de la demanda de riego, y la demanda proyectada, que se asumirá como constante en todo el año, se realiza el balance hídrico, como se muestra en la tabla 49 y figura 65, restando la demanda de la oferta, y si el resultado es positivo, se establece un exceso de caudal, de lo contrario, existirá un déficit.

Tabla 49

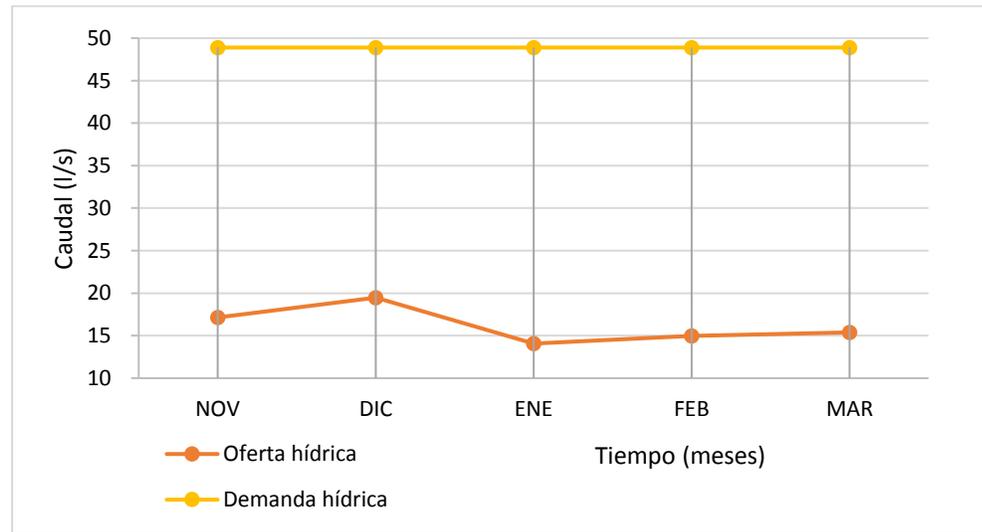
Balance hídrico del reservorio.

| Mes de muestreo | Oferta l/s | Demanda proyectada l/s | Déficit l/s | Exceso |
|-----------------|---------------|------------------------------|----------------|--------|
| Noviembre, 2019 | 17,13 | 48,89 | 31,36 | - |
| Diciembre, 2019 | 19,47 | 48,89 | 29,42 | - |
| Enero, 2020 | 14,07 | 48,89 | 34,82 | - |
| Febrero, 2020 | 14,97 | 48,89 | 33,92 | - |
| Marzo, 2020 | 15,40 | 48,89 | 33,49 | - |

Nota: Resultados de la diferencia entre los caudales que entran y salen del reservorio. Elaborado por: Los autores

Figura 65

Balance hídrico del reservorio.



Nota: Esquema de los resultados de la diferencia entre los caudales que entran y salen del reservorio. Elaborado por: Los autores

Cabe mencionar que la oferta hídrica ha sido estimada solo para cinco meses, en los que se tiene datos de las campañas de aforo, y la demanda hídrica se considera constante

en todo el año. Por lo que el balance hídrico no está basado en una serie de datos completa ni confiable, siendo necesario hacer un estudio completo de la variabilidad de caudales a lo largo del año; pero que es concluyente en establecer que existe un déficit de caudal y, por consiguiente, de volumen de almacenamiento en el reservorio.

También se debe señalar que en el presente estudio no está contemplada la posibilidad de agrandar el reservorio, ya que éste cumple con la función de almacenar y redistribuir el caudal proveniente de la acequia “Guanguilquí”, el cual depende de una concesión sujeta a estudios técnicos de oferta y demanda de caudales a cargo del directorio de dicho canal, siendo así, el déficit es provocado por el bajo caudal concesionado a la comunidad y no al aforo del reservorio. Además, el redimensionamiento necesitaría de una fuerte inversión económica y de mano de obra para retirar todo el recubrimiento de hormigón del que está provisto, perfilar y excavar para dotarlo de sus nuevas dimensiones y recubrir, de nuevo, el fondo y las paredes de hormigón, haciendo costosa e inviable esta alternativa.

5.1.3.7. Turnos para el riego por aspersión.

De acuerdo a lo señalado anteriormente, en donde se establece que existe un déficit de caudal y por ende de volumen de almacenamiento en el reservorio, se hace necesaria la implementación de turnos de riego para asegurar el correcto funcionamiento hidráulico (presión, caudal, velocidad) de todas las tomas de riego. Para ello, se consideren ciertos aspectos de trabajabilidad como el tiempo de trabajo diario, la estación climática, la demanda de riego de los cultivos, el caudal de ingreso al reservorio, etc.

La operación actual del sistema de riego contempla turnos diarios de 10 horas (7 am a 5 pm) intercalados entre los dos sectores en los que está dividido, y siendo éste al que

los usuarios ya están habituados y permite una justa distribución del recurso hídrico, se propone continuar con la misma dinámica.

5.2. Descripción del sistema de riego

El sistema de riego de la comuna San Vicente Alto está en funcionamiento desde el año 2007, por lo que es necesario hacer una descripción de las redes de conducción principal y secundarias que actualmente están en operación, utilizando el caudal real de ingreso al sistema, obtenido anteriormente en las campañas de aforamiento, y el caudal de demanda de riego de los cultivos, determinado con el análisis agronómico, estableciendo el área de influencia y el caudal de demanda de cada toma parcelaria; realizando el cruce de la información del levantamiento topográfico, mapa catastral, proporcionado por el GADIP de Cayambe, y mapa aéreo de la comuna San Vicente Alto, obtenido de Google Earth 2019. Todo esto con el fin de identificar los problemas que se presentan actualmente en el sistema y establecer el punto de partida para realizar el nuevo diseño.

5.2.1. Descripción de la conducción principal y secundaria

La descripción de la conducción principal y secundaria del sistema de riego se hizo mediante la modelación de la red en el software WaterCAD V8i, en el cual se ingresaron los datos de diámetros, levantamiento topográfico, caudales y ubicación de accesorios, tomas y estructuras complementarias de la red, conforme a la información obtenida anteriormente. Luego, se cotejaron los resultados hidráulicos obtenidos con los rangos permitidos por la “NORMA CO 10.7 – 602 DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL” elaborada y actualizada por el Instituto

Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS) y la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), es decir:

Presión dinámica mínima = $1 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ m.c.a.}$ y $2 \text{ kg/cm}^2 = 20 \text{ m.c.a.}$ (para tomas alejadas de la fuente de energía, en este caso, del reservorio)

Presión dinámica máxima = $3 \text{ kg/cm}^2 = 30 \text{ m.c.a.}$

Velocidad de flujo mínima = $0,40 \text{ m/s}$

Velocidad de flujo máxima = $4,5 \text{ m/s}$

Con los resultados de la modelación se pudo determinar que el sistema de riego está formado de dos medios hidráulicos independientes y un punto medio de separación, siendo este el reservorio.

El primer medio hidráulico se ubica arriba del reservorio y está conformado por una línea de conducción principal (LC) y tres líneas de conducción secundarias o ramales secundarios (S2, S3 y S4), las cuales toman el caudal directamente de la obra de captación ubicada en un margen de la acequia Guanguilquí, el cual abastece la demanda de dichos ramales y también ingresa al reservorio para ser almacenado y posteriormente distribuido en el segundo medio hidráulico.

Los datos hidráulicos obtenidos de la simulación, dan cuenta de una presión dinámica de $12,20$ a $48,88 \text{ m.c.a.}$ y una velocidad de flujo de $0,07$ a $0,35 \text{ m/s}$ que, comparando con los rangos permitidos por la normativa, hacen evidentes los problemas de sedimentación y el exceso de presión en la tubería; pero no se han presentado rupturas, pues la tubería instalada tiene una presión máxima de trabajo de $0,5 \text{ Mpa}$ (50 m.c.a.).

El punto medio de separación, es decir el reservorio, fue evaluado mediante un check list (Ver tabla 50), en la que se especifica sus principales características y observaciones.

El segundo medio hidráulico se ubica bajo el reservorio y está conformado por la red de conducción principal (RP) y siete líneas de conducción secundarias o ramales secundarios (S1, S5, S6, S7, S8, S9, Tomas 1 y Tomas 2). Los datos hidráulicos obtenidos de la simulación de este medio hidráulico, muestran una presión dinámica de 16,10 a 155,02 m.c.a. y una velocidad de flujo de 0,05 a 0,24 m/s; existiendo evidentemente problemas de sedimentación y rotura de las tuberías.

En conclusión, la conducción principal y secundaria del sistema de riego presenta serios problemas de sedimentación y rotura de tuberías en varios tramos de la conducción, debido principalmente a velocidades que no cumplen con la mínima permitida por la normativa, y a que la tubería instalada tiene una presión de trabajo máxima de 0,5 Mpa (50 m.c.a.), siendo ésta insuficiente para resistir las altas presiones generadas, de hasta 155 m.c.a.

Respecto al reservorio, se puede decir que, de acuerdo al testimonio de la comunidad, éste se encuentra en buenas condiciones y no presenta fisuras en sus paredes ni problemas de filtración. Finalmente, el rediseño de la conducción principal y secundaria tomará como punto de partida a los criterios técnicos que puedan solucionar los problemas hidráulicos antes mencionados, teniendo como premisa mejorar la operatividad del sistema.

Tabla 50

Descripción del reservorio “San Vicente Alto”.

| Obra de almacenamiento | |
|-------------------------------|---------------------------|
| Tipo de Obra | Reservorio |
| Fecha de Inspección | 21/02/2020 |
| Ubicación | Comuna “San Vicente Alto” |
| Elevación | 3507,57 m.s.n.m. |
| Coordenadas | 0°04'09"S - 78°11'21"W |
| Año de construcción | 2015 |

| Descripción | |
|---------------------------|----------------------------|
| Geometría en planta | Rectangular |
| Geometría en corte | Trapezoidal |
| Talud (z) | 1:1 |
| Material de revestimiento | Hormigón lanzado |
| Dimensiones | 20 x 45,8 x 3,0 metros |
| Capacidad | 2748 m ³ aprox. |
| Tipo | Enterrado |
| Tipo de cerramiento | Malla metálica |

Fotografía



Observación

Se encuentra en buenas condiciones y no presenta fisuras en sus paredes ni problemas de filtración.

Nota: Descripción física visual del reservorio del sistema de riego de la comuna

San Vicente Alto. Elaborado por: Los autores

5.3. *Descripción técnica visual de la situación actual del sistema de riego*

La siguiente descripción técnica visual muestra de manera sistemática los componentes actuales del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto (Ver tabla 51).

- **Canal principal:** canal rectangular de paredes recubiertas de hormigón armado que transporta el caudal de la acequia Guanguilquí.
- **Obra de captación:** es una captación lateral compuesta por un repartidor de caudales y una compuerta de láminas de tol, una rejilla de barras de acero y un vertedero de hormigón armado; cuya función principal es captar el caudal del canal principal con un determinado ángulo de inclinación respecto a la dirección principal del flujo para impedir el ingreso de sedimentos.
- **Compuerta:** elemento de láminas de tol que sirve para impedir o regular la entrada de caudal al sistema de riego, ya sea en tareas de limpieza del reservorio o de mantenimiento del sistema.
- **Rejilla:** elemento de barras de acero que está ubicado después de la compuerta y controla el ingreso de basuras y flotantes al desarenador.
- **Desarenador:** elemento de hormigón armado de tres cámaras que permite la clarificación del agua por medio de la retención y sedimentación de las partículas mayores a un tamaño definido y la evacuación sistemática de los sedimentos depositados en las cámaras con el mínimo consumo de agua.
- **Conducción al reservorio:** tubería de PVC que transporta el agua desde la obra de captación hasta el canal de ingreso al reservorio.

- **Cajas de revisión:** elementos de hormigón armado provistos de tapas de láminas de tol que están colocadas con el objetivo de cambiar la dirección del flujo de las tuberías de PVC, proteger accesorios y dar mantenimiento al sistema.
- **Válvulas de compuerta:** también llamadas válvulas de paso, que son accesorios que se ubican en la tubería y sirven para controlar el flujo del agua y la presión en una sección determinada.
- **Canal de entrada al reservorio:** es un canal abierto rectangular de hormigón armado que conduce el agua desde la tubería de PVC de la conducción de la obra de captación al reservorio.
- **Reservorio:** está recubierto de hormigón y su función es almacenar agua que asegure el volumen que satisfaga las necesidades de los usuarios del sistema de riego, tiene una capacidad de almacenamiento de casi 3000 m³.
- **Desagüe de fondo:** es una tubería PVC que sirve para conducir el agua desde el reservorio a la conducción principal del sistema de riego, está controlado por una válvula de paso de palanca.
- **Desagüe de reboso:** es de tubería PVC que sirve para evitar inundaciones y filtraciones en el reservorio al transportar el caudal de reboso lejos del área de influencia de este, cuando haya llegado al máximo de su capacidad de almacenamiento.
- **Válvula de regulación:** sirve para controlar el flujo del agua y la presión en tuberías de gran diámetro, está ubicada a la salida del reservorio.

- **Válvula de aire:** sirve para controlar las fluctuaciones de presión en las tuberías en los cambios de pendientes y en el llenado y vaciado de las mismas, lo que hace que pueda liberarse aire disuelto con la formación de bolsas de aire o burbujas.
- **Válvula de flotador o globo:** es aquella que regula el llenado de un depósito empleando un dispositivo flotador que cierra y abre el paso del flujo del agua de acuerdo al nivel que tenga.
- **Válvula reductora de presiones:** sirve para cambiar la presión alta aguas arriba a una presión menor y constante aguas abajo sin que se afecten las variaciones en la demanda o en la presión aguas arriba.
- **Línea de conducción principal:** es el sistema de tuberías de PVC que transporta el agua desde el reservorio hasta los ramales secundarios.
- **Línea de conducción secundaria o ramales secundarios:** es el sistema de tuberías de PVC que transporta el agua desde la conducción principal hasta las acometidas.
- **Acometidas:** son tramos de tuberías de PVC que transportan el agua desde la conducción secundaria hasta las tomas parcelaria de cada usuario del sistema.
- **Tomas o acometidas parcelarias:** son tuberías de PVC que tienen en su extremo válvulas de compuerta o paso con una unión sujetable que regula el flujo de agua que entra al kit de riego que cada usuario posee para regar sus terrenos; cabe recalcar que existe un déficit de estos en la comunidad y varios presentan problemas de funcionalidad.
- **Kit de riego:** compuesto por manguera de PVC que a un extremo tiene una unión sujetable que se conecta a la toma y al otro extremo un aspersor que riega los terrenos de los usuarios.

Tabla 51

Descripción de la infraestructura existente en el sistema de riego.

| Estructura hidráulica | Composición | Estado | Imagen |
|------------------------------|--|---------------|--|
| Canal principal | Hormigón armado | Regular |  |
| Captación | Hormigón armado | Bueno |  |
| Compuerta | Marco y lámina de tol | Bueno |  |
| Rejilla | Barras de acero | Regular |  |
| Conducción al reservorio | Tubería PVC | Bueno |  |
| Desarenador | Hormigón armado y tapa de láminas de tol | Bueno |  |

| Estructura hidráulica | Composición | Estado | Imagen |
|--|--|---------------|--|
| Cajas de revisión | Hormigón armado y tapa de láminas de tol | Bueno |  |
| Válvulas de compuerta | Hierro fundido H.F. | Bueno |  |
| Canal de entrada al reservorio | Hormigón armado | Bueno |  |
| Reservorio | Hormigón armado | Bueno |  |
| Desagüe de reboso | Tubería PVC | Regular |  |
| Válvula de regulación a la salida del reservorio | Hierro fundido H.F. | Bueno |  |

| Estructura hidráulica | Composición | Estado | Imagen |
|--------------------------------|---------------------|---------------|--|
| Válvula de aire | Hierro fundido H.F. | Bueno |  |
| Tomas parcelarias | Tubería PVC | Regular |  |
| Kit de riego | Tubería PVC | Regular |  |
| Válvula flotadora | Hierro fundido H.F. | Bueno |  |
| Válvula reductora de presiones | Hierro fundido H.F. | Bueno |  |

Nota: Descripción física visual de la infraestructura existente del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto. Elaborado por: Los autores

CAPÍTULO VI

DISEÑO HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL

6.1. Criterios de diseño

El presente proyecto tiene como objetivo realizar el rediseño de las redes de conducción principal y secundarias del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto partiendo de los resultados del diagnóstico hidráulico del mismo, presentados en el capítulo anterior.

El nuevo diseño se hará para una conducción a gravedad con flujo a presión que mejor se ajuste a las condiciones del terreno y solucione los problemas operativos identificados en el sistema, para ello se realizarán los cálculos necesarios utilizando las fórmulas y procedimientos descritos en el marco teórico del presente trabajo teniendo en cuenta los criterios dados en: “NORMA CO 10.07 – 601 PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES” y “ NORMA CO 10.7 – 602 DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL” elaboradas y actualizadas por el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS) y la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), asumiendo que el diseño de la red de conducción de riego es similar al diseño de la red de conducción de agua potable, por su semejanza en requerimientos de diseño hidráulico, condiciones de trazado e instalación de tuberías y accesorios en el terreno.

6.2. Metodología de diseño

La línea de conducción principal será diseñada para transportar un caudal de 20,10 l/s, caudal que fue concesionado por el Directorio de Aguas de la Acequia Guanguilquí a la comuna San Vicente Alto, y por pedido de la comunidad el trazado actual de la conducción principal y secundaria, en medida de lo posible, no deberá ser modificado; partiendo desde el reservorio ubicado a una cota de 3510,31 msnm, recorriendo 2967,79 m con una pendiente de inclinación promedio de 8,2% y finalizando a una cota de 3321,90 msnm. El caudal de diseño para las conducciones secundarias será el calculado dependiendo de cada ramal, pero el procedimiento de diseño será el mismo al de la conducción principal.

Los cálculos necesarios en el diseño de las líneas de conducción se realizarán en tramos de 20 metros de avance longitudinal, permitiendo tener un mejor control de las presiones y velocidades originadas en las tuberías por las diversas diferencias de altura a lo largo de ellas.

6.2.1. Ejemplo de cálculo de la línea de conducción principal

Para realizar el diseño de la línea de conducción principal se tiene un caudal de diseño (Q_d) de 20,10 l/s, que sale del reservorio ubicado a 3510,31 msnm, y se ha seguido el siguiente orden de cálculo (Ver anexo 6), tomando al tramo abscisado con 0+020 y cota 3504,24 m.s.n.m.

Columna 1. Cálculo del diámetro de tubería ($\Phi_{tentativo}$) con la ecuación 27,

$$\Phi_{tentativo} = 1.35 * \sqrt{Q_d} * 25.4 \quad (\text{Ec. 27})$$

$$\Phi_{tentativo} = 1.35 * \sqrt{20,10 \text{ l/s}} * 25.4$$

$$\phi_{tentativo} = 153,53 \text{ mm}$$

Se elige al diámetro comercial más cercano al calculado,

$$\phi_{nominal} = 160 \text{ mm}$$

$$\phi_{interno} = 153,6 \text{ mm}$$

Columna 2. Cálculo de la sección de flujo de la tubería (A) con la ecuación 62.

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (\text{Ec. 62})$$

$$A = \frac{\pi * (153,6/1000)^2}{4}$$

$$A = 0,0185 \text{ m}^2$$

Columna 3. Selección del coeficiente de rozamiento de Hazen-Williams “C” para tubería de PVC.

$$C = 150$$

$$presión = 0,50 \text{ MPa}$$

Columna 4. Cálculo de la velocidad de flujo (V) con la ecuación 22,

$$V = \frac{Q_d}{A} \quad (\text{Ec. 22})$$

$$V = \frac{0,02 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0185 \text{ m}^2}$$

$$V = 1,08 \text{ m/s}$$

Columna 5. Cálculo de la rugosidad relativa de la tubería (Δ_r) con la ecuación 67, teniendo en cuenta que la rugosidad absoluta de la tubería de PVC es $\varepsilon = 0,00000156 \text{ m}$.

$$\Delta_r = \frac{\varepsilon}{D} \quad (\text{Ec. 68})$$

$$\Delta_r = \frac{0,00000156 \text{ m}}{(153,6/1000) \text{ m}}$$

$$\Delta_r = 0,0000102$$

Columna 6. Cálculo del número de Reynolds (Re) con la ecuación 30, teniendo en cuenta que la viscosidad cinemática del agua a $13 \text{ }^\circ\text{C}$ es $\nu = 0,000001207 \text{ m}^2/\text{s}$.

$$Re = \frac{DV}{\nu} \quad (\text{Ec. 30})$$

$$Re = \frac{(153,6/1000) \text{ m} * 1,08 \text{ m/s}}{0,000001207 \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 137\,354,10$$

Columna 7. Cálculo del factor de fricción (f) utilizando la fórmula de Colebrook, ecuación 37,

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,70 D} + \frac{5,74}{Re^{0,90}} \right) \right]^2} \quad (\text{Ec. 37})$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\frac{0,00000156 \text{ m}}{(153,6/1000) \text{ m}}}{3,70} + \frac{5,74}{(137354,10)^{0,90}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,01681$$

Columna 8. Cálculo de las pérdidas de carga longitudinales (h_f) en la tubería para el método de Darcy – Weisbach con la ecuación 31,

$$h_f = f \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ec. 31})$$

$$h_f = 0,01681 * \frac{20 \text{ m}}{(153,6/1000) \text{ m}} * \frac{(1,08 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_f = 0,130 \text{ m. c. a.}$$

Columna 9. Cálculo de las pérdidas de carga locales (h_s) en la tubería con la ecuación 41, tomando los valores del coeficiente de pérdida local (K_s) según la figura 13 y de catálogos de accesorios de tuberías.

$$h_s = K_s \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ec. 41})$$

$$h_s = 1 * \frac{(1,08 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_s = 0,059 \text{ m. c. a.}$$

Columna 10. Cálculo de la sumatoria de las pérdidas de carga ($\sum h_f$) en la tubería con la ecuación 68, teniendo en cuenta que será una suma acumulada para cada tramo, teniendo en cuenta $\sum h_{f_{acum-1}} = 0,369 \text{ m. c. a.}$ en el anterior tramo,

$$\sum h_{f_{acum}} = h_f + \sum h_{f_{acum-1}} \quad (\text{Ec. 69})$$

$$\sum h_{f_{acum}} = 0,130 \text{ m. c. a.} + 0,369 \text{ m. c. a.}$$

$$\sum h_{f_{acum}} = 0,499 \text{ m. c. a.}$$

Columna 11. Cálculo de la pendiente o gradiente hidráulica (J) con la ecuación 39,

$$J = \left(\frac{Q_d}{0,28 * C * D_i^{2,63}} \right)^{1/0,54} \quad (\text{Ec. 39})$$

$$J = \left(\frac{0,02 \text{ m}^3/\text{s}}{0,28 * 150 * (153,6/1000)^{2,63}} \right)^{1/0,54}$$

$$J = 0,006461 \text{ m/m}$$

Columna 12. Cálculo de la pérdida de carga por fricción (h_f) en la tubería por el método de Hazen – Williams con la ecuación 40,

$$h_f = J * L \quad (\text{Ec. 40})$$

$$h_f = 0,006461 \text{ m/m} * 20 \text{ m}$$

$$h_f = 0,1292 \text{ m. c. a.}$$

Se verifica que la variación entre los valores de la pérdida de carga por fricción (h_f) obtenidos en la columna 10 y columna 12 sea mínima, de lo contrario se deberá rectificar el procedimiento.

Columna 13. Cálculo de la presión estática en la cota inicial del tramo (P_{ei}) con la ecuación 69, teniendo en cuenta que la cota inicial del terreno (CIT) es 3510,31 m.s.n.m. y la cota inicial del tramo (CITR) es 3504,24 m.s.n.m.

$$P_{ei} = CIT - CITR \quad (\text{Ec. 70})$$

$$P_{ei} = 3510,31 \text{ m. s. n. m.} - 3504,24 \text{ m. s. n. m.}$$

$$P_{ei} = 6,07 \text{ m. s. n. m.} = 0,06 \text{ Mpa}$$

Columna 14. Cálculo de la presión estática en la cota final del tramo (P_{ef}) con la ecuación 70, teniendo en cuenta que la cota inicial del terreno (CIT) es 3510,31 m.s.n.m. y la cota final del tramo (CFTR) es 3501,29 m.s.n.m.

$$P_{ef} = CIT - CFTR \quad (\text{Ec. 71})$$

$$P_{ef} = 3510,31 \text{ m. s. n. m.} - 3501,29 \text{ m. s. n. m.}$$

$$P_{ef} = 9,02 \text{ m. s. n. m.} = 0,08 \text{ Mpa}$$

Columna 15. Cálculo de la presión dinámica en la cota inicial del tramo (P_{Di}) con la ecuación 71, teniendo en cuenta que la presión estática inicial (P_{ei}) es 6,07 m.c.a., la sumatoria de pérdidas de carga ($\sum h_{f_{acum}}$) es 0,130 m.c.a. y las pérdidas de carga locales (h_s) es 0,069 m.c.a.

$$P_{Di} = P_{ei} - \sum h_{f_{acum}} - h_s \quad (\text{Ec. 72})$$

$$P_{Di} = 6,07 \text{ m. c. a.} - 0,130 \text{ m. c. a.} - 0,069 \text{ m. c. a.}$$

$$P_{Di} = 5,87 \text{ m. c. a.} = 0,058 \text{ Mpa}$$

Columna 16. Cálculo de la presión dinámica en la cota final del tramo (P_{Df}) con la ecuación 72, teniendo en cuenta que la presión estática final (P_{ef}) es 9,02 m.c.a. la sumatoria de pérdidas de carga ($\sum h_{f_{acum}}$) es 0,130 m.c.a. y las pérdidas de carga locales (h_s) es 0,069 m.c.a.

$$P_{Df} = P_{ef} - \sum h_{f_{acum}} - h_s \quad (\text{Ec. 73})$$

$$P_{Df} = 9,02 \text{ m. c. a.} - 0,130 \text{ m. c. a.} - 0,069 \text{ m. c. a.}$$

$$P_{Df} = 8,82 \text{ m. c. a.} = 0,088 \text{ Mpa}$$

Columna 17. Cálculo de la cota piezométrica (C_p) con la ecuación 73, teniendo en cuenta que la cota piezométrica anterior (CPA) para el tramo será la cota inicial del mismo, 3504,24 m.s.n.m.

$$C_p = CPA - h_f \quad (\text{Ec. 74})$$

$$C_p = 3504,24 \text{ m} - 0,130 \text{ m}$$

$$C_p = 3504,11 \text{ m. s. n. m.}$$

Columna 18. Cálculo de la cota de proyecto (C_{pro}) con la ecuación 74, teniendo en cuenta que la cota de terreno (C_{terr}) será la cota inicial del tramo, 3504,24 m.s.n.m. y el corte de excavación (C) será 1,5 m.

$$C_{pro} = C_{terr} - C \quad (\text{Ec. 75})$$

$$C_{pro} = 3504,24 \text{ m. s. n. m.} - 1,5 \text{ m}$$

$$C_{pro} = 3502,74 \text{ m. s. n. m.}$$

Columna 19. Cálculo de la presión dinámica (P_D) con la ecuación 75, teniendo en cuenta que la cota piezométrica (C_p) es 3504,11 y la cota de proyecto C_{pro} es 3502,74 m.s.n.m.

$$P_D = C_p - C_{pro} \quad (\text{Ec. 76})$$

$$P_D = 3504,11 \text{ m. s. n. m.} - 3502,74 \text{ m. s. n. m.}$$

$$P_D = 1,37 \text{ m. c. a.} = 0,013 \text{ Mpa}$$

6.2.2. Ejemplo de cálculo de la línea de conducción secundaria

El proceso para diseñar las líneas de conducción secundarias o ramales secundarios es el mismo que se siguió para el cálculo de la línea de conducción principal (Ver anexo 6), variando únicamente el caudal de diseño y las cotas de terreno en cada ramal.

En el siguiente ejemplo de cálculo, se tomará al ramal secundario S5 (RS-S5) cuyo caudal de diseño (Q_d) será de 6,35 l/s que sale de la línea de conducción principal a una cota de 3465,62 m.s.n.m.

Columna 1. Cálculo del diámetro de tubería ($\phi_{tentativo}$) con la ecuación 27,

$$\phi_{tentativo} = 1.35 * \sqrt{Q_d} * 25.4 \quad (\text{Ec. 27})$$

$$\phi_{tentativo} = 1.35 * \sqrt{6,35 \text{ l/s}} * 25.4$$

$$\phi_{tentativo} = 86,41 \text{ mm}$$

Se elige al diámetro comercial más cercano al calculado,

$$\phi_{nominal} = 90 \text{ mm}$$

$$\phi_{interno} = 86,40 \text{ mm}$$

Columna 2. Cálculo de la sección de flujo de la tubería (A) con la ecuación 62,

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (\text{Ec. 62})$$

$$A = \frac{\pi * (86,4/1000 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 0,0059 \text{ m}^2$$

Columna 3. Selección del coeficiente de rozamiento de Hanzen-Williams “C” para tubería de PVC.

$$C = 150$$

$$presión = 0,50 MPa$$

Columna 4. Cálculo de la velocidad de flujo (V) con la ecuación 22,

$$V = \frac{Q_d}{A} \quad (\text{Ec. 22})$$

$$V = \frac{0,00635 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0059 \text{ m}^2}$$

$$V = 1,08 \text{ m/s}$$

Columna 5. Cálculo de la rugosidad relativa de la tubería (Δ_r) con la ecuación 67, teniendo en cuenta que la rugosidad absoluta de la tubería de PVC es $\varepsilon = 0,00000156 \text{ m}$.

$$\Delta_r = \frac{\varepsilon}{D} \quad (\text{Ec. 67})$$

$$\Delta_r = \frac{0,00000156 \text{ m}}{(86,41/1000) \text{ m}}$$

$$\Delta_r = 0,0000181$$

Columna 6. Cálculo del número de Reynolds (Re) con la ecuación 30, teniendo en cuenta que la viscosidad cinemática del agua a 13 °C es $\nu = 0,000001207 \text{ m}^2/\text{s}$.

$$Re = \frac{DV}{\nu} \quad (\text{Ec. 30})$$

$$Re = \frac{(86,40/1000) \text{ m} * 1,08 \text{ m/s}}{0,000001207 \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 77 528,76$$

Columna 7. Cálculo del factor de fricción (f) utilizando la fórmula de Colebrook, ecuación 37,

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,70 D} + \frac{5,74}{Re^{0,90}} \right) \right]^2} \quad (\text{Ec. 37})$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\frac{0,00000156 \text{ m}}{(86,4/1000) \text{ m}}}{3,70} + \frac{5,74}{(77528,76^{0,90})} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,01895$$

Columna 8. Cálculo de las pérdidas de carga longitudinales (h_f) en la tubería por el método de Darcy – Weisbach con la ecuación 31,

$$h_f = f \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ec. 31})$$

$$h_f = 0,01895 * \frac{20 \text{ m}}{(86,4/1000) \text{ m}} * \frac{(1,08 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_f = 0,262 \text{ m. c. a.}$$

Columna 9. Cálculo de las pérdidas de carga locales (h_s) en la tubería con la ecuación 41, tomando los valores del coeficiente de pérdida local (K_s) según la figura 13 y de catálogos de accesorios de tuberías,

$$h_s = K_s \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ec. 41})$$

$$h_s = 1 * \frac{(1,08 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_s = 0,059 \text{ m. c. a.}$$

Columna 10. Cálculo de la sumatoria de las pérdidas de carga ($\sum h_{f_{acum}}$) en la tubería con la ecuación 68, teniendo en cuenta que será una suma acumulada para cada tramo,

$$\sum h_{f_{acum}} = h_f + \sum h_{f_{acum-1}} \quad (\text{Ec. 68})$$

$$\sum h_{f_{acum}} = 0,262 \text{ m. c. a.} + 0 \text{ m. c. a.}$$

$$\sum h_{f_{acum}} = 0,262 \text{ m. c. a.}$$

Columna 11. Cálculo de la pendiente o gradiente hidráulica (J) con la ecuación 39,

$$J = \left(\frac{Q_d}{0,28 * C * D_i^{2,63}} \right)^{1/0,54} \quad (\text{Ec. 39})$$

$$J = \left(\frac{0,00635 \text{ m}^3/\text{s}}{0,28 * 150 * (86,4/1000)^{2,63}} \right)^{1/0,54}$$

$$J = 0,012724 \text{ m/m}$$

Columna 12. Cálculo de la pérdida de carga por fricción (h_f) en la tubería por el método de Hazen – Williams con la ecuación 40,

$$h_f = J * L \quad (\text{Ec. 40})$$

$$h_f = 0,012724 \text{ m/m} * 20 \text{ m}$$

$$h_f = 0,254 \text{ m. c. a.}$$

Se verifica que la variación entre los valores de la pérdida de carga por fricción (h_f) obtenidos en la columna 10 y columna 12 sea mínima, de lo contrario se deberá rectificar el procedimiento.

Columna 13. Cálculo de la presión estática en la cota inicial del tramo (P_{ei}) con la ecuación 69, teniendo en cuenta que la cota inicial del terreno (CIT) es 3467,55 m.s.n.m. y la cota inicial del tramo (CITR) es 3465,62 m.s.n.m.

$$P_{ei} = CIT - CITR \quad (\text{Ec. 69})$$

$$P_{ei} = 3467,55 \text{ m. s. n. m.} - 3465,62 \text{ m. s. n. m.}$$

$$P_{ei} = 1,93 \text{ m. s. n. m.} = 0,01 \text{ Mpa}$$

Columna 14. Cálculo de la presión estática en la cota final del tramo (P_{ef}) con la ecuación 70, teniendo en cuenta que la cota inicial del terreno (CIT) es 3467,55 m.s.n.m. y la cota final del tramo (CFTR) es 3463,59 m.s.n.m.

$$P_{ef} = CIT - CFTR \quad (\text{Ec. 70})$$

$$P_{ef} = 3467,55 \text{ m. s. n. m.} - 3463,59 \text{ m. s. n. m.}$$

$$P_{ef} = 3,96 \text{ m. s. n. m.} = 0,04 \text{ Mpa}$$

Columna 15. Cálculo de la presión dinámica en la cota inicial del tramo (P_{Di}) con la ecuación 71, teniendo en cuenta que la presión estática inicial (P_{ei}) es 1,93 m.c.a., la sumatoria de pérdidas de carga ($\sum h_{f_{acum}}$) es 0,262 m.c.a. y las pérdidas de carga locales (h_s) es 0,059 m.c.a.

$$P_{Di} = P_{ei} - \sum h_{f_{acum}} - h_s \quad (\text{Ec. 71})$$

$$P_{Di} = 1,93 \text{ m. c. a.} - 0,262 \text{ m. c. a.} - 0,059 \text{ m. c. a.}$$

$$P_{Di} = 1,61 \text{ m. c. a.} = 0,016 \text{ Mpa}$$

Columna 16. Cálculo de la presión dinámica en la cota final del tramo (P_{Df}) con la ecuación 72, teniendo en cuenta que la presión estática final (P_{ef}) es 3,96 m.c.a. la

sumatoria de pérdidas de carga ($\sum h_{f_{acum}}$) es 0,262 m.c.a. y las pérdidas de carga locales (h_s) es 0,059 m.c.a.

$$P_{Df} = P_{ef} - \sum h_{f_{acum}} - h_s \quad (\text{Ec. 72})$$

$$P_{Df} = 3,96 \text{ m. c. a.} - 0,262 \text{ m. c. a.} - 0,059 \text{ m. c. a.}$$

$$P_{Df} = 3,64 \text{ m. c. a.} = 0,036 \text{ Mpa}$$

Columna 17. Cálculo de la cota piezométrica (C_p) con la ecuación 73, teniendo en cuenta que la cota piezométrica anterior (CPA) para el tramo será la cota inicial del mismo, 3465,62 m.s.n.m.

$$C_p = CPA - h_f \quad (\text{Ec. 73})$$

$$C_p = 3465,62 \text{ m} - 0,262 \text{ m}$$

$$C_p = 3465,36 \text{ m. s. n. m.}$$

Columna 18. Cálculo de la cota de proyecto (C_{pro}) con la ecuación 74, teniendo en cuenta que la cota de terreno (C_{terr}) será la cota inicial del tramo, 3465,62 m.s.n.m. y el corte de excavación (C) será 1,5 m.

$$C_{pro} = C_{terr} - C \quad (\text{Ec. 74})$$

$$C_{pro} = 3465,62 \text{ m. s. n. m.} - 1,5 \text{ m}$$

$$C_{pro} = 3464,12 \text{ m. s. n. m.}$$

Columna 19. Cálculo de la presión dinámica (P_D) con la ecuación 75, teniendo en cuenta que la cota piezométrica (C_p) es 3465,36 y la cota de proyecto C_{pro} es 3464,12 m.s.n.m.

$$P_D = C_p - C_{pro} \quad (\text{Ec. 75})$$

$$P_D = 3465,36 \text{ m. s. n. m.} - 3464,12 \text{ m. s. n. m.}$$

$$P_D = 1,24 \text{ m. c. a.} = 0,012 \text{ Mpa}$$

6.3. *Diseño de estructuras complementarias*

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, es necesario implementar tanques rompe presión que controlen la variación de las presiones en ciertos tramos, y así evitar rupturas de tuberías por esfuerzos de sobre presión. Para su diseño se hará el cálculo típico de la altura de la cámara rompe presión.

Para calcular la velocidad de flujo se utilizará la ecuación 45, tomando como datos al caudal que fluye por la tubería, $Q = 1,40 \text{ l/s}$ y al diámetro interno de la tubería que saldrá del tanque con condiciones más críticas, $D = 60 \text{ mm}$.

$$v = 1,9735 * \frac{Q}{D^2} \quad (\text{Ec. 45})$$

$$v = 1,9735 * \frac{0,0014 \text{ m}^3/\text{s}}{(0,06 \text{ m})^2}$$

$$v = 0,83 \text{ m/s}$$

Para calcular la carga de agua se utilizará la ecuación 44,

$$H = 1,56 * \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ec. 44})$$

$$H = 1,56 * \frac{(0,83 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$H = 0,055 \text{ m}$$

Como la carga de velocidad es menor al mínimo recomendado (0,3 m), se asumirá dicho valor mínimo.

Para calcular la altura de la cámara rompe presión se empleará la ecuación 46, adoptando los valores mínimos recomendados de la altura de sedimentación ($A= 0,1 \text{ m}$) y del borde libre del tanque ($BL= 0,4 \text{ m}$),

$$H_{to} = A + H + D + BL \quad (\text{Ec. 46})$$

$$H_{to} = 0,10 \text{ m} + 0,30 \text{ m} + 0,063 \text{ m} + 0,40 \text{ m}$$

$$H_{to} = 0,863 \text{ m}$$

Llevando a la altura total del tanque rompe presión a medidas constructivas, la altura tipo de diseño será $H_{to} = 0,90 \text{ m}$.

Como se dijo anteriormente, el diseño de la conducción principal y secundaria también fue hecho en el software WaterCAD Vi8, en donde se realizaron varias simulaciones, utilizando la nomenclatura especificada en la tabla 52, obteniendo los resultados, en cuanto a presión y velocidad, que se muestran en la tabla 53 y 54.

Tabla 52

Simbología utilizada para la simulación de la red en WaterCAD Vi8.

| Símbolo | Significado |
|----------------|--------------------------|
| RP | Red principal |
| RS | Red secundaria |
| LC | Línea de conducción |
| A | Acometida |
| VRP | Válvula rompe presión |
| VCF | Válvula control de flujo |
| VA | Válvula de aire |
| VD | Válvula desagüe |
| TRP | Tanque rompe presión |
| RES | Reservorio |
| DES | Desarenador |
| NODOS | Unión de dos o más tubos |

Nota: Descripción de la simbología utilizada en las simulaciones del sistema de riego en el software de diseño WaterCAD. Elaborado por: Los autores

Tabla 53

Resultados de la conducción principal obtenidas en WaterCAD.

| Elemento | Presión m.c.a. | Velocidad m/s | Ubicación |
|-----------------|---------------------------|--------------------------|------------------|
| RES | 0,00 | | RP |
| VCF | 0,00 | | RP |
| VA | 1,60 | | RP |
| Nodo - 44 | 11,67 | | RP |
| Nodo - 45 | 11,14 | | A |
| Nodo - 46 | 17,91 | 3,01 | RP |
| Nodo - 47 | 17,14 | | A |
| Nodo - 8 | 20,91 | | RP |
| VCF | 20,76 | | RP |
| VA | 20,35 | | RP |
| Nodo - 48 | 20,44 | | RP |
| Nodo - 49 | 22,95 | | A |
| Nodo - 51 | 23,24 | | A |
| Nodo - 52 | 21,16 | | RP |
| Nodo - 53 | 21,91 | | A |
| Nodo - 55 | 22,27 | | A |

| Elemento | Presión m.c.a. | Velocidad m/s | Ubicación |
|-----------------|---------------------------|--------------------------|------------------|
| Nodo - 57 | 21,29 | | RP |
| Nodo - 58 | 21,84 | | RP |
| Nodo - 59 | 27,66 | | A |
| VA | 22,02 | | RP |
| Nodo - 60 | 19,55 | | RP |
| Nodo - 61 | 26,68 | | A |
| Nodo - 62 | 14,72 | | RP |
| Nodo - 63 | 15,82 | | A |
| Nodo - 9 | 14,10 | | RP |
| VA | 13,73 | 2,98 | RP |
| Nodo - 80 | 13,12 | | RP |
| Nodo - 81 | 12,21 | | A |
| VRP | 0,00 | | RP |
| VA | 0,57 | | RP |
| Nodo - 82 | 5,52 | | RP |
| Nodo - 83 | 6,68 | 2,61 | A |
| RES | 0,00 | | RP |
| Nodo - 94 | 12,48 | | A |
| Nodo - 95 | 12,45 | 2,22 | RP |
| Nodo - 96 | 15,96 | | A |
| Nodo - 97 | 13,65 | | RP |
| Nodo - 98 | 18,02 | | A |
| Nodo - 99 | 15,10 | | A |
| Nodo - 100 | 18,39 | | RP |
| Nodo - 101 | 17,49 | | RP |
| Nodo - 102 | 21,97 | | A |
| VA | 20,98 | | RP |
| Nodo - 103 | 21,06 | | RP |
| Nodo - 104 | 17,99 | | A |
| Nodo - 105 | 21,97 | | RP |
| Nodo - 106 | 20,73 | 1,88 | A |
| Nodo - 11 | 22,11 | | RP |
| Nodo - 107 | 21,86 | | A |
| Nodo - 112 | 27,38 | | RP |
| Nodo - 113 | 29,25 | | A |
| Nodo - 114 | 29,05 | | RP |
| Nodo - 115 | 29,38 | | A |
| Nodo - 12 | 30,05 | | RP |
| Nodo - 116 | 28,47 | | RP |
| Nodo - 117 | 27,65 | | A |

| Elemento | Presión m.c.a. | Velocidad m/s | Ubicación |
|-----------------|---------------------------|--------------------------|------------------|
| VA | 28,23 | | RP |
| Nodo - 118 | 28,76 | | RP |
| Nodo - 119 | 27,23 | | A |
| Nodo - 120 | 29,17 | | RP |
| Nodo - 121 | 27,89 | | A |
| Nodo - 122 | 29,74 | | RP |
| Nodo - 123 | 27,55 | | A |
| Nodo - 124 | 28,63 | | RP |
| Nodo - 125 | 27,06 | | A |
| Nodo - 126 | 27,29 | | RP |
| Nodo - 127 | 24,74 | | A |
| Nodo - 128 | 27,14 | | RP |
| Nodo - 129 | 24,53 | | A |
| Nodo - 130 | 26,66 | 2,78 | RP |
| Nodo - 131 | 27,21 | | A |
| Nodo - 132 | 26,72 | | RP |
| Nodo - 133 | 24,01 | | A |
| VA | 26,67 | | RP |
| Nodo - 134 | 27,65 | | RP |
| Nodo - 135 | 24,98 | 2,71 | A |
| Nodo - 13 | 28,96 | | RP |
| VCF | 28,76 | | RP |
| Nodo - 136 | 29,19 | | RP |
| Nodo - 137 | 31,37 | | A |
| Nodo - 138 | 29,86 | | RP |
| Nodo - 139 | 30,41 | | A |
| Nodo - 140 | 31,01 | | RP |
| Nodo - 141 | 33,22 | | A |
| Nodo - 14 | 31,79 | | RP |
| Nodo - 151 | 35,49 | | RP |
| Nodo - 152 | 35,25 | | A |
| VRP | 0,00 | 1,72 | RP |
| Nodo - 153 | 7,68 | | RP |
| Nodo - 154 | 7,77 | | A |
| VA | 8,63 | | RP |
| Nodo - 155 | 15,89 | | RP |
| Nodo - 156 | 15,62 | | A |
| Nodo - 157 | 16,25 | | RP |
| Nodo - 158 | 15,00 | 0,92 | A |
| Nodo - 19 | 16,95 | | RP |

| Elemento | Presión m.c.a. | Velocidad m/s | Ubicación |
|-----------------|---------------------------|--------------------------|------------------|
| VA | 32,36 | | RP |
| Nodo - 169 | 23,57 | | RP |
| Nodo - 170 | 19,28 | | A |
| Nodo - 171 | 22,88 | | RP |
| Nodo - 172 | 18,95 | | A |
| Nodo - 173 | 18,90 | | RP |
| Nodo - 174 | 19,72 | | A |
| VA | 15,16 | | RP |
| Nodo - 175 | 15,08 | | RP |
| Nodo - 176 | 17,98 | | A |
| Nodo - 177 | 15,02 | 0,92 | RP |
| Nodo - 178 | 13,62 | | A |
| Nodo - 179 | 14,97 | | RP |
| Nodo - 180 | 13,40 | | A |
| Nodo - 181 | 14,93 | | RP |
| Nodo - 182 | 13,37 | 0,62 | A |
| Nodo - 183 | 14,80 | | RP |
| Nodo - 184 | 12,90 | | A |
| Nodo - 185 | 14,67 | | RP |
| Nodo - 186 | 13,93 | | A |
| VA | 14,44 | | RP |
| Nodo - 187 | 16,41 | | RP |
| Nodo - 188 | 16,96 | | A |
| Nodo - 189 | 17,90 | | RP |
| Nodo - 190 | 20,07 | | A |
| Nodo - 191 | 20,04 | | RP |
| Nodo - 192 | 24,82 | | A |
| Nodo - 193 | 20,29 | 0,49 | RP |
| Nodo - 194 | 22,66 | | A |
| Nodo - 195 | 22,22 | | RP |
| Nodo - 196 | 20,47 | | A |
| Nodo - 197 | 23,57 | | RP |
| Nodo - 198 | 21,20 | | A |
| Nodo - 21/ VD | 24,82 | | RP |

Nota: Resultados de la conducción principal, obtenidos de la modelación del sistema de riego en el software de diseño WaterCAD. Elaborado por: Los autores

Tabla 54*Resultados de la conducción secundaria obtenida en WaterCAD.*

| Elemento | Presión m.c.a. | Velocidad m/s | Ubicación |
|-----------------|---------------------------|--------------------------|------------------|
| Ramal S1 | | | |
| Nodo - 19 | 16,95 | | RP/ RS S1 |
| Nodo - 159 | 18,41 | | RS S1 |
| Nodo -160 | 24,64 | | A |
| Nodo - 161 | 19,35 | | RS S1 |
| Nodo - 162 | 22,60 | | A |
| Nodo - 163 | 19,79 | | RS S1 |
| Nodo - 164 | 25,14 | 0,80 | A |
| Nodo - 165 | 25,58 | | RS S1 |
| Nodo - 166 | 26,59 | | A |
| Nodo - 167 | 26,10 | | RS S1 |
| Nodo - 168 | 30,64 | | A |
| Nodo - 20 / VD | 28,85 | | RS S1 |
| Ramal S2 | | | |
| Nodo -1 | 10,61 | | LC/ RS S2 |
| VCF | 10,98 | | RS S2 |
| Nodo - 28 | 12,30 | | A |
| Nodo - 29 | 11,56 | 0,56 | RS S2 |
| Nodo - 2 | 24,90 | | RS S2 |
| Nodo - 27 | 26,07 | | A |
| Ramal S3 | | | |
| Nodo - 4 | 10,08 | | LC/ RS S3 |
| Nodo - 30 | 30,09 | | A |
| Nodo - 5 | 28,46 | | RS S3 |
| Nodo - 31 | 29,07 | | A |
| Nodo - 32 | 20,00 | 1,43 | A |
| Nodo - 33 | 22,25 | | RS S3 |
| Nodo - 34 | 20,45 | | A |
| Nodo - 35 | 19,90 | | RS S3 |
| Ramal S4 | | | |
| Nodo - 4 | 10,08 | 1,64 | LC/ RS S4 |
| Nodo - 36 | 9,82 | | A |
| Nodo - 37 | 22,50 | | RS S4 |
| Nodo - 38 | 14,22 | | A |
| Nodo - 39 | 23,43 | | RS S4 |
| Nodo - 40 | 14,28 | | A |

| Elemento | Presión m.c.a. | Velocidad m/s | Ubicación |
|-----------------|---------------------------|--------------------------|------------------|
| Nodo - 41 | 20,17 | | RS S4 |
| Nodo - 42 | 15,75 | 1,64 | A |
| Nodo - 43 | 20,29 | | RS S4 |
| Nodo - 6 | 24,88 | | RS S4 |
| | | Ramal S5 | |
| Nodo - 8 | 20,91 | | RP/ RS S5 |
| VCF | 20,84 | | RS S5 |
| Nodo - 67 | 20,78 | | RS S5 |
| Nodo - 68 | 19,74 | | A |
| VA | 21,12 | | RS S5 |
| Nodo - 69 | 21,41 | | RS S5 |
| Nodo - 70 | 21,63 | | A |
| Nodo - 71 | 16,67 | 1,82 | RS S5 |
| Nodo - 72 | 20,00 | | A |
| Nodo - 73 | 27,15 | | RS S5 |
| Nodo - 74 | 26,07 | | A |
| Nodo - 75 | 25,57 | | RS S5 |
| Nodo - 76 | 25,79 | | A |
| Nodo - 77 | 25,99 | | RS S5 |
| Nodo - 78 | 32,64 | | A |
| Nodo - 26 | 29,96 | | RS S5 |
| Nodo - 79 | 31,08 | | A |
| | | Ramal S6 | |
| Nodo - 10 | 9,1 | | RP/ RS S6 |
| Nodo - 84 | 21,16 | | RS S6 |
| Nodo - 85 | 19,19 | 0,92 | A |
| VRP | 3,50 | | RS S6 |
| Nodo - 86 | 17,34 | | RS S6 |
| Nodo - 87 | 10,18 | | A |
| Nodo - 88 | 19,19 | | RS S6 |
| Nodo - 89 | 17,84 | | A |
| Nodo - 90 | 16,02 | | RS S6 |
| Nodo - 91 | 15,63 | | A |
| Nodo - 24 | 26,62 | | RS S6 |
| | | Ramal S7 | |
| Nodo - 12 | 30,05 | | RP/ RS S7 |
| Nodo - 22 | 31,78 | 1,63 | RS S7 |
| | | Ramal S8 | |
| Nodo - 14 | 31,79 | | RP/ RS S8 |
| VCF | 31,47 | 2,32 | RS S8 |

| Elemento | Presión m.c.a. | Velocidad m/s | Ubicación |
|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------|
| Nodo - 142 | 31,74 | | RS S8 |
| Nodo - 143 | 31,89 | | A |
| VRP | 8,00 | | RS S8 |
| Nodo - 15 | 10,95 | | RS S8 |
| Nodo - 144 | 13,25 | | RS S8 |
| Nodo - 145 | 10,72 | 2,32 | A |
| Nodo - 199 | 15,21 | | RS S8 |
| VCF | 15,50 | | RS S8 |
| Nodo - 200 | 15,85 | | RS S8 / VD |
| Nodo - 16 | 28,05 | | RS S8 |
| Nodo - 146 | 27,61 | | A |
| Ramal S9 | | | |
| Nodo - 15 | 10,95 | | RS S8 / RS S9 |
| Nodo - 147 | 11,52 | | RS S9 |
| Nodo - 148 | 12,72 | | A |
| Nodo - 17 | 15,38 | | RS S9 |
| Nodo - 149 | 15,28 | 0,94 | A |
| VCF | 15,93 | | RS S9 |
| TRP | 0,00 | | RS S9 |
| Nodo - 18 | 28,44 | | RS S9 |
| Nodo - 150 | 30,80 | | A |
| Tomas 1 | | | |
| Nodo - 9 | 10,95 | | RP/ RS TOMAS 1 |
| Nodo - 64 | 26,36 | | RS TOMAS 1 |
| Nodo - 65 | 22,18 | | A |
| Nodo - 25 | 30,76 | | RS TOMAS 1 |
| Tomas 2 | | | |
| Nodo - 66 | 27,02 | | A |
| Nodo - 11 | 22,11 | | RP/ RS TOMAS 2 |
| Nodo - 110 | 23,51 | | RS TOMAS 2 |
| Nodo - 111 | 26,13 | | A |
| Tomas 2 | | | |
| Nodo - 23 | 24,80 | 0,84 | RS TOMAS 2 |
| Nodo - 108 | 24,69 | | A |
| Nodo - 109 | 27,21 | | A |
| Ramal de la línea de conducción | | | |
| DES | 0,00 | 1,93 | RS LC |
| Nodo - 1 | 10,61 | | RS LC / RS S2 |
| Nodo - 3 | 10,32 | | RS LC |
| VCF | 10,29 | | RS LC |

| Elemento | Presión m.c.a. | Velocidad m/s | Ubicación |
|-----------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Nodo - 7 | 11,15 | 1,93 | RS LC |
| VCF | 10,22 | | RS LC |
| Nodo - 4 | 10,08 | | RS LC / RS S3 Y RS S4 |

Nota: Resultados de la conducción secundaria, obtenidos de la modelación del sistema de riego en el software de diseño WaterCAD. Elaborado por: Los autores

En conclusión, como se puede ver en las tablas 53 y 54, el diseño garantizará las condiciones para que la presión y velocidad estén en el rango estipulado en el capítulo anterior, y no se presenten problemas de rotura o sedimentación en las tuberías.

También, garantizará que la presión mínima en todo el sistema sea de 10 m.c.a., excepto en los tramos ubicados inmediatamente después de las válvulas rompe presiones, siendo esta, la presión mínima de funcionamiento de cualquier tipo de aspersor ubicado a una altura de 75 cm.

Asimismo, utilizando los datos de la tabla 53 y 54, además del abcisado y las cotas de proyecto y terreno, se procede a calcular y trazar la línea piezométrica de la conducción principal y secundaria (Ver anexo 7), para finalmente elaborar las láminas de los planos de todo el sistema de riego (Ver anexo 10), necesarios para su construcción.

CAPÍTULO VII

EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

7.1. Caracterización del ecosistema

Para poder realizar la caracterización de un ecosistema se debe primero definir su concepto, así, ecosistema es el conjunto de seres vivos que interactúan entre ellos y con su entorno en un área determinada. El ecosistema en la comuna San Vicente Alto está constituido por grandes prados de vertientes y relieves superiores de las cuencas interandinas sobre volcanismo de la sierra norte con pendientes medias del 12 a 25%, con una altitud entre 3200 a 3500 msnm, un suelo predominantemente de textura de formaciones de cangahua, un clima con intensidades de lluvia de 600 a 700 mm al año y una temperatura media de 10 a 11 °C. Cabe recalcar que es un ecosistema intervenido, es decir, la mayoría de condicionantes naturales y nutrientes están controlados por la intervención del trabajo humano, como el riego artificial, el tipo de suelo, los organismos vivos; por ejemplo, la adecuación de terrenos para cultivos y pastoreo de ganado (GADP-Cangahua, 2014).

Para el presente estudio se considerará como la estructura que conforma al ecosistema a la manifestación visible de flora y fauna, es decir, a los seres vivos y al entorno en que conviven (Ver figura 66).

Figura 66

Panorámica de la comuna San Vicente Alto.



Nota: Elaborado por: Los autores

7.1.1. Flora

La flora de la zona es típica de la región andina y de un área muy intervenida en la que se asienta una población rural. La flora nativa corresponde únicamente a especies de hábito arbustivo y herbáceo, mientras que los árboles que existen en la zona son cultivados y no de naturaleza nativa.

7.1.2. Fauna

La fauna silvestre en la zona de estudio debido al alto grado de intervención humana y a la carencia de áreas significativas de bosque es muy baja, y las especies que se han registrado, en especial de aves, son muy comunes en la región andina ya que se han podido adaptar a zonas con altos signos de intervención humana.

7.2. Línea base y valoración ambiental del proyecto

Considerando a la evaluación ambiental como la representación de las condiciones del medio biótico de la zona de estudio, se realiza una investigación in situ a fin de determinar las posibles afectaciones al ambiente como resultado de la implementación y operación del presente proyecto.

Debido al alto grado de intervención humana en la zona de estudio, para realizar la evaluación de la composición de la flora presente en el área de interés, se realizaron recorridos a pie, donde se registraron a las especies vegetales que se encuentran en estado fértil, es decir que tengan frutos y flores.

A continuación, en la tabla 55, se presenta el listado de especies de plantas que existen en el área de estudio.

Tabla 55*Registro de la flora de la comuna San Vicente Alto.*

| Familia | Hábito | Nombre científico | Nombre común | Uso |
|----------------|---------------|---------------------------------|---------------------|-------------|
| Amaryllidaceae | Hierba | <i>Allium fistulosum</i> | Cebolla larga | Alimenticio |
| Asteraceae | Arbusto | <i>Bacharis latifolia</i> | Chilca | Medicinal |
| Asteraceae | Arbusto | <i>Gynoxys buxifolia</i> | Piquil | Combustible |
| Asteraceae | Hierba | <i>Taraxacum officinale</i> | Diente de león | Medicinal |
| Cupressaceae | Árbol | <i>Cupressus macrocarpa</i> | Ciprés | Ornamental |
| Fabaceae | Hierba | <i>Trifolium repens</i> | Trébol | Forraje |
| Fabaceae | Hierba | <i>Vacia faba</i> | Habas | Alimenticio |
| Fabaceae | Hierba | <i>Lupinus mutabilis sweet</i> | Chocho | Alimenticio |
| Geraniaceae | Hierba | <i>Pelargonium grandiflorum</i> | Geranio | Ornamental |
| Myrtaceae | Árbol | <i>Eucalyptus globulus</i> | Eucalipto | Ornamental |
| Oxalidaceae | Hierba | <i>Oxalis tuberosa</i> | Ocas | Alimenticio |
| Pinaceae | Árbol | <i>Pinus radiata</i> | Pino | Ornamental |
| Plantaginaceae | Hierba | <i>Plantago major</i> | Llantén | Medicinal |
| Poaceae | Hierba | <i>Pappophorum pappiferum</i> | Pajilla | Forraje |
| Poaceae | Hierba | <i>Pennisetum clandestinum</i> | Kikuyo | Forraje |
| Poaceae | Hierba | <i>Zea mays</i> | Maíz | Alimenticio |
| Poaceae | Hierba | <i>Triticum spp</i> | Trigo | Alimenticio |
| Solanaceae | Hierba | <i>Solanum tuberosum</i> | Papa | Alimenticio |

Nota: Registro visual de la flora presente en la comuna San Vicente Alto.

Elaborado por: Los autores

La flora registrada en el área de estudio en su mayoría es pionera, y no se registraron especies vegetales nativas, lo que es un indicador de zonas con altos signos de intervención humana. La mayor parte de las especies registradas son utilizadas como medicina, alimento y forraje.

Con la finalidad de observar evidencias de la existencia de fauna silvestre, se efectuaron recorridos de observación directa por el área de estudio, así como también se recurrió a los testimonios locales de los moradores del sector. De esta forma se levantó información sobre fauna silvestre en sus cuatro grandes clasificaciones: Mastofauna

(mamíferos), Ornitofauna (aves), Herpetofauna (anfibios y reptiles) y Entomofauna (insectos); cuyo listado se muestra a continuación en la tabla 56.

Tabla 56

Registro de fauna silvestre de la comuna San Vicente Alto.

| Familia | Especie | Nombre común | Gremio trófico |
|---|------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Mastofauna (Mamíferos) | | | |
| Didelphidae | <i>Didelphis pernigra</i> | Raposa | Carnívoro |
| Ornitofauna (Aves) | | | |
| Apodidae | <i>Streptoprocne zonaris</i> | Golondrina | Insectívoro |
| Cathartidae | <i>Coragyps atratus</i> | Gallinazo negro | Carroñero |
| Cathartidae | <i>Cathartes aura</i> | Gallinazo cabecirrojo | Carroñero |
| Columbidae | <i>Zenaida auriculata</i> | Tórtola | Frugívoro |
| Emberizidae | <i>Zonotrichia capensis</i> | Gorrión común | Frugívoro |
| Trochilidae | <i>Colibri coruscans</i> | Quinde herrero | Nectarívoro |
| Herpetofauna (Anfibios y reptiles) | | | |
| Lacertidae | <i>Ameiva septemlineata</i> | Lagartija | |
| Entomofauna (Insectos) | | | |
| Orden | Clase | Nombre común | |
| Acrididae | Orthoptera | Saltamontes | |
| Apidae | Hymenoptera | Abeja | |
| Orden | Clase | Nombre común | |
| Araneae | Arachnida | Araña | |
| Formicidae | Hymenoptera | Hormiga | |
| Nymphalidae | Lepidoptera | Mariposa | |
| Varias | Diptera | Moscas, mosquitos, moscas | |

Nota: Registro visual de la fauna presente en la comuna San Vicente Alto.

Elaborado por: Los autores

El área de estudio presenta altos signos de intervención humana, por ende, no se pudo registrar especies representativas de fauna silvestre típica de la zona, sino de especies que se caracterizan por ser colonizadoras y pioneras muy comunes en la región andina.

A demás el área de estudio no se encuentra dentro del Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE), parques nacionales, reservas biológicas, ecológicas,

geobotánicas, faunísticas, refugios de vida silvestre, bosques protectores ni patrimonio forestal.

Es así y de acuerdo a lo expuesto anteriormente, que el proyecto se implementará en una zona poblada de tipo rural y con altos signos de intervención humana, la flora y fauna existente en esta zona es escasa y poco representativa; motivo por el cual las actividades inherentes al proyecto no representan afectación al componente flora ni daño o amenaza a la fauna silvestre.

7.3. Descripción del proyecto

7.3.1. Etapas del proyecto

- **Estudios:** diseños definitivos para el mejoramiento y rehabilitación del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto, ubicada en la parroquia Cangahua, cantón Cayambe, provincia de Pichincha-Ecuador.
- **Construcción e instalación:** construcción de las estructuras e instalación de tuberías y accesorios necesarios para la operación del sistema de riego de la Comuna San Vicente Alto.
- **Operación y mantenimiento:** el Departamento de Gestión de Riego y Drenaje (DGRD) del GADP de Pichincha será el encargado de dar capacitaciones sobre la buena práctica de las actividades de operación y mantenimiento del sistema de riego que estarán bajo la responsabilidad de la Junta de Regantes de la comuna San Vicente Alto.

7.3.2. Fases del proyecto

- **Fase de construcción:** consiste en prevenir y mitigar los impactos ambientales que se pueden presentar en la construcción del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto.
- **Fase de operación y mantenimiento:** se refiere a las actividades y procedimientos que se deben hacer para que el sistema de riego de la comuna San Vicente Alto funcione en óptimas condiciones.
- **Fase de cierre y abandono:** es la etapa final del proyecto en donde se realizan actividades de limpieza y desalojo de escombros.

7.4. *Plan de manejo ambiental (PMA)*

“Un plan de manejo ambiental (PMA) es una serie de actividades, que producto de una evaluación ambiental, están orientadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos y efectos ambientales que se causen por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad” (Solís & Yacelga, 2018).

7.4.1. Estructura del plan de manejo ambiental (PMA)

7.4.1.1. Plan de prevención y mitigación.

Responsable: personal encargado de la construcción del sistema de riego.

Medidas de prevención y mitigación en impactos del aire

- Las actividades de movimiento de tierra en las excavaciones generan el esparcimiento de partículas de polvo en el aire, afectando directamente a las personas encargadas de estas actividades. Para evitar posibles enfermedades respiratorias se recomienda el uso de mascarillas o algún elemento que cubra la

boca y nariz, además de humedecer los sitios de excavación para minimizar la producción de polvo.

- Queda prohibida la quema a cielo abierto de desperdicios o remanentes de tubos, embaces plásticos, etc.

Medidas de prevención y mitigación en impactos del agua

- Queda prohibido desechar por las líneas de conducción o afluentes de agua algún residuo o remanente de material de construcción.

Medidas de prevención y mitigación en impactos del suelo

- Los desperdicios o remanentes generados en la fase de construcción del sistema de riego serán recolectados y transportados al botadero Municipal del cantón Cayambe.
- Debido a que las actividades de excavación pueden generar erosión en el suelo, se recomienda reponer rápidamente la flora que estaba presente antes de la excavación para no perder su capacidad productiva.

Medidas de prevención y mitigación en impactos del ruido

- Todas las actividades de la fase de construcción estarán a cargo de la mano de obra provista por la comunidad, por lo que se asume que serán hechas con herramientas de mano o se emplee maquinaria como una retro excavadora, que, en dicho caso no representa una gran fuente de contaminación auditiva.

7.4.1.2. Plan de manejo de residuos.

Responsable: personal encargado de la construcción del sistema de riego.

Estrategia

Adecuar un sitio de acopio, en lo posible que sea un lugar con techo y piso impermeabilizado, en donde se almacene los residuos y remanentes del material de construcción.

- En caso de que exista material pétreo sobrante, la comunidad deberá decidir qué hacer con él, ya sea enviarlo a una escombrera autorizada o emplearlo en alguna otra construcción, con el fin de que el área quede libre de escombros.
- Disponer de contenedores de residuos reciclables señalizados adecuadamente y de fácil acceso.

7.4.1.3. Plan de relaciones comunitarias.

Responsable: personal encargado de la construcción del sistema de riego.

Estrategia.

Por medio de socializaciones se le explicará a la comunidad el plan de trabajo del proyecto como:

- Descripción de los trabajos a realizar.
- Plazos para la ejecución del proyecto.
- Metodologías a utilizarse.
- Posibles impactos ambientales y las medidas de prevención y mitigación de los mismos.

7.4.1.4. Plan de salud ocupacional y seguridad laboral.

Responsable: personal encargado de la construcción del sistema de riego.

Para dar cumplimiento al reglamento de Seguridad y Salud para la Construcción y Obras Públicas, se implementarán medidas para la prevención de accidentes e incidentes en la fase de construcción del proyecto.

Estrategia.

- Los trabajadores deberán utilizar el equipo de seguridad adecuado (chalecos, cascos, guantes, botas, etc.) a fin de cumplir con lo establecido en el reglamento de seguridad y salud.
- Se instalará la señalética adecuada que prevenga a la comunidad de posibles accidentes.
- Los trabajadores no podrán ingresar en estado etílico ni tampoco consumir bebidas alcohólicas en el sitio de trabajo.
- Los trabajadores respetarán los horarios establecidos para la entrada, almuerzo y salida con el fin de evitar posibles accidentes y no afectar el rendimiento y avance de la obra.

7.4.1.5. Plan de capacitación.

Responsable: personal encargado de la construcción del sistema de riego.

Estrategia.

Todas las actividades de la fase de construcción del sistema de riego estarán a cargo de la mano de obra provista por la comunidad, razón por la cual se dictarán charlas de capacitación en las cuales se indiquen las buenas prácticas en los procesos constructivos

que se llevarán a cabo, con el fin de evitar accidentes y que el trabajo sea eficiente y ordenado.

7.4.1.6. Plan de rehabilitación.

Responsable: personal encargado de la construcción del sistema de riego.

Estrategia.

Debido a que las actividades de excavación pueden generar erosión en el suelo, la comunidad deberá reponer rápidamente la flora que estaba presente antes de los trabajos de excavación para que el suelo no pierda su capacidad productiva. También deberá reponer las cercas vivas afectadas, en lo posible con especies nativas, para contribuir con la reforestación.

7.4.1.7. Plan de cierre y abandono.

Responsable: personal encargado de la construcción del sistema de riego.

Estrategia.

- Una vez finalizados todos los trabajos de la fase de construcción, los remanentes y residuos de materiales serán retirados de la obra, con el fin de que el área de trabajo quede con forme a sus condiciones iniciales.
- Hasta que la obra sea entregada oficialmente con el acta de recepción definitiva, se proveerán todas las medidas de seguridad y vigilancia para mantener la obra en buen estado.

7.4.1.8. Plan de seguimiento y monitoreo.

Responsable: personal encargado de la construcción del sistema de riego.

Diseño de la medida.

Para realizar un control y seguimiento adecuado de las actividades de mitigación de los impactos ambientales durante la fase de construcción y operación del sistema de riego, será necesario cumplir con las actividades que se muestran en la tabla 57 y 58.

Tabla 57

Plan de seguimiento y monitoreo del PMA del sistema de riego.

| Actividad | Responsable | Frecuencia | Medio de verificación |
|---|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Adquisición de señalética reglamentaria. | Constructor del sistema de riego | Mensual | In situ Registro fotográfico |
| Adquisición de equipo de protección personal para los trabajadores. | Constructor del sistema de riego | Quincenal | In situ Registro fotográfico |
| Transporte adecuado de materiales. | Constructor del sistema de riego | Mensual | Registro fotográfico |
| Reposición de la flora. | Constructor del sistema de riego | Inicio y finalización de la obra | In situ Registro fotográfico |
| Eliminación adecuada de los desechos sólidos. | Constructor del sistema de riego | Mensual | In situ Registro fotográfico |

Nota: Plan de seguimiento y monitoreo del plan de manejo ambiental de la construcción del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto. Elaborado por:

Los autores

Tabla 58*Plan de monitoreo del PMA del sistema de riego.*

| Plan | Actividad | Indicador | Medio de verificación | Responsable |
|--|--|---|--|----------------------------------|
| Plan de Prevención y Mitigación. | Humedecimiento de los sitios de excavación | Ejecución de humedecimientos | In situ Registro fotográfico | Constructor del sistema de riego |
| Plan de salud ocupacional y Seguridad Laboral. | Dotación del Equipo de Protección Personal | Ejecución de la dotación de EPP a todos los obreros | In situ Registro fotográfico | Constructor del sistema de riego |
| | Implementación de un botiquín completo | Botiquín implementado | In situ Registro fotográfico | Constructor del sistema de riego |
| Plan de Capacitación. | Capacitación sobre el buen uso del sistema de riego | Número de capacitaciones planificadas | Registro Fotográfico y de asistencia | Constructor del sistema de riego |
| Plan de manejo de desechos. | Clasificación, registro y manejo de la cantidad de desechos que se generen en la fase de construcción. | Cantidad y manejo de desechos generados | Registro fotográfico y de la generación y manejo de desechos | Constructor del sistema de riego |
| Relaciones Comunitarias. | Charlas para informar a la comunidad para sobre los trabajos y plazos de ejecución de la obra | Numero de charlas planificadas | Registro Fotográfico y de asistencia | Constructor del sistema de riego |
| Rehabilitación de áreas afectadas. | Reforestación con especies nativas | Número de plantas sembradas | In situ y registro fotográfico | Constructor del sistema de riego |
| Plan de Seguimiento y Monitoreo. | Seguimiento y monitoreo del cumplimiento de todas las fases del PMA | Número de actividades cumplidas | Cumplimiento de cronogramas | Constructor del sistema de riego |
| Plan de Cierre o Abandono. | Limpieza del sitio de construcción de remanentes y escombros. | Cantidad de material retirado | Registro fotográfico | Constructor del sistema de riego |

Nota: Plan de monitoreo del plan de manejo ambiental de la construcción del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto. Elaborado por: Los autores

CAPÍTULO VIII
VIABILIDAD ECONÓMICA Y FINANCIERA

8.1. Presupuesto referencial

El presupuesto referencial del conjunto de rubros que se requieren para ejecutar la obra, de acuerdo al diseño hidráulico, será elaborado en base al costo de cada rubro, cuyo análisis de precio unitario está determinado por componentes como equipo, mano de obra, materiales, transporte, etc. (Ver anexo 8), cuyo resumen se muestra a continuación en la tabla 59.

Tabla 59

Presupuesto referencial del sistema de riego.

| Código | Descripción | Precio total |
|---------------|--|---------------------|
| 1 | Preliminares | |
| 1.1 | Obras preliminares | 30018,24 |
| 1.2 | Movimiento de tierras | 154601,64 |
| | Subtotal | 184619,88 |
| 2 | Instalaciones | |
| 2.1 | Tuberías PVC | 27384,44 |
| 2.2 | Válvulas de aire | 330,17 |
| 2.3 | Collarín plástico de PE, PP y PVC (Accesorios) | 86,54 |
| 2.4 | Válvulas de compuerta HF | 1069,32 |
| 2.5 | Válvulas de compuerta RW | 1036,96 |
| 2.6 | Válvulas hidráulicas reductoras de presión | 3623,59 |
| 2.7 | Tee y tee reductora | 87,42 |
| 2.8 | Codos PVC de 90° | 103,60 |
| 2.9 | Tapón PVC | 5,23 |
| 2.10 | Reductor buje PVC | 29,05 |
| 2.11 | Unión PVC | 9,95 |

| Código | Descripción | Precio total |
|-----------------------|---|---------------------|
| 2.12 | Collarín plástico de PE, PP y PVC (Accesorios) | 421,3 |
| 2.13 | Aditivos | 169,2 |
| | Subtotal | 34356,77 |
| 3 | Cajas válvulas de aire y válvulas de compuerta HF 1m x 1m x1,50m (23 unidades) | |
| 3.1 | Obras preliminares | 88,32 |
| 3.2 | Movimiento de tierras | 335,00 |
| 3.3 | Acero de refuerzo | 1482,99 |
| 3.4 | Encofrado y desencofrado | 686,46 |
| 3.5 | Hormigón | 1846,72 |
| | Subtotal | 4439,481 |
| 4 | Cajas válvula rompe presiones y válvula flotadora 2mx1mx1,50m (5 unidades) | |
| 4.1 | Obras preliminares | 38,40 |
| 4.2 | Movimiento de tierras | 145,65 |
| 4.3 | Acero de refuerzo | 406,00 |
| 4.4 | Encofrado y desencofrado | 226,26 |
| 4.5 | Hormigón | 602,19 |
| | Subtotal | 1418,50 |
| 5 | Cajas válvula de desagüe 1m x 1m x1,50m (2 unidades) | |
| 5.1 | Obras preliminares | 7,68 |
| 5.2 | Movimiento de tierras | 33,66 |
| 5.3 | Acero de refuerzo | 130,36 |
| 5.4 | Encofrado y desencofrado | 61,37 |
| 5.5 | Hormigón | 160,58 |
| 5.6 | Tee PVC | 1,30 |
| 5.7 | Válvulas de compuerta RW | 10,96 |
| 5.8 | Unión PVC | 13,08 |
| | Subtotal | 418,994 |
| COSTO TOTAL \$ | | 225'253,63 |

Nota: Presupuesto referencial para la construcción del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto. Elaborado por: Los autores

De acuerdo a la tabla 59, el costo referencial del proyecto será de USD 225 253, 63. Se debe tomar en cuenta que la mano de obra será provista por la comunidad, pudiendo esto generar una disminución significativa en el costo referencial antes mencionado.

8.2. Cronograma valorado de ejecución de actividades

El cronograma valorado que se ha planteado permite fijar los tiempos y gastos de ejecución de las actividades del proyecto (Ver anexo 9); cuyo resumen se muestra en la tabla 60,

Tabla 60

Cronograma valorado de ejecución de actividades.

| Código | Descripción | Precio total | % | Meses | | | | | |
|--------|--|--------------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Preliminares | | | | | | | | |
| 1.1 | Obras preliminares | 30018,24 | 13,33 | 5003,04 | 5003,04 | 5003,04 | 5003,04 | 5003,04 | 5003,04 |
| 1.2 | Movimiento de tierras | 154601,6 | 68,63 | 25766,9 | 25766,9 | 25766,9 | 25766,9 | 25766,94 | 25766,94 |
| 2 | Instalaciones | | | | | | | | |
| 2.1 | Tuberías PVC | 27384,44 | 12,16 | | | 6846,11 | 6846,11 | 6846,11 | 6846,11 |
| 2.2 | Válvulas de aire | 330,17 | 0,15 | | | 82,54 | 82,54 | 82,54 | 82,54 |
| 2.3 | Collarín plástico de PE, PP y PVC (Accesorios) | 86,54 | 0,04 | | | 21,64 | 21,64 | 21,64 | 21,64 |
| 2.4 | Válvulas de compuerta HF | 1069,32 | 0,47 | | | 267,33 | 267,33 | 267,33 | 267,33 |
| 2.5 | Válvulas de compuerta RW | 1036,96 | 0,46 | | | 259,24 | 259,24 | 259,24 | 259,24 |

| Código | Descripción | Precio total | % | Meses | | | | | |
|--------|---|--------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2.6 | Válvulas hidráulicas reductora de presión | 3623,59 | 1,61 | | | | | | 3623,59 |
| 2.7 | Tee y tee reductora | 87,42 | 0,04 | | | 21,86 | 21,86 | 21,86 | 21,86 |
| 2.8 | Codos PVC de 90° | 103,60 | 0,05 | | | 25,90 | 25,90 | 25,90 | 25,90 |
| 2.9 | Tapón PVC | 5,23 | 0,00 | | | | | 5,23 | |
| 2.10 | Reductor buje PVC | 29,05 | 0,01 | | | | | 14,53 | 14,53 |
| 2.11 | Unión PVC | 9,95 | 0,00 | | | 9,95 | | | |
| 2.12 | Collarín plástico de PE, PP y PVC | 421,3 | 0,19 | | | 105,33 | 105,33 | 105,33 | 105,33 |
| 2.13 | Aditivos | 169,2 | 0,08 | | | 42,30 | 42,30 | 42,30 | 42,30 |
| 3 | Cajas válvulas de aire y válvulas de compuerta HF 1m x 1m x1,50m (23 unidades) | | | | | | | | |
| 3.1 | Obras preliminares | 88,32 | 0,04 | 44,16 | 44,16 | | | | |
| 3.2 | Movimiento de tierras | 335,00 | 0,15 | 167,50 | 167,50 | | | | |
| 3.3 | Acero de refuerzo | 1482,99 | 0,66 | 741,50 | 741,50 | | | | |
| 3.4 | Encofrado y desencofrado | 686,46 | 0,30 | 343,23 | 343,23 | | | | |
| 3.5 | Hormigón | 1846,72 | 0,82 | 923,36 | 923,36 | | | | |
| 4 | Cajas válvula rompe presiones y válvula flotadora 2m x 1m x1,50m (5 unidades) | | | | | | | | |
| 4.2 | Movimiento de tierras | 145,65 | 0,06 | 72,83 | 72,83 | | | | |
| 4.3 | Acero de refuerzo | 406,00 | 0,18 | 203,00 | 203,00 | | | | |
| 4.4 | Encofrado y desencofrado | 226,26 | 0,10 | 113,13 | 113,13 | | | | |

| Código | Descripción | Precio total | % | Meses | | | | | |
|--------------------|---|-----------------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 4.5 | Hormigón | 602,19 | 0,27 | 301,10 | 301,10 | | | | |
| 5 | Cajas válvula de desagüe 1m x 1m x1,50m (2 unidades) | | | | | | | | |
| 5.1 | Obras preliminares | 7,68 | 0,00 | 3,84 | 3,84 | | | | |
| 5.2 | Movimiento de tierras | 33,66 | 0,01 | 16,83 | 16,83 | | | | |
| 5.3 | Acero de refuerzo | 130,36 | 0,06 | 65,18 | 65,18 | | | | |
| 5.4 | Encofrado y desencofrado | 61,37 | 0,03 | 30,69 | 30,69 | | | | |
| 5.5 | Hormigón | 160,58 | 0,07 | 80,29 | 80,29 | | | | |
| 5.6 | Tee PVC | 1,30 | 0,00 | | | 1,30 | | | |
| 5.7 | Válvulas de Compuerta RW | 10,96 | 0,00 | | | 5,48 | 5,48 | | |
| 5.8 | Unión PVC | 13,08 | 0,01 | | | 6,54 | 6,54 | | |
| COSTO TOTAL | | 225253,6 | 100 | 33895,8 | 33895,8 | 38465,4 | 38454,2 | 38461,9 | 42080,3 |

Nota: Cronograma de actividades referencial para la construcción del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto. Elaborado por: Los autores.

8.3. Viabilidad económica

La viabilidad económica es empleada para medir el rendimiento del proyecto en base a los recursos reales de los habitantes de la comunidad beneficiaria. Para determinarla se toma en cuenta la identificación, cuantificación y valoración de las inversiones y beneficios del proyecto durante su vida útil (Escobar & Flores, 2018).

8.4. Viabilidad financiera

La viabilidad financiera se emplea para estimar el rendimiento del proyecto en términos monetarios, en la que se toma en cuenta como se obtienen y se pagan los recursos financieros necesarios para la construcción del proyecto (Escobar & Flores, 2018). Cabe recalcar que los proyectos realizados por el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha (GADPP) no tienen como finalidad generar rentabilidad económica, sino rentabilidad social para las comunidades beneficiarias.

Para determinar la viabilidad financiera se utilizarán los indicadores del flujo de caja financiera: el valor actual neto financiero (VANF) y la tasa interna de retorno financiero (TIRF).

8.5. Indicadores económicos

8.5.1. Valor actual neto (VAN)

Según (Escobar & Flores, 2018), el VAN es un indicador económico que ayuda a determinar la viabilidad del proyecto, en el cual se descuenta de la inversión inicial los futuros ingresos y egresos; así cuando:

$VAN > 0$, el proyecto es viable.

$VAN = 0$, el proyecto no tiene beneficios ni pérdidas.

$VAN < 0$, el proyecto no es viable.

8.5.2. Tasa interna de retorno (TIR)

Según (Escobar & Flores, 2018), el TIR es un indicador de rentabilidad porcentual del proyecto que considera los flujos de dinero por año y la tasa de descuento (r), así cuando:

$TIR > r$, se aprueba el proyecto.

$TIR < r$, se rechaza el proyecto.

8.5.3. Relación beneficio – costo (B/C)

De acuerdo a (Escobar & Flores, 2018), es un indicador que ayuda a medir el grado de desarrollo y bienestar del proyecto a través de relación de los valores actualizados de los beneficios (ingresos) sobre los valores actualizados de los costos (gastos de operación e inversión), así cuando:

$B/C > 1$, el beneficio es mayor al costo entonces se considera al proyecto.

$B/C = 1$, el beneficio es igual al costo entonces no hay ganancia.

$B/C < 1$, el costo es mayor al beneficio entonces no se considera al proyecto.

8.6. *Inversión del proyecto*

Está determinada por el presupuesto referencial, señalado en el inciso 8.1; en donde el costo de implantación del sistema de riego por aspersión asciende a USD 225'253,63.

8.7. *Egresos por operación y mantenimiento del proyecto*

Para llevar a cabo el cálculo de egresos, se toma en cuenta el costo de los materiales, las herramientas, el equipo de seguridad y la mano de obra del personal que se empleará para realizar las actividades de operación y mantenimiento del proyecto. A continuación, en la tabla 61 se muestra dicho análisis.

Tabla 61*Detalle de costos de operación y mantenimiento del proyecto.*

| Descripción | Unidad | Cantidad anual | Precio unitario | Precio Total |
|-----------------------------|---------------|-----------------------|------------------------|---------------------|
| Equipo de protección | | | | |
| Cascos | u | 1 | 6,00 | 6,00 |
| Chaleco reflectivo | u | 1 | 4,50 | 4,50 |
| Overol | u | 1 | 30,00 | 30,00 |
| Guantes | u | 2 | 8,25 | 16,50 |
| Botas | u | 1 | 15,50 | 15,50 |
| | | | Total | 72,50 |
| Herramientas | | | | |
| Herramienta menor | glb | 1 | 25,00 | 25,00 |
| Carretilla | u | 1 | 35,00 | 35,00 |
| Pala | u | 1 | 17,00 | 17,00 |
| Escoba | u | 1 | 3,75 | 3,75 |
| Pico | u | 1 | 20,00 | 20,00 |
| Machete | u | 1 | 10,35 | 10,35 |
| | | | Total | 111,10 |
| Materiales | | | | |
| Tubos y accesorios PVC | glb | 3 | 60,00 | 180,00 |
| Adhesivo PVC | u | 4 | 11,80 | 47,20 |
| | | | Total | 227,20 |
| Personal | | | | |
| Técnico | 0,10 | 29,94 | 598,80 | 718,56 |
| Obreros | 0,20 | 28,05 | 561,00 | 1,346,40 |
| | | | Total | 2'064,96 |

Nota: Cálculo de los costos de operación y mantenimiento del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto. Elaborado por: Los autores.

En la tabla 62 se muestra el costo anual por operación y mantenimiento del proyecto.

Tabla 62

Costo de operación y mantenimiento del proyecto.

| Componentes | Costos |
|---------------------|-----------------|
| Personal | 2064,96 |
| Maquinaria y equipo | 111,10 |
| Materiales | 227,20 |
| Equipo de seguridad | 72,50 |
| Total | 2'475,76 |

Nota: Costo total anual de operación y mantenimiento del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto. Elaborado por: Los autores.

A continuación, en la tabla 63 se indica la proyección del costo de operación y mantenimiento para los 30 años de vida útil que tendrá el proyecto, tomando en cuenta un incremento del costo del 1%, y una depreciación de USD 82,53 por cada año.

Tabla 63*Costo proyectado de operación y mantenimiento del proyecto.*

| Año | Costo O&M | Depreciación anual | Costo O&M anual |
|------------|----------------------|---------------------------|----------------------------|
| 2021 | 0 | 0 | 0 |
| 2022 | 2475,76 | 82,53 | 2558,29 |
| 2023 | 2500,52 | 82,53 | 2583,05 |
| 2024 | 2525,52 | 82,53 | 2608,05 |
| 2025 | 2550,78 | 82,53 | 2633,31 |
| 2026 | 2576,29 | 82,53 | 2658,82 |
| 2027 | 2602,05 | 82,53 | 2684,58 |
| 2028 | 2628,07 | 82,53 | 2710,60 |
| 2029 | 2654,35 | 82,53 | 2736,88 |
| 2030 | 2680,89 | 82,53 | 2763,42 |
| 2031 | 2707,70 | 82,53 | 2790,23 |
| 2032 | 2734,78 | 82,53 | 2817,31 |
| 2033 | 2762,13 | 82,53 | 2844,66 |
| 2034 | 2789,75 | 82,53 | 2872,28 |
| 2035 | 2817,65 | 82,53 | 2900,18 |
| 2036 | 2845,82 | 82,53 | 2928,35 |
| 2037 | 2874,28 | 82,53 | 2956,81 |
| 2038 | 2903,02 | 82,53 | 2985,55 |
| 2039 | 2932,05 | 82,53 | 3014,58 |
| 2040 | 2961,37 | 82,53 | 3043,90 |
| 2041 | 2990,99 | 82,53 | 3073,52 |
| 2042 | 3020,90 | 82,53 | 3103,43 |
| 2043 | 3051,11 | 82,53 | 3133,64 |
| 2044 | 3081,62 | 82,53 | 3164,15 |
| 2045 | 3112,43 | 82,53 | 3194,96 |
| 2046 | 3143,56 | 82,53 | 3226,09 |
| 2047 | 3174,99 | 82,53 | 3257,52 |
| 2048 | 3206,74 | 82,53 | 3289,27 |
| 2049 | 3238,81 | 82,53 | 3321,34 |
| 2050 | 3271,20 | 82,53 | 3353,73 |

Nota: Cálculo de la proyección de costos de operación y mantenimiento del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto durante su vida útil. Elaborado por: Los autores.

8.8. *Ingresos del proyecto*

Para llevar a cabo el cálculo de ingresos, se tomará en cuenta el pago de mensualidades por el servicio de agua de riego, las cuales serán acordadas por los 61 usuarios, y que en promedio tienen un valor de USD 3. En la tabla 64 se indica la proyección de los ingresos para los 30 años de vida útil que tendrá el proyecto, tomando en cuenta un incremento anual en la mensualidad del 10%.

Tabla 64*Ingresos del proyecto por pago de mensualidades.*

| Año | Usuarios | Mensualidad por agua de riego | Ingreso mensual por agua de riego | Ingreso anual por agua de riego |
|------------|-----------------|--------------------------------------|--|--|
| 2021 | 61 | 0 | 0 | 0 |
| 2022 | 61 | 3,00 | 183,00 | 2196,00 |
| 2023 | 61 | 3,30 | 201,30 | 2415,60 |
| 2024 | 61 | 3,63 | 221,43 | 2657,16 |
| 2025 | 61 | 3,67 | 223,64 | 2683,73 |
| 2026 | 61 | 3,70 | 225,88 | 2710,57 |
| 2027 | 61 | 3,74 | 228,14 | 2737,67 |
| 2028 | 61 | 3,78 | 230,42 | 2765,05 |
| 2029 | 61 | 3,82 | 232,73 | 2792,70 |
| 2030 | 61 | 3,85 | 235,05 | 2820,63 |
| 2031 | 61 | 3,89 | 237,40 | 2848,84 |
| 2032 | 61 | 3,93 | 239,78 | 2877,32 |
| 2033 | 61 | 3,97 | 242,17 | 2906,10 |
| 2034 | 61 | 4,01 | 244,60 | 2935,16 |
| 2035 | 61 | 4,05 | 247,04 | 2964,51 |
| 2036 | 61 | 4,09 | 249,51 | 2994,15 |
| 2037 | 61 | 4,13 | 252,01 | 3024,10 |
| 2038 | 61 | 4,17 | 254,53 | 3054,34 |
| 2039 | 61 | 4,21 | 257,07 | 3084,88 |
| 2040 | 61 | 4,26 | 259,64 | 3115,73 |
| 2041 | 61 | 4,30 | 262,24 | 3146,89 |
| 2042 | 61 | 4,34 | 264,86 | 3178,36 |
| 2043 | 61 | 4,39 | 267,51 | 3210,14 |
| 2044 | 61 | 4,43 | 270,19 | 3242,24 |
| 2045 | 61 | 4,47 | 272,89 | 3274,66 |
| 2046 | 61 | 4,52 | 275,62 | 3307,41 |
| 2047 | 61 | 4,56 | 278,37 | 3340,48 |
| 2048 | 61 | 4,61 | 281,16 | 3373,89 |
| 2049 | 61 | 4,66 | 283,97 | 3407,63 |
| 2050 | 61 | 4,70 | 286,81 | 3441,70 |

Nota: Proyección de ingresos del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto por pago de mensualidades durante su vida útil. Elaborado por: Los autores.

8.9. Beneficios valorados del proyecto

Como se había mencionado antes, el principal beneficio que trae a los habitantes de la comuna San Vicente Alto la rehabilitación del sistema de riego, es mantener la producción agrícola de sus terrenos en todo el año, al poder regar sus cultivos en temporadas de estiaje.

Para determinar este beneficio, se debe aclarar que gran parte de la producción agrícola de los terrenos es para consumo de las familias de los usuarios, y el resto es comercializada en las ciudades cercanas, y cuyo beneficio se percibe únicamente en temporadas de cosecha, por ende, se estima un valor promedio mensual que contemple las aclaraciones anteriormente hechas, y se establece un beneficio mensual de USD 25.

En la tabla 65 se muestra la proyección de los ingresos, por beneficios valorados, para los 30 años de vida útil que tendrá el proyecto, tomando en cuenta un incremento anual del 3%.

Tabla 65*Ingresos del proyecto por beneficios valorados.*

| Año | Usuarios | Ingreso por agua de riego | Ingreso mensual por agua de riego | Ingreso anual por agua de riego |
|------------|-----------------|--|--|--|
| 2021 | 61 | 0 | 0 | 0 |
| 2022 | 61 | 25,00 | 1525,00 | 18300,00 |
| 2023 | 61 | 25,75 | 1570,75 | 18849,00 |
| 2024 | 61 | 26,52 | 1617,87 | 19414,47 |
| 2025 | 61 | 27,32 | 1666,41 | 19996,90 |
| 2026 | 61 | 28,14 | 1716,40 | 20596,81 |
| 2027 | 61 | 28,98 | 1767,89 | 21214,72 |
| 2028 | 61 | 29,85 | 1820,93 | 21851,16 |
| 2029 | 61 | 30,75 | 1875,56 | 22506,69 |
| 2030 | 61 | 31,67 | 1931,82 | 23181,89 |
| 2031 | 61 | 32,62 | 1989,78 | 23877,35 |
| 2032 | 61 | 33,60 | 2049,47 | 24593,67 |
| 2033 | 61 | 34,61 | 2110,96 | 25331,48 |
| 2034 | 61 | 35,64 | 2174,29 | 26091,42 |
| 2035 | 61 | 36,71 | 2239,51 | 26874,17 |
| 2036 | 61 | 37,81 | 2306,70 | 27680,39 |
| 2037 | 61 | 38,95 | 2375,90 | 28510,80 |
| 2038 | 61 | 40,12 | 2447,18 | 29366,13 |
| 2039 | 61 | 41,32 | 2520,59 | 30247,11 |
| 2040 | 61 | 42,56 | 2596,21 | 31154,53 |
| 2041 | 61 | 43,84 | 2674,10 | 32089,16 |
| 2042 | 61 | 45,15 | 2754,32 | 33051,84 |
| 2043 | 61 | 46,51 | 2836,95 | 34043,39 |
| 2044 | 61 | 47,90 | 2922,06 | 35064,69 |
| 2045 | 61 | 49,34 | 3009,72 | 36116,63 |
| 2046 | 61 | 50,82 | 3100,01 | 37200,13 |
| 2047 | 61 | 52,34 | 3193,01 | 38316,14 |
| 2048 | 61 | 53,91 | 3288,80 | 39465,62 |
| 2049 | 61 | 55,53 | 3387,47 | 40649,59 |
| 2050 | 61 | 57,20 | 3489,09 | 41869,08 |

Nota: Proyección de ingresos del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto

por beneficios valorados durante su vida útil. Elaborado por: Los autores.

8.10. Flujo de caja del proyecto

Para poder proyectar el flujo de caja del proyecto que se muestra en la tabla 66, se precisa de la información de inversión inicial (Ver tabla 59), costos de operación y mantenimiento (Ver tabla 63), ingresos por pagos de mensualidades (Ver tabla 64) e ingresos por beneficios valorados (Ver tabla 65).

Tabla 66*Flujo de caja del proyecto.*

| Año | Ingreso por pago mensual | Ingreso por beneficio valorado | Beneficio Anual (B) | Presupuesto inicial | Costo O&M | Costo anual (C) | Beneficio-Costo (B-C) |
|------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|------------------------------|
| 2021 | 0 | 0 | 0 | 225253,63 | 0 | 225253,63 | -225253,63 |
| 2022 | 2196,00 | 18300,00 | 20496,00 | 0 | 2475,76 | 2475,76 | 18020,24 |
| 2023 | 2415,60 | 18849,00 | 21264,60 | 0 | 2500,52 | 2500,52 | 18764,08 |
| 2024 | 2657,16 | 19414,47 | 22071,63 | 0 | 2525,52 | 2525,52 | 19546,11 |
| 2025 | 2683,73 | 19996,90 | 22680,64 | 0 | 2550,78 | 2550,78 | 20129,86 |
| 2026 | 2710,57 | 20596,81 | 23307,38 | 0 | 2576,29 | 2576,29 | 20731,09 |
| 2027 | 2737,67 | 21214,72 | 23952,39 | 0 | 2602,05 | 2602,05 | 21350,34 |
| 2028 | 2765,05 | 21851,16 | 24616,21 | 0 | 2628,07 | 2628,07 | 21988,14 |
| 2029 | 2792,70 | 22506,69 | 25299,39 | 0 | 2654,35 | 2654,35 | 22645,04 |
| 2030 | 2820,63 | 23181,89 | 26002,52 | 0 | 2680,89 | 2680,89 | 23321,63 |
| 2031 | 2848,84 | 23877,35 | 26726,18 | 0 | 2707,70 | 2707,70 | 24018,48 |
| 2032 | 2877,32 | 24593,67 | 27470,99 | 0 | 2734,78 | 2734,78 | 24736,21 |
| 2033 | 2906,10 | 25331,48 | 28237,58 | 0 | 2762,13 | 2762,13 | 25475,45 |
| 2034 | 2935,16 | 26091,42 | 29026,58 | 0 | 2789,75 | 2789,75 | 26236,83 |
| 2035 | 2964,51 | 26874,17 | 29838,68 | 0 | 2817,65 | 2817,65 | 27021,03 |
| 2036 | 2994,15 | 27680,39 | 30674,55 | 0 | 2845,82 | 2845,82 | 27828,72 |
| 2037 | 3024,10 | 28510,80 | 31534,90 | 0 | 2874,28 | 2874,28 | 28660,62 |
| 2038 | 3054,34 | 29366,13 | 32420,46 | 0 | 2903,02 | 2903,02 | 29517,44 |
| 2039 | 3084,88 | 30247,11 | 33331,99 | 0 | 2932,05 | 2932,05 | 30399,94 |
| 2040 | 3115,73 | 31154,53 | 34270,25 | 0 | 2961,37 | 2961,37 | 31308,88 |
| 2041 | 3146,89 | 32089,16 | 35236,05 | 0 | 2990,99 | 2990,99 | 32245,06 |
| 2042 | 3178,36 | 33051,84 | 36230,19 | 0 | 3020,90 | 3020,90 | 33209,29 |
| 2043 | 3210,14 | 34043,39 | 37253,53 | 0 | 3051,11 | 3051,11 | 34202,42 |
| 2044 | 3242,24 | 35064,69 | 38306,93 | 0 | 3081,62 | 3081,62 | 35225,31 |
| 2045 | 3274,66 | 36116,63 | 39391,30 | 0 | 3112,43 | 3112,43 | 36278,86 |
| 2046 | 3307,41 | 37200,13 | 40507,54 | 0 | 3143,56 | 3143,56 | 37363,98 |
| 2047 | 3340,48 | 38316,14 | 41656,62 | 0 | 3174,99 | 3174,99 | 38481,63 |
| 2048 | 3373,89 | 39465,62 | 42839,51 | 0 | 3206,74 | 3206,74 | 39632,76 |
| 2049 | 3407,63 | 40649,59 | 44057,22 | 0 | 3238,81 | 3238,81 | 40818,40 |
| 2050 | 3441,70 | 41869,08 | 45310,78 | 0 | 3271,20 | 3271,20 | 42039,58 |

Nota: Flujo de caja del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto durante su vida útil. Elaborado por: Los autores.

Con el flujo de caja (B/C) anual de la tabla 66, la vida útil del proyecto, que será de 30 años, y la tasa de descuento anual, que para este caso será del 9%, se procede a calcular el valor de los indicadores económicos, y cuyos resultados se muestran en la tabla 67.

Tabla 67

Indicadores económicos del proyecto.

| Indicador | Valor |
|------------------|--------------|
| VAN | 24 840,94\$ |
| TIR | 10,03% |
| B/C | 3,09 |

Nota: Resultado del cálculo de los indicadores económicos del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto. Elaborado por: Los autores.

Por lo tanto, al establecer los valores de VAN positivo, de TIR mayor a la tasa de descuento (9%) y una relación beneficio-costos (B/C) mayor a 1, se determina la viabilidad financiera del proyecto.

CAPÍTULO IX

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO

9.1. Operación y mantenimiento del sistema de riego por aspersión

Actualmente, los trabajos de operación y mantenimiento del sistema de riego están bajo la responsabilidad de la directiva de la comuna San Vicente Alto, que designa al aguatero, persona encargada de la operación del sistema de riego y reparaciones menores, y planifica mingas comunitarias para solucionar problemas mayores.

Con la rehabilitación del sistema de riego, los trabajos de operación y mantenimiento se mantendrán a cargo de la directiva de la comuna San Vicente Alto, pero con el fin de asegurar el trabajo planificado y eficaz del personal, para conservar en las mejores condiciones de funcionamiento a la infraestructura hidráulica a implementarse y garantizar un riego eficiente, se proponen algunas recomendaciones.

9.2. Operación del sistema de riego por aspersión

Para operar los elementos que conforman el sistema de riego, deberán seguirse procedimientos que garanticen su funcionamiento adecuado y disminuya el riesgo de deterioro temprano.

9.2.1. Operación de las tuberías de Conducción

(Solís & Yacelga, 2018) recomienda que para suspender el servicio de agua para el riego o para restablecerlo después de un corte, es necesario tomar ciertas precauciones que eviten la rotura de tubos, debida a la presencia de aire o a la ocurrencia de una sobrepresión o un vacío.

Para el corte del servicio de riego se recomienda:

- Informar a los usuarios del sistema de riego sobre el día y hora de corte del servicio.
- Revisar el funcionamiento de las válvulas de aire antes y durante el vaciado de las tuberías.
- Cerrar lentamente la válvula principal para asegurar que el vaciado de las tuberías se haga lentamente.
- Vaciar totalmente las tuberías, para ello se debe abrir parcialmente las válvulas de desagüe.

Para restablecer el servicio de riego se recomienda:

- Informar a los usuarios del sistema de riego sobre el día y hora del restablecimiento del servicio para que dejen conectados los aspersores.
- Verificar que el volumen de agua almacenado en el reservorio sea capaz de satisfacer las necesidades de riego de los usuarios para ese día.
- Desde la válvula principal, iniciar lentamente el llenado de las tuberías con una pequeña parte del caudal de operación del sistema.
- Revisar el funcionamiento de las válvulas de aire y comprobar la llegada de agua a las válvulas de desagüe y luego cerrarlas lentamente.
- Desde la válvula principal, aumentar el caudal lentamente hasta la cantidad de operación del sistema.

9.2.2. Aplicación del riego

Para que el caudal concesionado al sistema de riego de la comuna San Vicente Alto pueda satisfacer las necesidades de cada usuario y con ello, no afecte a los demás usuarios, se debe respetar los turnos asignados por la directiva de la comunidad a cada uno de ellos.

También, es importante que los usuarios tengan claro que la falta o exceso de riego puede ser perjudicial para sus cultivos, por eso lo ideal es que cuenten con una programación de riego recomendada por un experto en riego de cultivos de la zona, pero si no se dispone de una programación de riego, el usuario puede examinar el humedecimiento del suelo en la profundidad a la que se encuentra la mayor abundancia de raíces del cultivo, teniendo en cuenta que en los suelos arenosos se debe regar con menores cantidades y más frecuentemente que en los suelos arcillosos. Del mismo modo, se recomienda que los usuarios revisen que el equipo de riego se encuentre en buen estado, de lo contrario, reparen oportunamente los daños sin cambiar los diámetros ni la altura de los aspersores; procure también, dejar de regar durante la ocurrencia de vientos fuertes, se familiarice con la medición del agua de riego y participe activamente en las capacitaciones que se programen (Solís & Yacelga, 2018).

9.3. Mantenimiento del sistema de riego por aspersión

Los usuarios del sistema de riego deben tener en cuenta que éste va a estar expuesto al deterioro y a la ocurrencia de daños, por ende, se deben realizar actividades de prevención y reparación, para lo cual, se requiere de organización y de recursos económicos.

La directiva de la comuna San Vicente Alto deberá fijar una tarifa mensual, semestral o anual que cada usuario deberá asumir para poder solventar los costos de reparación y mantenimiento del sistema de riego.

El funcionamiento del sistema de riego debe controlarse permanentemente, por eso, la directiva de la comuna San Vicente Alto designará al denominado “aguatero”, persona que estará encargada del chequeo del funcionamiento de los componentes de toda la red,

reparaciones menores y de la supervisión del correcto uso del agua de riego por parte de los usuarios.

9.3.1. Mantenimiento de las tuberías de conducción

En general, es recomendable tener en cuenta las siguientes actividades:

- El mantenimiento se debe realizar por lo menos dos veces al año, con la participación de todos los usuarios del sistema de riego, la cual consistirá principalmente en la limpieza del interior de las tuberías con la eliminación de sedimentos y material granular a través de la apertura de válvulas de desagüe.
- En lo referente a los accesorios de tubería instalados, como válvulas de aire, válvulas de desagüe, válvulas reductoras de presión, etc., se verificará su estado por lo menos dos veces al año, tomando en cuenta aspectos relevantes como la unión, sellado, paso de agua, fisuras o daños. En caso de existir fisuras o daños, se realizarán las respectivas reparaciones o en su defecto, serán reemplazados por accesorios de iguales características; en el caso de las tuberías de conducción, deberán ser reemplazadas completamente descubriendo la tubería en una longitud suficiente para no forzarla durante la reparación.
- No realizar reparaciones improvisadas o temporales y comprobar siempre el buen resultado de la reparación, con la prueba hidráulica, antes de proceder a tapar las tuberías.

9.3.2. Mantenimiento del reservorio

En lo referente al reservorio se deberá tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Limpiar de sedimentos y material granular el fondo del reservorio, por lo menos 2 veces al año, de manera manual evitando usar herramientas que puedan ocasionar daños y fisuras en el hormigón de revestimiento.
- Ubicar la tierra extraída del reservorio lejos de los muros, evitando así sobrecargas y deslizamientos.
- Engrasar o pintar la válvula de regulación del caudal de salida del reservorio.
- En caso de existir grietas y fisuras en el revestimiento del reservorio, éstas deben ser reparadas inmediatamente.
- Estabilizar las laderas del talud del reservorio con plantaciones de árboles y arbustos nativos que permitan evitar derrumbes.

CONCLUSIONES

La recopilación de información del sitio del proyecto se basó en la toma de datos en campo, únicamente en un período de cinco meses de época de invierno, y en la recolección de testimonios de la comunidad, por lo que no se pudo establecer una línea base, para la evaluación del sistema, que refleje con veracidad la realidad de las condiciones hidráulicas del sitio de estudio.

La descripción visual del sistema de riego actual, dio como resultado que las estructuras complementarias, como cajas de revisión, tanque rompe presión y reservorio, se encuentran en buen estado, pero se presentan problemas de presión y sedimentación en varios tramos de la conducción principal y secundaria.

En consenso con los usuarios, se decidió que lo más conveniente era mantener como método de riego al sistema de riego por aspersión, ya que se ajusta a la topografía del terreno, y se adapta al tipo de cultivos de la zona, tiene una eficiencia de aplicación de agua de hasta el 85%, sus componentes son fáciles de adquirir y reemplazar, pero en especial, los usuarios ya están familiarizados con sus procedimientos de operación y mantenimiento.

Con el diseño del sistema de riego se solucionaron los problemas hidráulicos identificados en su descripción y evaluación, asegurando la correcta distribución del agua entre los usuarios, además, por pedido de los mismos, el sistema conservó el mismo trazado de las redes de conducción principal y secundario, pero se aumentó el número de tomas parcelarias.

Se determinó la viabilidad económica y financiera del proyecto con el análisis de los indicadores económicos, de lo cual, se pudo establecer valores positivos para el VAN, TIR y B/C.

Mediante la evaluación ambiental, se pudo determinar que la flora y fauna registrada en el área de estudio en su mayoría es pionera y no se registraron especies nativas, lo que es un indicador de zonas con altos signos de intervención humana, disminuyendo así el peligro de la posible afectación ambiental que pudieran causar los trabajos de construcción del proyecto, y con el afán de prevenir o mitigar dichos peligros, se propone un plan de manejo ambiental (PMA).

Al establecer los tiempos de llenado y vaciado del reservorio, se pudo comprobar que el caudal concesionado a la comunidad, 20,10 l/s, es insuficiente para regar al mismo tiempo el área neta de cultivo, 67,97 Ha, por lo tanto, se propone dividir al riego en turnos de 10 horas, asegurando la eficiencia hidráulica de dichos turnos si los usuarios siguen los procedimientos de operación y mantenimiento del sistema recomendados.

Con el presente estudio y la posterior construcción del sistema de riego por aspersión, se logrará optimizar el recurso hídrico, incrementar el número de usuarios y la superficie de riego al aprovechar terrenos de secano, generando así, una mayor producción agrícola y mayores ingresos para los agricultores, logrando impulsar el desarrollo económico de toda la comunidad.

RECOMENDACIONES

Seguir las recomendaciones hechas en el plan de manejo ambiental (PMA), para prevenir o mitigar los impactos ambientales que puedan causar los trabajos de construcción del proyecto, para así, no ocasionar afectaciones a los terrenos de cultivo de la comunidad.

Familiarizarse con los procedimientos especificados en el manual de operación y mantenimiento del sistema de riego por aspersión, en el cual, se detallan las instrucciones a seguir para evitar los daños prematuros y extender la vida útil de sus componentes.

La junta directiva de la comunidad será la encargada de decidir, mediante asamblea de usuarios, los turnos con los que trabajará el sistema de riego, procurando brindar equitativamente el servicio de agua de riego a todos sus usuarios.

La junta directiva de la comunidad será la encargada de delegar a una persona como “aguatero”, para que se encargue de las tareas de operación, supervisar el buen uso del agua por parte de los usuarios y realizar reparaciones menores; también deberá informar a dicha junta directiva de daños graves y fechas de limpieza de algún componente del sistema de riego, para que se designen comisiones u organicen mingas que atiendan a estos requerimientos.

La junta directiva de la comunidad será la encargada de fijar una tasa de cobro mensual, semestral o anual para los usuarios del sistema de riego, que sea capaz de solventar los gastos de su mantenimiento y el sueldo del “aguatero”.

REFERENCIAS

Bibliografía

- Berlijn, J. (2008). *Riego y drenaje. Área: Suelos y agua*. México: SEP trillas.
- Briones, G., & García, I. (1997). *AFORO DEL AGUA EN CANALES Y TUBERÍAS*. Mexico D.F.: Trillas. <https://es.scribd.com/doc/79788447/Aforo-del-Agua-en-Canales-y-Tuberias-Gregorio-Briones-e-Ignacio-Garcia>
- Cadena, V. (2016). *HABLEMOS DE RIEGO*. Quito: El Telégrafo E.P. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>
- Cadena, V. H. (2016). *HABLEMOS DE RIEGO CON LOS AGRICULTORES*. Quito: El Telégrafo E.P. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HRAGR.pdf>
- Cengel Yanus, C. (2018). *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones*. México D.F.: McGraw Hill Interamericana, S.A. de C.V.
- Empresa Editora Macro E.I.R.L. (2011). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Lima: Empresa Editora Macro E.I.R.L.
- Franzini, J., & Finnemore, J. (1999). *MECÁNICA DE FLUIDOS con aplicaciones en Ingeniería. Novena edición*. Madrid: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA. S. A. U.
- Fuentes, j., & García, G. (1999). *TÉCNICAS DE RIEGO: SISTEMAS DE RIEGO EN LA AGRICULTURA*. México, D.F.: MUNDI-PRENSA MÉXICO, S.A. DE C.V. <https://es.scribd.com/document/384267334/Tecnicas-de-Riego-Fuentes-Yague-Garcia-Legaspi>

Lanza, N. (2012). *TEXTO DE EJERCICIOS RESUELTOS DE HIDRÁULICA 2*.

Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.

<https://www.studocu.com/cl/document/universidad-nacional-mayor-de-san-marcos/ingenieria-hidraulica/informe/texto-ejercicios-resueltos-de-hidraulica-2/5236837/view>

Loomis. (2002). *Ecología de cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios*.

Madrid: Grupo Mundi-Prensa.

Rocha Felices, A. (2012). *HIDRAULICA DE TUBERIAS Y CANALES*. Lima:

Universidad Nacional de Ingeniería.

<https://luisalderonf.files.wordpress.com/2012/01/hidraulica-de-tuberias-y-canales.pdf>

Saldarriaga, J. (2007). *Hidráulica de tuberías. Abastecimiento de agua, redes, riego*.

Bogotá D.C.: Alfaomega.

Imágenes

123RF. (2020). *Pequeño plantío de maíz con sistema de riego por goteo en la granja*.

Obtenido de [Figura]. https://es.123rf.com/photo_68046271_peque%C3%B1o-plant%C3%ADo-de-ma%C3%ADz-con-sistema-de-riego-por-goteo-en-la-granja.html

COMERCIALIZADORA HYDRO ENVIRONMENT S.A. DE C.V. (2020). *Riego por*

inundación. Obtenido de [Figura].

https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=112

- DICONSA. (2019). Emisores de riego/ Cañones. Obtenido de [Figura].
<https://diconsa.hn/producto/canones/>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. (2020). Riego por aspersión. Obtenido de [Figura].
<https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/aspersion.aspx>
- Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador. (2020). *Ministerio de ambiente promueve medidas de adaptación al cambio climático en Manabí*. Obtenido de [Figura].
<http://www.ambiente.gob.ec/ministerio-del-ambiente-promueve-medidas-de-adaptacion-al-cambio-climatico-en-manabi/>
- ResearchGate. (1987). *Sistema de riego por pivote central*. Obtenido de [Figura].
https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Sistema-de-riego-por-pivote-central-C-Gene-Alexander-1987_fig7_308938342
- TRAXCO. (2009). Pivotes de riego. Obtenido de [Figura].
<https://www.traxco.es/blog/pivotes-de-riego/preservar-el-agua-con-riego-mecanizado>
- VIVA EL CAMPO. (2014). *Soluciones ingenieriles: Riego Por Surcos*. Obtenido de [Figura]. <https://vivaelcampo.wordpress.com/2014/06/15/soluciones-ingenieriles-riego-por-surcos/>

Informes

Dirección de Gestión de Riego y Drenaje del GADP Pichincha. (2018). *Informe de Factibilidad Social para el proyecto Sistema de Riego San Vicente Alto No. INF-185-CPO*. Quito.

GADP-Cangahua. (2014). *PARROQUIA CANGAHUA, ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL (PD y OT) DIAGNÓSTICO*. CAYAMBE. <https://docplayer.es/81274973-Cangahua-parroquia-de-diagnostico-actualizacion-del-plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-pd-y-ot.html>

Normas de Construcción

Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA). (2015). *NORMA CO 10.07 – 601 PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_disenos.pdf

Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA). (2016). *NORMA CO 10.7- 602 DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL*. https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_rural_para_estudios_y_disenos.pdf

Tesis

- Acero, J. (2014). *Identificación geoespacial, organizativa y agropecuaria del canal de riego Guanguilquí* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional - Universidad Politécnica Salesiana.
- Escobar, A., & Flores, O. (2018). *Estudio de factibilidad de la "eco ruta de caminata y bicicleta río San José" y diseño definitivo de la red vial del "Complejo Integral Agroecológico San José de Ayora, cantón Cayambe"* [Tesis de pregrado, Universidad politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional - Universidad Politécnica Salesiana.
- Solís, J., & Yacelga, C. (2018). *Diseño del sistema de riego por aspersión para el sector 5, Comuna Carrera, Parroquia Cangahua, Canton Cayambe, Provincia de Pichincha* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Digital - Universidad Central del Ecuador.

ANEXOS

Anexo 1: Certificado de caudal

El Directorio de Aguas de la Acequia "Guanguilquí", facultado por la SECRETARIA NACIONAL DEL AGUA "SENAGUA" *Demarcación Hidrográfica de Esmeraldas.- Zonal Quito*, en uso de sus atribuciones que el Estatuto en forma legal confiere el presente.

CERTIFICADO DE CAUDALES

ASOSACION SAN VICENTE ALTO es concesionario y usuario de este Directorio de Aguas de la Acequia Guanguilquí, con un caudal de 3 l/seg del proceso 790-98 y caudal de 3.02 l/se del Proceso 845-98 estas dos concesiones corresponde de ríos Gualimburo de la Acequia Guanguilquí, también del Proyecto Cangahua Tránsito Oyacachi Guanguilquí y Porotog de Sentencia individual Resolución 21 de mayo de 2009 del proceso 2344-09, caudal de 6.65 l/se. **Total de caudales que corresponde 12.67 l/seg.** Debo indicar estos caudales están distribuidos en diferentes sectores destinado para uso de riego. Los Directorios de Aguas Guanguilquí y Porotog aun todavía no se distribuyen a las comunidades usuarias entre la segunda fase de 250 l/s y tercera fase 200 l/s total 450 l/s del Proyecto Cangahua.

Restando la cantidad de 62.40 l/s para agua de consumo humano, quedando un total del caudal de riego 387 l/s del proceso, 2344-09 para el reparto.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad, para que la ASOSACION SAN VICENTE ALTO, como interesado haga uso del presente documento en el trámite correspondiente.

Cangahua, 09 de marzo del 2017

Atentamente,

Sra. Patricia Salcedo
PRESIDENTA DE LA JUNTA DE LAS AGUAS
DE ACEQUIA DE GUANGUILQUI

Anexo 2: Certificado de caudal actualizado



DIRECTORIO DE AGUAS DE LA ACEQUIA "GUANGUILQUI"
MEDIANTE RESOLUCIÓN NO. D18.1-89-128 DEL 16 DE MAYO DE 1989
REFORMA RESOLUCIÓN POR SENAGUA. AG.Q18-08-091. DEL 18 DE AGOSTO DEL 2008
PARROQUIA CANGAHUA - CANTÓN CAYAMBE - PROVINCIA PICHINCHA

El Directorio de aguas de la Acequia "Guanguilqui", facultado por la SECRETARIA NACIONAL DEL AGUA "SENAGUA" Demarcación Hidrográfica de Esmeraldas.- Zonal Quito, en uso de sus atribuciones que el Estatuto y su Reglamento así lo considera, en forma Legal confiere el presente:

CERTIFICADO DE CAUDALES

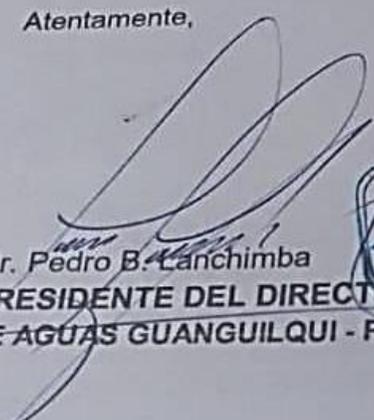
LA COMUNA JURIDICA SAN VICENTE ALTO; es concesionario y usuario de este Directorio de Aguas de la Acequia Guanguilqui – Porotog, dispone del Proceso 845 un caudal de 3.02 l/s, del proceso 790 un caudal de 3.00 l/s y del proceso 2344 un caudal de 6.36 l/s.

Cabe indicar también que tenemos un Proceso que se encuentra en análisis Técnico siendo este el Proceso 431, del cual tienen un caudal de 7.72 l/s y sumando los Procesos mencionados nos da un total de 20.10 l/s que la Comuna Jurídica San Vicente Alto tiene hasta el momento.

Es todo cuanto puedo **CERTIFICAR** en honor a la verdad, pudiendo **LA COMUNA JURIDICA SAN VICENTE ALTO** hacer uso del presente documento en el trámite correspondiente.

Cangahua, 1 de Noviembre del 2019

Atentamente,



Sr. Pedro B. Lanchimba
PRESIDENTE DEL DIRECTORIO DE AGUAS GUANGUILQUI - POROTOG



CANGAHUA VIA A LA PARROQUIA DE CANGAHUA DEL CANTON CAYAMBE

Anexo 3: Datos de la estación agrometeorológica

| | | | |
|-------------------------------|------------------------|---------------------|---------------|
| CODIGO DE LA ESTACIÓN: | M1094 | LATITUD: | 0°2'0"N |
| NOMBRE DE LA ESTACIÓN: | Tomalón-Tabacundo | LONGITUD: | 78°14'0"W |
| TIPO DE ESTACIÓN: | Agrometeorológica (AP) | ELEVACIÓN: | 2790 m.s.n.m. |
| PROVINCIA: | Pichincha (17) | PROPIETARIO: | INAMHI |

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (mm)

| AÑOS | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| 2002 | 23,9 | 33,1 | 26,7 | 109,2 | 32,9 | 41,3 | 1,4 | 6,3 | 9,9 | 114,3 | 80,7 | 98,4 | 48,2 |
| 2003 | 38,8 | 54,3 | 42,5 | 75,7 | 14,4 | 35,3 | 24,6 | 0,0 | 20,5 | 83,7 | 63,4 | 38,7 | 41,0 |
| 2004 | 38,6 | 20,5 | 16,3 | 84,3 | 63,6 | 1,5 | 4,5 | 0,6 | 50,3 | 48,0 | 54,4 | 106,5 | 40,8 |
| 2005 | 38,3 | 63,2 | 68,2 | 54,8 | 30,2 | 21,8 | 7,6 | 6,6 | 40,3 | 45,1 | 33,6 | 139,1 | 45,7 |
| 2006 | 41,2 | 83,4 | 108,6 | 88,2 | 38,5 | 62,3 | 3,5 | 4,9 | 4,6 | 72,7 | 134,2 | 101,5 | 62,0 |
| 2007 | 18,8 | 18,5 | 84,8 | 140,1 | 41,6 | 31,8 | 5,0 | 12,3 | 8,6 | 102,7 | 81,5 | 72,0 | 51,5 |
| 2008 | 69,3 | 82,0 | 145,9 | 108,4 | 91,7 | 37,8 | 9,5 | 22,8 | 25,9 | 123,0 | 73,1 | 53,9 | 70,3 |
| 2009 | 75,2 | 43,5 | 105,0 | 37,7 | 26,5 | 48,5 | 1,7 | 1,3 | 14,6 | 42,6 | 31,4 | 67,4 | 41,3 |
| 2010 | 22,6 | 39,1 | 23,3 | 108,5 | 60,2 | 48,6 | 63,1 | 10,2 | 47,6 | 57,7 | 115,5 | 105,1 | 58,5 |
| 2011 | 56,0 | 109,0 | 88,4 | 170,8 | 39,7 | 26,2 | 58,8 | 31,4 | 14,9 | 77,1 | 59,0 | 86,0 | 68,1 |
| 2012 | 86,0 | 69,3 | 52,7 | 112,7 | 6,7 | 7,7 | 3,2 | 5,6 | 9,5 | 59,8 | 113,9 | 19,4 | 45,5 |
| Media | 46,2 | 56,0 | 69,3 | 99,1 | 40,5 | 33,0 | 16,6 | 9,3 | 22,4 | 75,2 | 76,4 | 80,7 | 52,1 |
| Mínima | 18,8 | 18,5 | 16,3 | 54,8 | 14,4 | 1,5 | 1,4 | 0,0 | 4,6 | 45,1 | 33,6 | 38,7 | 40,8 |
| Máxima | 69,3 | 83,4 | 145,9 | 140,1 | 91,7 | 62,3 | 24,6 | 22,8 | 50,3 | 123,0 | 134,2 | 139,1 | 70,3 |

CODIGO DE LA ESTACIÓN: M1094
NOMBRE DE LA ESTACIÓN: Tomalón-Tabacundo
TIPO DE ESTACIÓN: Agrometeorológica (AP)
PROVINCIA: Pichincha (17)

LATITUD: 0°2'0"N
LONGITUD: 78°14'0"W
ELEVACIÓN: 2790 m.s.n.m.
PROPIETARIO: INAMHI

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)

| AÑOS | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 2002 | 15,6 | 15,0 | 15,0 | 14,4 | 15,7 | 15 | 15,6 | 15,6 | 15,7 | 15,3 | 14,6 | 14,8 | 15,2 |
| 2003 | 15,1 | 15,4 | 14,4 | 14,9 | 14,8 | 14,3 | 15,1 | 15,7 | 15 | 14,5 | 14,6 | 14,5 | 14,9 |
| 2004 | 14,6 | 14,3 | 15,8 | 14,8 | 14,9 | 15,2 | 14,4 | 16,0 | 14,9 | 14,9 | 15,2 | 14,6 | 15,0 |
| 2005 | 14,7 | 15,0 | 14,4 | 14,9 | 15,0 | 15,1 | 15,5 | 16,0 | 15,7 | 14,8 | 15,1 | 13,8 | 15,0 |
| 2006 | 14,1 | 14,5 | 14,4 | 14,3 | 15,2 | 15,0 | 16,1 | 16,1 | 15,4 | 15,0 | 13,7 | 14,3 | 14,8 |
| 2007 | 14,5 | 14,5 | 14,7 | 14,5 | 15,0 | 14,9 | 15,1 | 15,4 | 15,4 | 14,9 | 14,8 | 14,4 | 14,8 |
| 2008 | 14,5 | 13,6 | 13,6 | 14,0 | 14,1 | 14,5 | 14,3 | 14,3 | 15,4 | 14,0 | 14,8 | 14,3 | 14,3 |
| 2009 | 13,7 | 13,6 | 14,4 | 14,6 | 14,4 | 14,8 | 15,1 | 15,2 | 16,2 | 15,8 | 15,9 | 15,0 | 14,9 |
| 2010 | 15,5 | 15,7 | 15,6 | 15,0 | 16,2 | 14,7 | 14,3 | 14,5 | 14,6 | 14,8 | 14,1 | 13,7 | 14,9 |
| 2011 | 13,9 | 14,3 | 13,9 | 13,8 | 15,2 | 14,6 | 14,3 | 14,8 | 15,0 | 14,4 | 14,8 | 14,0 | 14,4 |
| 2012 | 13,3 | 13,9 | 15,2 | 14,2 | 14,6 | 15,5 | 16,1 | 15,6 | 16,1 | 15,2 | 14,9 | 15,2 | 15,0 |
| Media | 14,5 | 14,5 | 14,7 | 14,5 | 15,0 | 14,9 | 15,1 | 15,4 | 15,4 | 14,9 | 14,8 | 14,4 | 14,8 |
| Mínima | 13,3 | 13,6 | 13,6 | 13,8 | 14,1 | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 14,6 | 14,0 | 13,7 | 13,7 | 14,3 |
| Máxima | 15,6 | 15,7 | 15,8 | 15,0 | 16,2 | 15,5 | 16,1 | 16,1 | 16,2 | 15,8 | 15,9 | 15,2 | 15,2 |

CODIGO DE LA ESTACIÓN: M1094
NOMBRE DE LA ESTACIÓN: Tomalón-Tabacundo
TIPO DE ESTACIÓN: Agrometeorológica (AP)
PROVINCIA: Pichincha (17)

LATITUD: 0°2'0"N
LONGITUD: 78°14'0"W
ELEVACIÓN: 2790 m.s.n.m.
PROPIETARIO: INAMHI

TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL (°C)

| AÑOS | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 2002 | 23,1 | 21,9 | 21,6 | 20,9 | 21,5 | 20,1 | 22,1 | 21,4 | 22,9 | 21,6 | 20,7 | 21,7 | 21,6 |
| 2003 | 22,6 | 22,4 | 21,0 | 21,5 | 21,9 | 20,9 | 21,4 | 22,2 | 22,6 | 22,3 | 22,4 | 21,7 | 21,9 |
| 2004 | 22,5 | 22,4 | 23,3 | 21,9 | 21,1 | 20,9 | 21,4 | 21,9 | 22,0 | 22,4 | 23,1 | 22,3 | 22,1 |
| 2005 | 22,6 | 21,8 | 20,5 | 21,7 | 22,2 | 21,9 | 22,0 | 22,7 | 23,1 | 22,9 | 23,5 | 20,7 | 22,1 |
| 2006 | 21,0 | 21,5 | 21,3 | 21,4 | 22,1 | 21,0 | 21,8 | 22,7 | 23,2 | 23,0 | 20,5 | 21,5 | 21,8 |
| 2007 | 23,1 | 22,6 | 21,6 | 20,6 | 21,8 | 21,0 | 22,9 | 22,7 | 22,6 | 22,3 | 21,6 | 20,2 | 21,9 |
| 2008 | 22,0 | 20,3 | 20,0 | 20,3 | 20,5 | 21,4 | 21,2 | 21,8 | 22,8 | 21,5 | 22,4 | 22,1 | 21,4 |
| 2009 | 20,4 | 20,3 | 22,0 | 21,8 | 22,3 | 21,6 | 22,0 | 22,4 | 23,1 | 24,1 | 24,8 | 23,3 | 22,3 |
| 2010 | 23,4 | 23,3 | 23,6 | 22,3 | 23,3 | 21,0 | 21,4 | 21,8 | 22,6 | 22,3 | 21,2 | 20,2 | 22,2 |
| 2011 | 21,4 | 21,3 | 21,0 | 20,3 | 22,1 | 21,4 | 20,6 | 22,1 | 22,5 | 22,5 | 23,5 | 21,4 | 21,7 |
| 2012 | 20,3 | 20,4 | 22,5 | 21,6 | 21,5 | 22,4 | 22,6 | 22,6 | 23,0 | 22,8 | 22,5 | 22,6 | 22,1 |
| Media | 22,0 | 21,7 | 21,7 | 21,3 | 21,8 | 21,2 | 21,8 | 22,2 | 22,8 | 22,5 | 22,4 | 21,6 | 21,9 |
| Mínima | 20,3 | 20,3 | 20,0 | 20,3 | 20,5 | 20,1 | 20,6 | 21,4 | 22,0 | 21,5 | 20,5 | 20,2 | 21,4 |
| Máxima | 23,4 | 23,3 | 23,6 | 22,3 | 23,3 | 22,4 | 22,9 | 22,7 | 23,2 | 24,1 | 24,8 | 23,3 | 22,3 |

CODIGO DE LA ESTACIÓN: M1094
NOMBRE DE LA ESTACIÓN: Tomalón-Tabacundo
TIPO DE ESTACIÓN: Agrometeorológica (AP)
PROVINCIA: Pichincha (17)

LATITUD: 0°2'0"N
LONGITUD: 78°14'0"W
ELEVACIÓN: 2790 m.s.n.m.
PROPIETARIO: INAMHI

TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL (°C)

| AÑOS | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|---------------|-----|-----|------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2002 | 8,7 | 9,3 | 10 | 9,5 | 10,5 | 10,4 | 9,5 | 9,8 | 8,6 | 9,9 | 9,5 | 9,2 | 9,6 |
| 2003 | 8,7 | 9,7 | 8,9 | 9,4 | 8,7 | 8,5 | 8,7 | 9,0 | 8,5 | 8,2 | 8,2 | 8,7 | 8,8 |
| 2004 | 7,9 | 7,7 | 9,6 | 9,3 | 9,3 | 9,4 | 8,0 | 9,6 | 8,5 | 8,7 | 9,4 | 8,6 | 8,8 |
| 2005 | 8,5 | 9,8 | 9,7 | 9,3 | 8,8 | 8,8 | 9,4 | 9,4 | 9,1 | 8,8 | 8,6 | 8,4 | 9,1 |
| 2006 | 8,9 | 9,3 | 9,3 | 9,2 | 9,2 | 9,6 | 9,8 | 9,5 | 8,3 | 8,5 | 8,3 | 8,7 | 9,1 |
| 2007 | 9,2 | 8,4 | 8,8 | 9,1 | 9,8 | 9,2 | 9,0 | 8,5 | 9,2 | 8,8 | 8,4 | 8,1 | 8,9 |
| 2008 | 8,7 | 8,4 | 8,7 | 9,4 | 9,1 | 8,3 | 8,4 | 8,3 | 8,8 | 8,2 | 8,7 | 9,1 | 8,7 |
| 2009 | 9,1 | 8,8 | 8,9 | 8,9 | 7,8 | 8,5 | 9,0 | 8,6 | 9,6 | 8,8 | 8,3 | 8,8 | 8,8 |
| 2010 | 8,8 | 9,9 | 9,4 | 9,8 | 10,1 | 9,2 | 8,5 | 8,0 | 8,0 | 8,7 | 9,2 | 9,1 | 9,1 |
| 2011 | 8,1 | 9,3 | 8,7 | 9,2 | 8,8 | 8,2 | 8,4 | 8,2 | 8,6 | 7,7 | 7,6 | 8,7 | 8,5 |
| 2012 | 8,6 | 9,4 | 9,6 | 8,9 | 9,0 | 9,1 | 10,2 | 9,1 | 9,8 | 8,9 | 9,5 | 8,7 | 9,2 |
| Media | 8,7 | 9,1 | 9,2 | 9,3 | 9,2 | 9,0 | 9,0 | 8,9 | 8,8 | 8,7 | 8,7 | 8,7 | 9,0 |
| Mínima | 7,9 | 7,7 | 8,7 | 8,9 | 7,8 | 8,2 | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 7,7 | 7,6 | 8,1 | 8,5 |
| Máxima | 9,2 | 9,9 | 10,0 | 9,8 | 10,5 | 10,4 | 10,2 | 9,8 | 9,8 | 9,9 | 9,5 | 9,2 | 9,6 |

CODIGO DE LA ESTACIÓN: M1094
NOMBRE DE LA ESTACIÓN: Tomalón-Tabacundo
TIPO DE ESTACIÓN: Agrometeorológica (AP)
PROVINCIA: Pichincha (17)

LATITUD: 0°2'0"N
LONGITUD: 78°14'0"W
ELEVACIÓN: 2790 m.s.n.m.
PROPIETARIO: INAMHI

HUMEDAD RELATIVA (%)

| AÑOS | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2002 | 68 | 72 | 76 | 80 | 67 | 62 | 59 | 60 | 58 | 70 | 73 | 75 | 68 |
| 2003 | 66 | 71 | 71 | 73 | 70 | 68 | 57 | 54 | 64 | 75 | 72 | 71 | 68 |
| 2004 | 69 | 68 | 63 | 73 | 73 | 53 | 60 | 48 | 60 | 71 | 72 | 73 | 65 |
| 2005 | 69 | 76 | 74 | 69 | 63 | 58 | 50 | 49 | 50 | 64 | 67 | 75 | 64 |
| 2006 | 71 | 73 | 71 | 70 | 62 | 57 | 44 | 46 | 50 | 60 | 74 | 72 | 63 |
| 2007 | 70 | 72 | 70 | 74 | 66 | 61 | 56 | 53 | 54 | 67 | 71 | 73 | 66 |
| 2008 | 70 | 75 | 77 | 77 | 74 | 66 | 59 | 61 | 54 | 71 | 71 | 72 | 69 |
| 2009 | 79 | 76 | 72 | 67 | 64 | 57 | 50 | 50 | 41 | 59 | 60 | 70 | 62 |
| 2010 | 56 | 62 | 60 | 76 | 60 | 60 | 63 | 50 | 58 | 62 | 76 | 77 | 63 |
| 2011 | 70 | 74 | 71 | 77 | 63 | 62 | 62 | 52 | 53 | 67 | 65 | 74 | 66 |
| 2012 | 78 | 74 | 62 | 74 | 67 | 64 | 59 | 61 | 56 | 71 | 81 | 73 | 68 |
| Media | 70 | 72 | 70 | 74 | 66 | 61 | 56 | 53 | 54 | 67 | 71 | 73 | 66 |
| Mínima | 56 | 62 | 60 | 67 | 60 | 53 | 44 | 46 | 41 | 59 | 60 | 70 | 62 |
| Máxima | 79 | 76 | 77 | 80 | 74 | 68 | 63 | 61 | 64 | 75 | 81 | 77 | 69 |

CODIGO DE LA ESTACIÓN: M1094
NOMBRE DE LA ESTACIÓN: Tomalón-Tabacundo
TIPO DE ESTACIÓN: Agrometeorológica (AP)
PROVINCIA: Pichincha (17)

LATITUD: 0°2'0"N
LONGITUD: 78°14'0"W
ELEVACIÓN: 2790 m.s.n.m.
PROPIETARIO: INAMHI

VELOCIDAD DEL VIENTO (Km/h)

| AÑOS | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-------|
| 2002 | 5,9 | 4,6 | 3,8 | 3,2 | 6,9 | 12,2 | 10,4 | 15,2 | 9,3 | 6,9 | 4,9 | 6,4 | 7 |
| 2003 | 6,5 | 5,8 | 4,6 | 4,7 | 5,3 | 5,5 | 11,5 | 12,2 | 7,5 | 4,7 | 4,0 | 5,0 | 6 |
| 2004 | 5,6 | 4,7 | 6,6 | 4,9 | 5,4 | 13,1 | 8,5 | 16,7 | 9,7 | 5,2 | 4,8 | 4,3 | 7 |
| 2005 | 4,9 | 4,8 | 4,0 | 5,0 | 6,1 | 7,3 | 12,4 | 12,0 | 11,3 | 4,7 | 4,9 | 3,5 | 7 |
| 2006 | 4,8 | 4,0 | 3,8 | 4,4 | 5,8 | 9,0 | 13,2 | 12,8 | 8,7 | 5,9 | 3,6 | 4,1 | 7 |
| 2007 | 6,1 | 6,9 | 4,8 | 2,9 | 3,7 | 7,2 | 9,4 | 8,1 | 11,5 | 4,0 | 4,2 | 3,7 | 6 |
| 2008 | 4,6 | 3,8 | 3,3 | 3,6 | 3,7 | 4,3 | 4,5 | 4,0 | 8,9 | 2,6 | 3,7 | 2,5 | 4 |
| 2009 | 1,9 | 2,1 | 2,6 | 2,9 | 3,2 | 4,5 | 7,8 | 7,2 | 9,2 | 4,1 | 3,8 | 2,8 | 4 |
| 2010 | 5,3 | 4,7 | 3,8 | 2,6 | 3,1 | 4,6 | 3,2 | 6,9 | 4,8 | 4,7 | 2,3 | 2,2 | 4 |
| 2011 | 2,6 | 2,5 | 4,2 | 1,9 | 3,4 | 4,3 | 5,7 | 7,6 | 6,6 | 2,8 | 2,9 | 2,4 | 4 |
| 2012 | 2,0 | 1,9 | 4,2 | 1,8 | 3,7 | 5,5 | 22,1 | 8,1 | 10,0 | 3,4 | 2,0 | 3,1 | 6 |
| Media | 4,6 | 4,2 | 4,2 | 3,4 | 4,6 | 7,0 | 9,9 | 10,1 | 8,9 | 4,5 | 3,7 | 3,6 | 6 |
| Mínima | 1,9 | 1,9 | 2,6 | 1,8 | 3,1 | 4,3 | 3,2 | 4,0 | 4,8 | 2,6 | 2,0 | 2,2 | 4 |
| Máxima | 6,5 | 6,9 | 6,6 | 5,0 | 6,9 | 13,1 | 22,1 | 16,7 | 11,5 | 6,9 | 4,9 | 6,4 | 7 |

CODIGO DE LA ESTACIÓN: M1094
NOMBRE DE LA ESTACIÓN: Tomalón-Tabacundo
TIPO DE ESTACIÓN: Agrometeorológica (AP)
PROVINCIA: Pichincha (17)

LATITUD: 0°2'0"N
LONGITUD: 78°14'0"W
ELEVACIÓN: 2790 m.s.n.m.
PROPIETARIO: INAMHI

HELIOFANÍA (horas)

| AÑOS | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2002 | 227,5 | 153,1 | 129,2 | 148,7 | 183,8 | 231,0 | 245,4 | 271,0 | 244,0 | 192,9 | 154,0 | 170,4 | 195,9 |
| 2003 | 212,1 | 170,3 | 128,4 | 179,7 | 183,4 | 153,0 | 263,0 | 250,0 | 196,0 | 182,6 | 174,1 | 163,2 | 188,0 |
| 2004 | 251,2 | 160,2 | 186,8 | 151,2 | 184,4 | 229,0 | 192,8 | 288,0 | 189,0 | 183,2 | 172,7 | 200,1 | 199,0 |
| 2005 | 187,6 | 148,2 | 115,5 | 137,5 | 194,2 | 173,0 | 240,4 | 261,0 | 217,0 | 144,4 | 196,6 | 123,0 | 178,2 |
| 2006 | 141,0 | 144,2 | 138,7 | 148,0 | 200,8 | 210,0 | 252,8 | 240,0 | 188,0 | 185,2 | 136,8 | 161,8 | 178,9 |
| 2007 | 199,5 | 216,1 | 124,6 | 109,1 | 150,7 | 171,0 | 237,5 | 209,0 | 181,0 | 142,6 | 161,2 | 141,0 | 170,3 |
| 2008 | 147,2 | 131,2 | 125,0 | 157,1 | 140,8 | 183,0 | 170,0 | 162,0 | 171,0 | 146,2 | 152,2 | 159,8 | 153,9 |
| 2009 | 103,3 | 118,5 | 144,3 | 146,5 | 182,5 | 177,0 | 209,9 | 209,0 | 239,0 | 197,8 | 203,6 | 183,6 | 176,2 |
| 2010 | 225,9 | 163,0 | 157,3 | 135,6 | 183,3 | 162,0 | 188,4 | 228,0 | 176,0 | 195,8 | 104,4 | 115,5 | 169,5 |
| 2011 | 200,0 | 120,6 | 162,5 | 127,6 | 223,7 | 188,0 | 193,6 | 265,0 | 202,0 | 175,6 | 192,5 | 157,5 | 184,0 |
| 2012 | 123,6 | 98,8 | 163,0 | 140,8 | 167,7 | 219,0 | 254,5 | 252,0 | 262,0 | 162,8 | 156,0 | 188,7 | 182,4 |
| Media | 183,5 | 147,7 | 143,2 | 143,8 | 181,4 | 190,5 | 222,6 | 239,5 | 205,8 | 173,6 | 164,0 | 160,4 | 180,0 |
| Mínima | 103,3 | 98,8 | 115,5 | 109,1 | 140,8 | 153,3 | 170,0 | 162,2 | 171,1 | 142,6 | 104,4 | 115,5 | 154,0 |
| Máxima | 251,2 | 216,1 | 186,8 | 179,7 | 223,7 | 230,8 | 263,0 | 288,1 | 261,7 | 197,8 | 203,6 | 200,1 | 199,0 |

CODIGO DE LA ESTACIÓN: M1094
NOMBRE DE LA ESTACIÓN: Tomalón-Tabacundo
TIPO DE ESTACIÓN: Agrometeorológica (AP)
PROVINCIA: Pichincha (17)

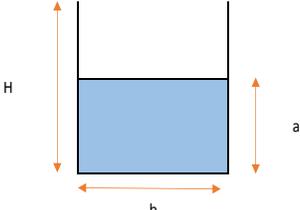
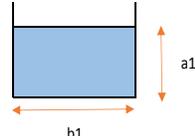
LATITUD: 0°2'0"N
LONGITUD: 78°14'0"W
ELEVACIÓN: 2790 m.s.n.m.
PROPIETARIO: INAMHI

EVAPORACIÓN (mm)

| AÑOS | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2002 | 162,8 | 116,4 | 110,7 | 97,2 | 160,9 | 190,0 | 209,9 | 181,0 | 190,0 | 158,6 | 125,2 | 111,0 | 151,1 |
| 2003 | 135,3 | 120,8 | 109,5 | 110,2 | 117,4 | 102,0 | 178,9 | 152,0 | 133,0 | 113,7 | 98,9 | 117,7 | 124,0 |
| 2004 | 142,6 | 105,5 | 144,3 | 112,5 | 105,1 | 182,0 | 152,5 | 206,0 | 137,0 | 129,0 | 111,4 | 115,1 | 136,9 |
| 2005 | 133,3 | 108,7 | 95,7 | 97,8 | 120,2 | 146,0 | 174,1 | 164,0 | 187,0 | 106,6 | 128,1 | 77,1 | 128,2 |
| 2006 | 95,2 | 76,4 | 83,9 | 79,7 | 98,0 | 114,0 | 169,5 | 133,0 | 121,0 | 110,0 | 75,2 | 85,0 | 103,4 |
| 2007 | 106,3 | 100,5 | 89,8 | 68,1 | 76,1 | 84,8 | 100,5 | 99,8 | 117,0 | 80,7 | 73,5 | 79,5 | 89,7 |
| 2008 | 109,9 | 75,1 | 71,9 | 66,5 | 68,5 | 77,8 | 92,5 | 90,8 | 131,0 | 69,0 | 92,4 | 86,5 | 86,0 |
| 2009 | 70,7 | 67,0 | 80,0 | 80,8 | 93,0 | 87,0 | 104,2 | 104,0 | 111,0 | 88,1 | 87,9 | 83,4 | 88,1 |
| 2010 | 104,1 | 83,1 | 93,3 | 73,7 | 91,2 | 79,6 | 80,6 | 96,7 | 86,1 | 89,7 | 72,0 | 68,6 | 84,9 |
| 2011 | 83,5 | 67,5 | 76,9 | 61,8 | 90,7 | 95,7 | 115,3 | 149,0 | 115,0 | 87,1 | 79,0 | 78,8 | 91,7 |
| 2012 | 65,0 | 67,3 | 84,7 | 72,2 | 89,2 | 96,7 | 116,7 | 113,0 | 119,0 | 84,3 | 72,4 | 83,9 | 88,7 |
| Media | 109,9 | 89,8 | 94,6 | 83,7 | 100,9 | 114,2 | 135,9 | 135,3 | 131,4 | 101,5 | 92,4 | 89,7 | 107,0 |
| Mínima | 65,0 | 67,0 | 71,9 | 61,8 | 68,5 | 77,8 | 80,6 | 90,8 | 86,1 | 69,0 | 72,0 | 68,6 | 85,0 |
| Máxima | 162,8 | 120,8 | 144,3 | 112,5 | 160,9 | 190,3 | 209,9 | 206,1 | 189,9 | 158,6 | 128,1 | 117,7 | 151,0 |

Anexo 4: Aforo del caudal de la acequia Guanguilquí

| AFORO DE CAUDAL DE LA ACEQUIA GUANGUILQUI DE LA COMUNA "SAN VICENTE ALTO" (NOVIEMBRE, 2019) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------|---------------------|----------------|---|-------------------|-----------------------|---|-------------------------|--|--|--|--|--------|--|--|-------------------|--|--|
| Lugar | Canal Guanguilqui, comunidad "San Vicente Alto", Sector Cangahua, Cayambe | | | | | CANAL GUANGUILQUI REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL AFORO | | | | | | | | | | | | | | |
| Temporada | Verano | | Clima | Poco soleado | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fecha | Viernes 15 de noviembre del 2019 | | Hora | 13:00 pm a 15:00 pm | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Materiales | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Piola de 10m color azul | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Pelota de ping pong de 4cm de diámetro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Botellas de plástico de 1.5lt y 400 ml | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Flexómetro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Cronómetro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Clavos y estacas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Hoja de apuntes de datos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de Aforo | Método de aforo por flotador | | | | Altitud | 3568 | m.s.n.m | | | | | | | | | | | | | |
| Ancho de la seccion | 2,12 | m | | Área de la sección | | 0,35 | m ² | | | | | | | | | | | | | |
| Velocidad superficial | 1,071 | m/s | | Caudal (Q) | | 0,301 | m ³ /s | | | | | | | | | | | | | |
| Velocidad media | 0,893 | m/s | | | | 300,67 | lt/s | | | | | | | | | | | | | |
| Material | Diámetro/dimensión | Longitud de prueba | t ₁ | t ₂ | t ₃ | t ₄ | t ₅ | t _{promedio} | t _{real de aforo} | Tiempo para velocidad : | | | | | | | | | | |
| | cm | m | s | s | s | s | s | | | | | | | | | | | | | |
| Pelota de Espuma Flex | 12 | 10 | 8,92 | 9,97 | 9,58 | 9,32 | 9,4 | 9,438 | 9,34 | SUPERFICIAL | | | | | | | | | | |
| Pelota ping pong | 4 | 10 | 9,23 | 9,15 | 9,08 | 9,23 | 9,31 | 9,2 | | | | | | | | | | | | |
| Botella Plástica 1.5 lt | 16 | 10 | 9,22 | 9,35 | 9,27 | 9,42 | 9,45 | 9,342 | | | | | | | | | | | | |
| Botella Plástica Personal 400 ml | 7,5 | 10 | 8,91 | 9,1 | 9,79 | 9,90 | 9,17 | 9,374 | | | | | | | | | | | | |
| Botella Plástica Personal 400 ml | 7,5 | 10 | 11,25 | 10,94 | 11,06 | 11,26 | 11,45 | 11,192 | 11,192 | MEDIA | | | | | | | | | | |
| PARÁMETROS DEL CANAL GUANGUILQUI | | | | | | DETERMINACIÓN DEL CAUDAL (Q) EN LA ACEQUIA GUANGUILQUI | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>H = Profundidad del Canal Guanguilqui b = Ancho del Canal Guanguilqui a = Profundidad del espejo de agua del canal</p> | | | | | | PUNTO INICIAL DE AFORO 1-1 | | | Rugoso | | | Coeficiente adoptado en la acequia | | | Liso | | | | | |
| | | | | | | a (m) | | | 0,65 | | | 0,8 | | | 0,8 | | | | | |
| Izquierda | | | Centro | | | Derecha | | | CAUDAL (Q) con V _{sup} | | | CAUDAL (Q) con V _{med} | | | | | | | | |
| 0,14 | | | 0,17 | | | 0,14 | | | 0,301 | | | m ³ /s | | | | | | | | |
| b (m) | | | 2,18 | | | H (m) | | | 0,251 | | | m ³ /s | | | | | | | | |
| 2,12 | | | 1,04 | | | PUNTO MEDIO DE AFORO | | | DETERMINACIÓN DEL CAUDAL (Q) DE DOTACIÓN PARA EL SISTEMA DE RIEGO | | | SECCIÓN DE ENTRADA PARA CAPTACIÓN | | | | | | | | |
| H (m) | | | 0,15 | | | 0,19 | | | 0,16 | | | | | | | | | | | |
| b (m) | | | 2,06 | | | H (m) | | | a1 = | | | 0,25 | | | m | | | | | |
| 2,12 | | | 1,00 | | | PUNTO INICIAL DE AFORO 2-2 | | | b1 = | | | 0,08 | | | m | | | | | |
| H (m) | | | 0,20 | | | 0,20 | | | 0,14 | | | ÁREA ENTRADA CAPTACIÓN | | | 0,02 | | | m ² | | |
| 1,05 | | | 2,12 | | | H (m) | | | CAUDAL DE DOTACIÓN (Q) | | | Q | | | 0,0171 | | | m ³ /s | | |
| a _{prom} (m) | | | 0,17 | | | 1,12 | | | Q | | | 17,13 | | | lt/s | | | | | |
| ÁREA DEL ESPEJO DE AGUA EN EL CANAL (m ²) | | | 0,35 | | | DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD SUERFICIAL (V) | | | d = | | | Distancia de recorrido de la partícula en el tramo del aforamiento | | | 10 | | | m | | |
| 0,35 | | | t = | | | Tiempo en que se demora la partícula en transitar desde el punto 1-1 hasta el punto 2-2 | | | t = | | | 9,34 | | | seg | | | | | |
| V _{sup} = | | | 1,071 | | | m/s | | | V _{sup} = | | | 1,071 | | | m/s | | | | | |
| V _{med} = | | | 0,893 | | | m/s | | | V _{med} = | | | 0,893 | | | m/s | | | | | |

| AFORO DE CAUDAL DE LA ACEQUIA GUANGUILQUI DE LA COMUNA "SAN VICENTE ALTO" (DICIEMBRE, 2019) | | | | | | | | | | | |
|--|---|--------------------|----------------|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|--|------------------------|--|
| Lugar | Canal Guanguilqui, comunidad "San Vicente Alto", Sector Cangahua, Cayambe | | | | | | | | CANAL GUANGUILQUI REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL AFORO | | |
| Temporada | Verano | | | | Clima | Poco soleado | | | | | |
| Fecha | Miércoles, 4 de diciembre del 2019 | | | | Hora | 13:00 pm a 15:00 pm | | | | | |
| Materiales | | | | | | | | | | | |
| 1 | Piola de 10m color azul | | | | | | | | | | |
| 2 | Pelota de ping pong de 4cm de diámetro | | | | | | | | | | |
| 3 | Botellas de plástico de 1.5lt y 400 ml | | | | | | | | | | |
| 4 | Flexómetro | | | | | | | | | | |
| 5 | Cronómetro | | | | | | | | | | |
| 6 | Clavos y estacas | | | | | | | | | | |
| 7 | Hoja de apuntes de datos | | | | | | | | | | |
| Tipo de Aforo | Método de aforo por flotador | | | | Altitud | 3568 | m.s.n.m | | | | |
| Ancho de la sección | 2,12 | m | | Área de la sección | 0,35 | | m ² | | | | |
| Velocidad superficial | 1,217 | m/s | | Caudal (Q) | 0,342 | | m ³ /s | | | | |
| Velocidad media | 0,893 | m/s | | | 341,73 | | lt/s | | | | |
| Material | Diámetro/dimensión | Longitud de prueba | t ₁ | t ₂ | t ₃ | t ₄ | t ₅ | t _{promedio} | t _{real de aforo} | Tempo para velocidad : | |
| | cm | m | s | s | s | s | s | s | s | | |
| Pelota de Espuma Flex | 12 | 10 | 8,02 | 8,19 | 8,27 | 8,32 | 8,25 | 8,21 | 8,22 | SUPERFICIAL | |
| Pelota ping pong | 4 | 10 | 8,23 | 8,19 | 8,18 | 8,17 | 8,33 | 8,22 | | | |
| Botella Plástica 1.5 lt | 16 | 10 | 8,21 | 8,32 | 8,17 | 8,22 | 8,29 | 8,242 | | | |
| Botella Plástica Personal 400 ml | 7,5 | 10 | 8,32 | 8,13 | 8,19 | 8,21 | 8,12 | 8,194 | | | |
| Botella Plástica Personal 400 ml (Hood de agua) | 7,5 | 10 | 11,25 | 10,94 | 11,06 | 11,26 | 11,45 | 11,192 | 11,192 | MEDIA | |
| PARÁMETROS DEL CANAL GUANGUILQUI | | | | | | | | | | | |
|  <p>H = Profundidad del Canal Guanguilqui b = Ancho del Canal Guanguilqui a = Profundidad del espejo de agua del canal</p> | | | | | | | | | | | |
| DATOS PROMEDIO DEL AFORO | | | | | | | | | | | |
| a (m) | | | | | | | | | | | |
| Izquierda Centro Derecha | | | | | | | | | | | |
| 0,16 0,19 0,15 | | | | | | | | | | | |
| b (m) | | | | | | | | | | | |
| 2,12 | | | | | | | | | | | |
| H (m) | | | | | | | | | | | |
| 1,05 | | | | | | | | | | | |
| a _{prom} (m) | | | | | | | | | | | |
| 0,17 | | | | | | | | | | | |
| ÁREA DEL ESPEJO DE AGUA EN EL CANAL (m ²) | | | | | | | | | | | |
| 0,35 | | | | | | | | | | | |
| PUNTO INICIAL DE AFORO 1-1 | | | | | | | | | | | |
| a (m) | | | | | | | | | | | |
| Izquierda Centro Derecha | | | | | | | | | | | |
| 0,14 0,17 0,14 | | | | | | | | | | | |
| b (m) | | | | | | | | | | | |
| 2,18 | | | | | | | | | | | |
| H (m) | | | | | | | | | | | |
| 1,04 | | | | | | | | | | | |
| PUNTO MEDIO DE AFORO | | | | | | | | | | | |
| a (m) | | | | | | | | | | | |
| Izquierda Centro Derecha | | | | | | | | | | | |
| 0,15 0,19 0,16 | | | | | | | | | | | |
| b (m) | | | | | | | | | | | |
| 2,06 | | | | | | | | | | | |
| H (m) | | | | | | | | | | | |
| 1,00 | | | | | | | | | | | |
| PUNTO INICIAL DE AFORO 2-2 | | | | | | | | | | | |
| a (m) | | | | | | | | | | | |
| Izquierda Centro Derecha | | | | | | | | | | | |
| 0,20 0,20 0,14 | | | | | | | | | | | |
| b (m) | | | | | | | | | | | |
| 2,12 | | | | | | | | | | | |
| H (m) | | | | | | | | | | | |
| 1,12 | | | | | | | | | | | |
| DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD SUERFICIAL (V) | | | | | | | | | | | |
| d = | Distancia de recorrido de la partícula en el tramo del aforamiento | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | m | | | | | | |
| t = | Tiempo en que se demora la partícula en transitar desde el punto 1-1 hasta el punto 2-2 | | | | | | | | | | |
| | 8,22 | | | | seg | | | | | | |
| V _{sup} = | 1,217 | | | | m/s | | | | | | |
| V _{med} = | 0,893 | | | | m/s | | | | | | |
| DETERMINACIÓN DEL CAUDAL (Q) EN LA ACEQUIA GUANGUILQUI | | | | | | | | | | | |
| Coeficiente de fricción del suelo en el canal | | | | | | | | | | | |
| Rugoso | Coeficiente adoptado en la acequia | | | | Liso | | | | | | |
| 0,65 | 0,8 | | | | 0,8 | | | | | | |
| CAUDAL (Q) con V _{sup} | | | | | | | | | | | |
| 0,342 | | | | m ³ /s | | | | | | | |
| CAUDAL (Q) con V _{med} | | | | | | | | | | | |
| 0,251 | | | | m ³ /s | | | | | | | |
| DETERMINACIÓN DEL CAUDAL (Q) DE DOTACIÓN PARA EL SISTEMA DE RIEGO | | | | | | | | | | | |
| SECCIÓN DE ENTRADA PARA CAPTACIÓN | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | |
| a1 = | 0,25 | | | | m | | | | | | |
| b1 = | 0,08 | | | | m | | | | | | |
| ÁREA ENTRADA CAPTACIÓN | | | | | | | | | | | |
| 0,02 | | | | m ² | | | | | | | |
| CAUDAL DE DOTACIÓN (Q) | | | | | | | | | | | |
| Q | 0,0195 | | | | m ³ /s | | | | | | |
| Q | 19,47 | | | | lt/s | | | | | | |

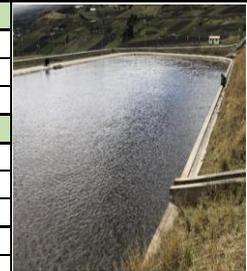
| AFORO DE CAUDAL DE LA ACEQUIA GUANGUILQUI DE LA COMUNA "SAN VICENTE ALTO" (ENERO, 2020) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--------------------|--|---------------------|----------------|--|----------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|--|-----------|--------|---------|------|------|------|-------|--|--|------|--|--|-------|--|--|------|--|--|--|--|--|----------------------|--|--|-------|--|--|-----------|--------|---------|------|------|------|-------|--|--|------|--|--|-------|--|--|------|--|--|--|--|--|----------------------------|--|--|-------|--|--|-----------|--------|---------|------|------|------|-------|--|--|------|--|--|-------|--|--|------|--|--|
| Lugar | Canal Guanguilqui, comunidad "San Vicente Alto", Sector Cangahua, Cayambe | | | | | CANAL GUANGUILQUI REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL AFORO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temporada | Verano | | Clima | Poco soleado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fecha | Martes, 28 de enero de 2020 | | Hora | 13:00 pm a 15:00 pm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Materiales | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Piola de 10m color azul | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Pelota de ping pong de 4cm de diámetro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Botellas de plástico de 1.5lt y 400 ml | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Flexómetro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Cronómetro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Clavos y estacas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Hoja de apuntes de datos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de Aforo | Método de aforo por flotador | | | | Altitud | 3568 | m.s.n.m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ancho de la sección | 2,12 | m | | Área de la sección | | 0,35 | m² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Velocidad superficial | 0,879 | m/s | | Caudal (Q) | | 0,247 | m³/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Velocidad media | 0,659 | m/s | | | | 246,87 | lt/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Material | Diámetro/dimensión | Longitud de prueba | t ₁ | t ₂ | t ₃ | t ₄ | t ₅ | t _{promedio} | t _{real de aforo} | Tiempo para velocidad : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | cm | m | s | s | s | s | s | s | s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pelota de Espuma Flex | 12 | 10 | 10,55 | 10,32 | 10,78 | 10,92 | 10,59 | 10,632 | 11,37 | SUPERFICIAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pelota ping pong | 4 | 10 | 11,34 | 10,82 | 11,15 | 10,95 | 11,21 | 11,094 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Botella Plástica 1.5 lt | 16 | 10 | 10,74 | 10,65 | 10,89 | 10,76 | 11,03 | 10,814 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Botella Plástica Personal 400 ml | 7,5 | 10 | 12,87 | 12,84 | 13,12 | 13,16 | 12,78 | 12,954 | MEDIA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Botella Plástica Personal 400 ml (Hood de agua) | 7,5 | 10 | 13,87 | 13,13 | 13,55 | 14,35 | 20,92 | 15,164 | | | | 15,164 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PARÁMETROS DEL CANAL GUANGUILQUI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>H = Profundidad del Canal Guanguilqui b = Ancho del Canal Guanguilqui a = Profundidad del espejo de agua del canal</p> | | | <table border="1"> <tr><th colspan="3">PUNTO INICIAL DE AFORO 1-1</th></tr> <tr><th colspan="3">a (m)</th></tr> <tr><td>Izquierda</td><td>Centro</td><td>Derecha</td></tr> <tr><td>0,14</td><td>0,17</td><td>0,14</td></tr> <tr><th colspan="3">b (m)</th></tr> <tr><td colspan="3">2,18</td></tr> <tr><th colspan="3">H (m)</th></tr> <tr><td colspan="3">1,04</td></tr> </table> | | | PUNTO INICIAL DE AFORO 1-1 | | | a (m) | | | Izquierda | Centro | Derecha | 0,14 | 0,17 | 0,14 | b (m) | | | 2,18 | | | H (m) | | | 1,04 | | | <table border="1"> <tr><th colspan="3">PUNTO MEDIO DE AFORO</th></tr> <tr><th colspan="3">a (m)</th></tr> <tr><td>Izquierda</td><td>Centro</td><td>Derecha</td></tr> <tr><td>0,15</td><td>0,19</td><td>0,16</td></tr> <tr><th colspan="3">b (m)</th></tr> <tr><td colspan="3">2,06</td></tr> <tr><th colspan="3">H (m)</th></tr> <tr><td colspan="3">1,00</td></tr> </table> | | | PUNTO MEDIO DE AFORO | | | a (m) | | | Izquierda | Centro | Derecha | 0,15 | 0,19 | 0,16 | b (m) | | | 2,06 | | | H (m) | | | 1,00 | | | <table border="1"> <tr><th colspan="3">PUNTO INICIAL DE AFORO 2-2</th></tr> <tr><th colspan="3">a (m)</th></tr> <tr><td>Izquierda</td><td>Centro</td><td>Derecha</td></tr> <tr><td>0,20</td><td>0,20</td><td>0,14</td></tr> <tr><th colspan="3">b (m)</th></tr> <tr><td colspan="3">2,12</td></tr> <tr><th colspan="3">H (m)</th></tr> <tr><td colspan="3">1,12</td></tr> </table> | | | PUNTO INICIAL DE AFORO 2-2 | | | a (m) | | | Izquierda | Centro | Derecha | 0,20 | 0,20 | 0,14 | b (m) | | | 2,12 | | | H (m) | | | 1,12 | | |
| PUNTO INICIAL DE AFORO 1-1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Izquierda | Centro | Derecha | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,14 | 0,17 | 0,14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,04 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PUNTO MEDIO DE AFORO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Izquierda | Centro | Derecha | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,15 | 0,19 | 0,16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,06 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PUNTO INICIAL DE AFORO 2-2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Izquierda | Centro | Derecha | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,20 | 0,20 | 0,14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DATOS PROMEDIO DEL AFORO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Izquierda | Centro | Derecha | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,16 | 0,19 | 0,15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a _{prom} (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ÁREA DEL ESPEJO DE AGUA EN EL CANAL (m²) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD SUERFICIAL (V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| d = | Distancia de recorrido de la partícula en el tramo del aforamiento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| t = | Tiempo en que se demora la partícula en transitar desde el punto 1-1 hasta el punto 2-2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 11,37 | | seg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| V _{sup} = | 0,879 | | m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| V _{med} = | 0,659 | | m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DETERMINACIÓN DEL CAUDAL (Q) EN LA ACEQUIA GUANGUILQUI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coeficiente de fricción del suelo en el canal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rugoso | Coeficiente adoptado en la acequia | | Liso | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,65 | 0,8 | | 0,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAUDAL (Q) con V _{sup} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,247 | | m³/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAUDAL (Q) con V _{med} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,185 | | m³/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DETERMINACIÓN DEL CAUDAL (Q) DE DOTACIÓN PARA EL SISTEMA DE RIEGO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SECCIÓN DE ENTRADA PARA CAPTACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a1 = | 0,25 | | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b1 = | 0,08 | | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ÁREA ENTRADA CAPTACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,02 | | m² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAUDAL DE DOTACIÓN (Q) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Q | 0,0141 | | m³/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Q | 14,07 | | lt/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| AFORO DE CAUDAL DE LA ACEQUIA GUANGUILQUI DE LA COMUNA "SAN VICENTE ALTO" (FEBRERO, 2020) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--------------------|-------|--|---------|--|--|-------|----------------|-----------------------|-------------------------|------|------|---|------|------|---|-------------------------------|--|--|--|------|----|-------------------------------|--|--|---|--------|------|---|-------|------|
| Lugar | Canal Guanguilqui, comunidad "San Vicente Alto", Sector Cangahua, Cayambe | | | | | CANAL GUANGUILQUI REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL AFORO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temporada | Verano | | Clima | Poco soleado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fecha | Sábado, 8 de febrero de 2020 | | Hora | 10:00 am a 13:00 pm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Materiales | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Piola de 10m color azul | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Pelota de ping pong de 4cm de diámetro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Botellas de plástico de 1.5lt y 400 ml | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Flexómetro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Cronómetro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Clavos y estacas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Hoja de apuntes de datos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de Aforo | Método de aforo por flotador | | | | Altitud | 3568 | m.s.n.m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ancho de la sección | 2,12 | m | | Área de la sección | | 0,35 | m² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Velocidad superficial | 0,936 | m/s | | Caudal (Q) | | 0,263 | m³/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Velocidad media | 0,851 | m/s | | | | 262,77 | lt/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Material | Diámetro/dimensión | Longitud de prueba | | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 | t_5 | $t_{promedio}$ | $t_{real\ de\ aforo}$ | Tiempo para velocidad : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | cm | m | | s | s | s | s | s | s | s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pelota de Espuma Flex | 12 | 10 | | 10,45 | 10,73 | 10,84 | 10,51 | 10,88 | 10,682 | 10,69 | SUPERFICIAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pelota ping pong | 4 | 10 | | 10,70 | 10,59 | 10,71 | 10,54 | 10,81 | 10,67 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Botella Plástica 1.5 lt | 16 | 10 | | 10,50 | 10,79 | 10,67 | 10,80 | 10,86 | 10,724 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Botella Plástica Personal 400 ml | 7,5 | 10 | | 10,83 | 10,53 | 10,76 | 10,73 | 10,48 | 10,666 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Botella Plástica Personal 400 ml (Hondaluma) | 7,5 | 10 | | 11,71 | 11,91 | 11,76 | 11,63 | 11,76 | 11,754 | 11,754 | MEDIA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PARÁMETROS DEL CANAL GUANGUILQUI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>H = Profundidad del Canal Guanguilqui b = Ancho del Canal Guanguilqui a = Profundidad del espejo de agua del canal</p> | | | | PUNTO INICIAL DE AFORO 1-1 a (m) Izquierda Centro Derecha 0,14 0,17 0,14 b (m) 2,18 H (m) 1,04 | | | PUNTO MEDIO DE AFORO a (m) Izquierda Centro Derecha 0,15 0,19 0,16 b (m) 2,06 H (m) 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DATOS PROMEDIO DEL AFORO a (m) Izquierda Centro Derecha 0,16 0,19 0,15 b (m) 2,12 H (m) 1,05 a_{prom} (m) 0,17 ÁREA DEL ESPEJO DE AGUA EN EL CANAL (m²) 0,35 | | | | PUNTO INICIAL DE AFORO 2-2 a (m) Izquierda Centro Derecha 0,20 0,20 0,14 b (m) 2,12 H (m) 1,12 | | | DETERMINACIÓN DEL CAUDAL (Q) EN LA ACEQUIA GUANGUILQUI Coefficiente de fricción del suelo en el canal Rugoso Coeficiente adoptado en la acequia Liso 0,65 0,8 0,8 CAUDAL (Q) con V_{sup} 0,263 m³/s CAUDAL (Q) con V_{med} 0,239 m³/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DETERMINACIÓN DEL CAUDAL (Q) DE DOTACIÓN PARA EL SISTEMA DE RIEGO SECCIÓN DE ENTRADA PARA CAPTACIÓN <table border="1"> <tr> <td>a1 =</td> <td>0,25</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>b1 =</td> <td>0,08</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td colspan="3">ÁREA ENTRADA CAPTACIÓN</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,02</td> <td>m²</td> </tr> <tr> <td colspan="3">CAUDAL DE DOTACIÓN (Q)</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>0,0150</td> <td>m³/s</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>14,97</td> <td>lt/s</td> </tr> </table> | | | | | | | | | | | | a1 = | 0,25 | m | b1 = | 0,08 | m | ÁREA ENTRADA CAPTACIÓN | | | | 0,02 | m² | CAUDAL DE DOTACIÓN (Q) | | | Q | 0,0150 | m³/s | Q | 14,97 | lt/s |
| a1 = | 0,25 | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b1 = | 0,08 | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ÁREA ENTRADA CAPTACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,02 | m² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAUDAL DE DOTACIÓN (Q) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Q | 0,0150 | m³/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Q | 14,97 | lt/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD SUERFICIAL (V) d = Distancia de recorrido de la partícula en el tramo del aforamiento 10 m t = Tiempo en que se demora la partícula en transitar desde el punto 1-1 hasta el punto 2-2 10,69 seg V_{sup} = 0,936 m/s V_{med} = 0,851 m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| AFORO DE CAUDAL DE LA ACEQUIA GUANGUILQUI DE LA COMUNA "SAN VICENTE ALTO" (MARZO, 2020) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--------------------|--|---------------------|-------------------|--|----------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|--|-----------|--------|---------|------|------|------|-------|--|--|------|--|--|-------|--|--|------|--|--|--|--|--|----------------------|--|--|-------|--|--|-----------|--------|---------|------|------|------|-------|--|--|------|--|--|-------|--|--|------|--|--|--|--|--|----------------------------|--|--|-------|--|--|-----------|--------|---------|------|------|------|-------|--|--|------|--|--|-------|--|--|------|--|--|
| Lugar | Canal Guanguilqui, comunidad "San Vicente Alto", Sector Cangahua, Cayambe | | | | | CANAL GUANGUILQUI REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL AFORO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temporada | Invierno | | Clima | Poco soleado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fecha | Sábado, 7 de marzo de 2020 | | Hora | 12:00 am a 14:00 pm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Materiales | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Piola de 10m color azul | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Pelota de ping pong de 4cm de diámetro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Botellas de plástico de 1.5lt y 400 ml | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Flexómetro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Cronómetro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Clavos y estacas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Hoja de apuntes de datos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de Aforo | Método de aforo por flotador | | | | Altitud | 3568 | m.s.n.m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ancho de la sección | 2,12 | m | Área de la sección | | 0,35 | m ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Velocidad superficial | 0,963 | m/s | Caudal (Q) | | 0,270 | m ³ /s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Velocidad media | 0,711 | m/s | | | 270,31 | lt/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Material | Diámetro/dimensión | Longitud de prueba | t ₁ | t ₂ | t ₃ | t ₄ | t ₅ | t _{promedio} | t _{real de aforo} | Tiempo para velocidad : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | cm | m | s | s | s | s | s | s | s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pelota de Espuma Flex | 12 | 10 | 10,11 | 10,19 | 10,23 | 10,13 | 10,27 | 10,186 | 10,39 | SUPERFICIAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pelota ping pong | 4 | 10 | 10,73 | 10,81 | 10,94 | 11,15 | 10,91 | 10,908 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Botella Plástica 1.5 lt | 16 | 10 | 10,31 | 10,26 | 10,22 | 10,31 | 10,25 | 10,27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Botella Plástica Personal 400 ml | 7,5 | 10 | 10,15 | 10,23 | 10,22 | 10,15 | 10,18 | 10,186 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Botella Plástica Personal 400 ml (Hacer de agua) | 7,5 | 10 | 13,98 | 14,29 | 14,09 | 14,12 | 13,86 | 14,068 | 14,068 | MEDIA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PARÁMETROS DEL CANAL GUANGUILQUI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>H = Profundidad del Canal Guanguilqui b = Ancho del Canal Guanguilqui a = Profundidad del espejo de agua del canal</p> | | | <table border="1"> <tr><th colspan="3">PUNTO INICIAL DE AFORO 1-1</th></tr> <tr><th colspan="3">a (m)</th></tr> <tr><td>Izquierda</td><td>Centro</td><td>Derecha</td></tr> <tr><td>0,14</td><td>0,17</td><td>0,14</td></tr> <tr><th colspan="3">b (m)</th></tr> <tr><td colspan="3">2,18</td></tr> <tr><th colspan="3">H (m)</th></tr> <tr><td colspan="3">1,04</td></tr> </table> | | | PUNTO INICIAL DE AFORO 1-1 | | | a (m) | | | Izquierda | Centro | Derecha | 0,14 | 0,17 | 0,14 | b (m) | | | 2,18 | | | H (m) | | | 1,04 | | | <table border="1"> <tr><th colspan="3">PUNTO MEDIO DE AFORO</th></tr> <tr><th colspan="3">a (m)</th></tr> <tr><td>Izquierda</td><td>Centro</td><td>Derecha</td></tr> <tr><td>0,15</td><td>0,19</td><td>0,16</td></tr> <tr><th colspan="3">b (m)</th></tr> <tr><td colspan="3">2,06</td></tr> <tr><th colspan="3">H (m)</th></tr> <tr><td colspan="3">1,00</td></tr> </table> | | | PUNTO MEDIO DE AFORO | | | a (m) | | | Izquierda | Centro | Derecha | 0,15 | 0,19 | 0,16 | b (m) | | | 2,06 | | | H (m) | | | 1,00 | | | <table border="1"> <tr><th colspan="3">PUNTO INICIAL DE AFORO 2-2</th></tr> <tr><th colspan="3">a (m)</th></tr> <tr><td>Izquierda</td><td>Centro</td><td>Derecha</td></tr> <tr><td>0,20</td><td>0,20</td><td>0,14</td></tr> <tr><th colspan="3">b (m)</th></tr> <tr><td colspan="3">2,12</td></tr> <tr><th colspan="3">H (m)</th></tr> <tr><td colspan="3">1,12</td></tr> </table> | | | PUNTO INICIAL DE AFORO 2-2 | | | a (m) | | | Izquierda | Centro | Derecha | 0,20 | 0,20 | 0,14 | b (m) | | | 2,12 | | | H (m) | | | 1,12 | | |
| PUNTO INICIAL DE AFORO 1-1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Izquierda | Centro | Derecha | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,14 | 0,17 | 0,14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,04 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PUNTO MEDIO DE AFORO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Izquierda | Centro | Derecha | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,15 | 0,19 | 0,16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,06 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PUNTO INICIAL DE AFORO 2-2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Izquierda | Centro | Derecha | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,20 | 0,20 | 0,14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DATOS PROMEDIO DEL AFORO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Izquierda | Centro | Derecha | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,16 | 0,19 | 0,15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a _{prom} (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ÁREA DEL ESPEJO DE AGUA EN EL CANAL (m ²) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD SUERFICIAL (V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| d = | Distancia de recorrido de la partícula en el tramo del aforamiento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| t = | Tiempo en que se demora la partícula en transitar desde el punto 1-1 hasta el punto 2-2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10,39 | | | | | seg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| V _{sup} = | 0,963 | | | | | m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| V _{med} = | 0,711 | | | | | m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DETERMINACIÓN DEL CAUDAL (Q) EN LA ACEQUIA GUANGUILQUI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coeficiente de fricción del suelo en el canal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rugoso | Coeficiente adoptado en la acequia | | | | Liso | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,65 | 0,8 | | | | 0,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAUDAL (Q) con V _{sup} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,270 | | | | | m ³ /s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAUDAL (Q) con V _{med} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,200 | | | | | m ³ /s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DETERMINACIÓN DEL CAUDAL (Q) DE DOTACIÓN PARA EL SISTEMA DE RIEGO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SECCIÓN DE ENTRADA PARA CAPTACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a1 = | 0,25 | | | | | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b1 = | 0,08 | | | | | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ÁREA ENTRADA CAPTACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,02 | | | | | m ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAUDAL DE DOTACIÓN (Q) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Q | 0,0154 | | | | | m ³ /s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Q | 15,40 | | | | | lt/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Anexo 5: Aforo del caudal de ingreso al reservorio del sistema de riego

| AFORO DE CAUDAL DEL RESERVOIRIO DE LA COMUNA "SAN VICENTE ALTO" (NOVIEMBRE, 2019) | | | | | | | | | | | |
|---|--|-------------------------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------------------|--|--|
| Lugar | Reservorio, comunidad "San Vicente Alto", Sector Cangahua, Cayambe | | | | | | | | | RESERVOIRIO REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL AFORO | |
| Temporada | Verano | Clima | Poco soleado | | | | | | | | |
| Fecha | Viernes, 15 de noviembre de 2019 | | Hora | 13:00 | | | | | | | |
| Materiales | | | | | | | | | | | |
| 1 | Un balde de plástico de 20lt | | | | | | | | | | |
| 2 | Cronómetro | | | | | | | | | | |
| 3 | Hoja de apuntes de datos | | | | | | | | | | |
| CAPACIDAD DEL RESERVOIRIO | | | | | | | | | | | |
| Área total | 405,00 | | | | m ² | | | | | | |
| Volumen total | 2748,00 | | | | m ³ | | | | | | |
| Tipo de Aforo | Método volumétrico directo | | | | Altitud : | 3510,3 | m.s.n.m | | | | |
| Material | Volumen | Longitud transversal del reservorio | t ₁ | t ₂ | t ₃ | t ₄ | t ₅ | t _{promedio} | t _{real de aforo} | | |
| | lt | m | s | s | s | s | s | | | | |
| Balde de plástico | 20 | 20,00 | 4,93 | 4,96 | 4,87 | 4,82 | 4,88 | 4,892 | 4,89 | | |
| CAUDAL DE ENTRADA AL RESERVOIRIO (Q) | | | | | | | | | | | |
| Q | 4,09 | | | | lt/s | | | | | | |
| Q | 0,0041 | | | | m ³ /s | | | | | | |



| AFORO DE CAUDAL DEL RESERVOIRIO DE LA COMUNA "SAN VICENTE ALTO" (DICIEMBRE, 2019) | | | | | | | | | | | |
|---|--|-------------------------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------------------|--|--|
| Lugar | Reservorio, comunidad "San Vicente Alto", Sector Cangahua, Cayambe | | | | | | | | | RESERVOIRIO REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL AFORO | |
| Temporada | Verano | Clima | Poco soleado | | | | | | | | |
| Fecha | Miércoles, 4 de diciembre de 2019 | | Hora | 13:00 | | | | | | | |
| Materiales | | | | | | | | | | | |
| 1 | Un balde de plástico de 20lt | | | | | | | | | | |
| 2 | Cronómetro | | | | | | | | | | |
| 3 | Hoja de apuntes de datos | | | | | | | | | | |
| CAPACIDAD DEL RESERVOIRIO | | | | | | | | | | | |
| Área total | 405,00 | | | | m ² | | | | | | |
| Volumen total | 2748,00 | | | | m ³ | | | | | | |
| Tipo de Aforo | Método volumétrico directo | | | | Altitud : | 3510,3 | m.s.n.m | | | | |
| Material | Volumen | Longitud transversal del reservorio | t ₁ | t ₂ | t ₃ | t ₄ | t ₅ | t _{promedio} | t _{real de aforo} | | |
| | lt | m | s | s | s | s | s | | | | |
| Balde de plástico | 20 | 20,00 | 4,42 | 4,47 | 4,53 | 4,56 | 4,42 | 4,48 | 4,48 | | |
| CAUDAL DE ENTRADA AL RESERVOIRIO (Q) | | | | | | | | | | | |
| Q | 4,46 | | | | lt/s | | | | | | |
| Q | 0,0045 | | | | m ³ /s | | | | | | |

| AFORO DE CAUDAL DEL RESERVOIRIO DE LA COMUNA "SAN VICENTE ALTO" (ENERO, 2020) | | | | | | | | | | | |
|---|--|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|---|--|
| Lugar | Reservorio, comunidad "San Vicente Alto", Sector Cangahua, Cayambe | | | | | | | | | RESERVOIRIO REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL AFORO | |
| Temporada | Verano | Clima | Poco soleado | | | | | | | | |
| Fecha | Martes, 28 de enero de 2020 | Hora | 13:00 | | | | | | | | |
| Materiales | | | | | | | | | |  | |
| 1 | Un balde de plástico de 20 lt | | | | | | | | | | |
| 2 | Cronómetro | | | | | | | | | | |
| 3 | Hoja de apuntes de datos | | | | | | | | | | |
| CAPACIDAD DEL RESERVOIRIO | | | | | | | | | | | |
| Área total | 405,00 | | | | | | | m ² | | | |
| Volumen total | 2748,00 | | | | | | | m ³ | | | |
| Tipo de Aforo | Método volumétrico directo | | | | | | Altitud : | 3510,3 | m.s.n.m | | |
| Material | Volumen | Longitud transversal del reservorio | t ₁ | t ₂ | t ₃ | t ₄ | t ₅ | t _{promedio} | t _{real de aforo} | | |
| | lt | m | s | s | s | s | s | | | | |
| Balde de plástico | 20 | 20,00 | 6,32 | 6,26 | 6,24 | 6,18 | 6,29 | 6,258 | 6,26 | | |
| CAUDAL DE ENTRADA AL RESERVOIRIO (Q) | | | | | | | | | | | |
| Q | 3,20 | | | | | | lt/s | | | | |
| Q | 0,0032 | | | | | | m ³ /s | | | | |

| AFORO DE CAUDAL DEL RESERVOIRIO DE LA COMUNA "SAN VICENTE ALTO" (FEBRERO, 2020) | | | | | | | | | | | |
|---|--|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|---|--|
| Lugar | Reservorio, comunidad "San Vicente Alto", Sector Cangahua, Cayambe | | | | | | | | | RESERVOIRIO REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL AFORO | |
| Temporada | Verano | Clima | Poco soleado | | | | | | | | |
| Fecha | Sábado, 8 de febrero de 2020 | Hora | 10:00 | | | | | | | | |
| Materiales | | | | | | | | | |  | |
| 1 | Un balde de plástico de 20 lt | | | | | | | | | | |
| 2 | Cronómetro | | | | | | | | | | |
| 3 | Hoja de apuntes de datos | | | | | | | | | | |
| CAPACIDAD DEL RESERVOIRIO | | | | | | | | | | | |
| Área total | 405,00 | | | | | | | m ² | | | |
| Volumen total | 2748,00 | | | | | | | m ³ | | | |
| Tipo de Aforo | Método volumétrico directo | | | | | | Altitud : | 3510,3 | m.s.n.m | | |
| Material | Volumen | Longitud transversal del reservorio | t ₁ | t ₂ | t ₃ | t ₄ | t ₅ | t _{promedio} | t _{real de aforo} | | |
| | lt | m | s | s | s | s | s | | | | |
| Balde de plástico | 20 | 20,00 | 6,09 | 6,06 | 5,97 | 6,06 | 6,04 | 6,044 | 6,04 | | |
| CAUDAL DE ENTRADA AL RESERVOIRIO (Q) | | | | | | | | | | | |
| Q | 3,31 | | | | | | lt/s | | | | |
| Q | 0,0033 | | | | | | m ³ /s | | | | |

| AFORO DE CAUDAL DEL RESERVORIO DE LA COMUNA "SAN VICENTE ALTO" (MARZO, 2020) | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-----------------------|---|--|--|
| Lugar | Reservorio, comunidad "San Vicente Alto", Sector Cangahua, Cayambe | | | | | | | | RESERVORIO REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL AFORO | | |
| Temporada | Invierno | Clima | Poco soleado | | | | | | | | |
| Fecha | Sábado, 7 de marzo de 2020 | | Hora | 12:00 | | | | | | | |
| Materiales | | | | | | | | | | | |
| 1 | Un balde de plástico de 20lt | | | | | | | | | | |
| 2 | Cronómetro | | | | | | | | | | |
| 3 | Hoja de apuntes de datos | | | | | | | | | | |
| CAPACIDAD DEL RESERVORIO | | | | | | | | | | | |
| Área total | 405,00 | | | | | | m ² | | | | |
| Volumen total | 2748,00 | | | | | | m ³ | | | | |
| Tipo de Aforo | Método volumétrico directo | | | | | Altitud : | 3510,3 | m.s.n.m | | | |
| Material | Volumen | Longitud transversal del reservorio | t ₁ | t ₂ | t ₃ | t ₄ | t ₅ | t _{promedio} | t _{real de aforo} | | |
| | lt | m | s | s | s | s | s | | | | |
| Balde de plástico | 20 | 20,00 | 6,04 | 5,96 | 5,91 | 6,02 | 5,89 | 5,964 | 5,96 | | |
| CAUDAL DE ENTRADA AL RESERVORIO (Q) | | | | | | | | | | | |
| Q | 3,35 | | | | | | lt/s | | | | |
| Q | 0,0034 | | | | | | m ³ /s | | | | |



Anexo 6: Hoja de cálculo para el diseño hidráulico de la línea de conducción principal y secundaria del sistema de riego

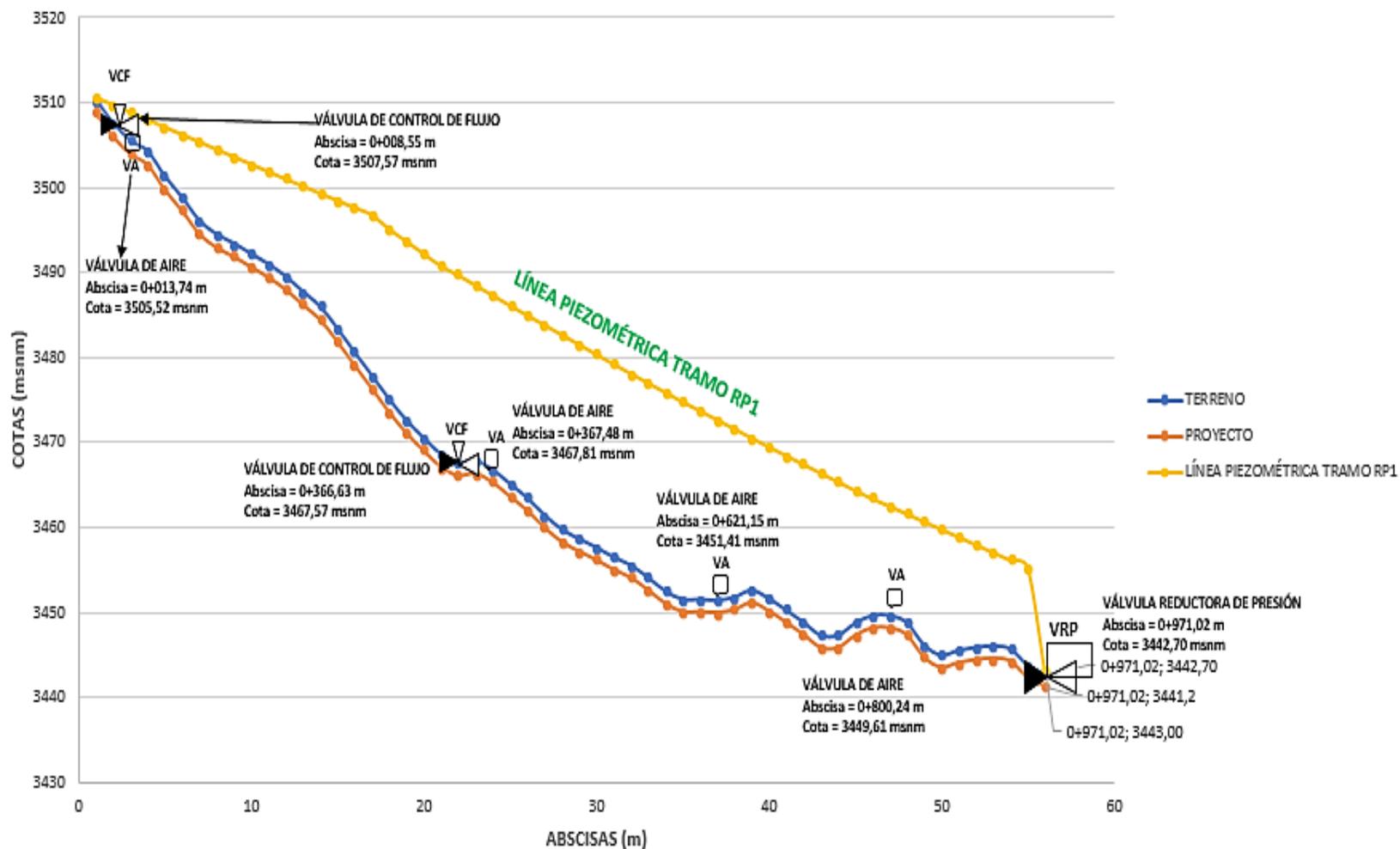
| ACCESORIOS | TRAMO | ABSCISADO | COTA DEL TERRENO | | LONGITUD | CAUDAL DE DISEÑO (Qd) | CAUDAL DE DISEÑO (Qd) | | |
|-----------------------|-------|-----------|------------------|------------|----------|-----------------------|-----------------------|--|-----------|
| | | | Cota Inicial | Cota Final | | | | Calculado | Calculado |
| | | | m.s.n.m | m.s.n.m | | | | m | lt/s |
| | | | | | | | | $\Phi_{tentativo} = 1,35 * \sqrt{Qd * 25,4}$ | |
| | | | | | | | | 1 | |
| | RP | 0+000 | 3510,31 | 3507,57 | 0,00 | 40,29 | 0,04029 | 217,65 | 0,218 |
| Válvula de Regulación | RP | 0+008,55 | 3507,57 | 3505,52 | 20,00 | 40,29 | 0,04029 | 217,65 | 0,218 |
| Válvula de Aire | RP | 0+013,74 | 3505,52 | 3504,24 | 20,00 | 40,29 | 0,04029 | 217,65 | 0,218 |
| | RP | 0+020 | 3504,24 | 3501,29 | 20,00 | 40,29 | 0,04029 | 217,65 | 0,218 |
| | RP | 0+040 | 3501,29 | 3498,8 | 20,00 | 40,29 | 0,04029 | 217,65 | 0,218 |
| | RP | 0+060 | 3498,80 | 3496,1 | 20,00 | 40,29 | 0,04029 | 217,65 | 0,218 |
| | RP | 0+080 | 3496,10 | 3494,46 | 20,00 | 40,29 | 0,04029 | 217,65 | 0,218 |

| hf | hs | Σhf | J | hf | PRESIÓN | | |
|--|------------------------------|-----------|---|---------------|--------------|--------------|-------------------------|
| | | | | | Cota Inicial | Cota Inicial | VERIFICACION DE PRESION |
| m.c.a | m.c.a | m.c.a | m/m | m.c.a | Mpa | | |
| $h_f = f \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$ | $h_s = K_s * \frac{V^2}{2g}$ | | $J = \left(\frac{Q_d}{0,28 * C * D_i^{2,63}} \right)^{1/0,54}$ | $h_f = J * L$ | | | |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | | |
| 0,0000 | 0,4086 | 0,0000 | 0,044966 | 0,0000 | 0 | 0,000 | PRESIÓN OK |
| 0,8730 | 0,0817 | 0,8730 | 0,044966 | 0,8993 | 2,74 | 0,027 | PRESIÓN OK |
| 0,8730 | #iREF! | 1,7460 | 0,044966 | 0,8993 | 4,79 | 0,047 | PRESIÓN OK |
| 0,8730 | 0 | 2,6190 | 0,044966 | 0,8993 | 6,07 | 0,060 | PRESIÓN OK |
| 0,8730 | 0 | 3,4919 | 0,044966 | 0,8993 | 9,02 | 0,088 | PRESIÓN OK |
| 0,8730 | 0 | 4,3649 | 0,044966 | 0,8993 | 11,51 | 0,113 | PRESIÓN OK |
| 0,8730 | 0 | 5,2379 | 0,044966 | 0,8993 | 14,21 | 0,139 | PRESIÓN OK |

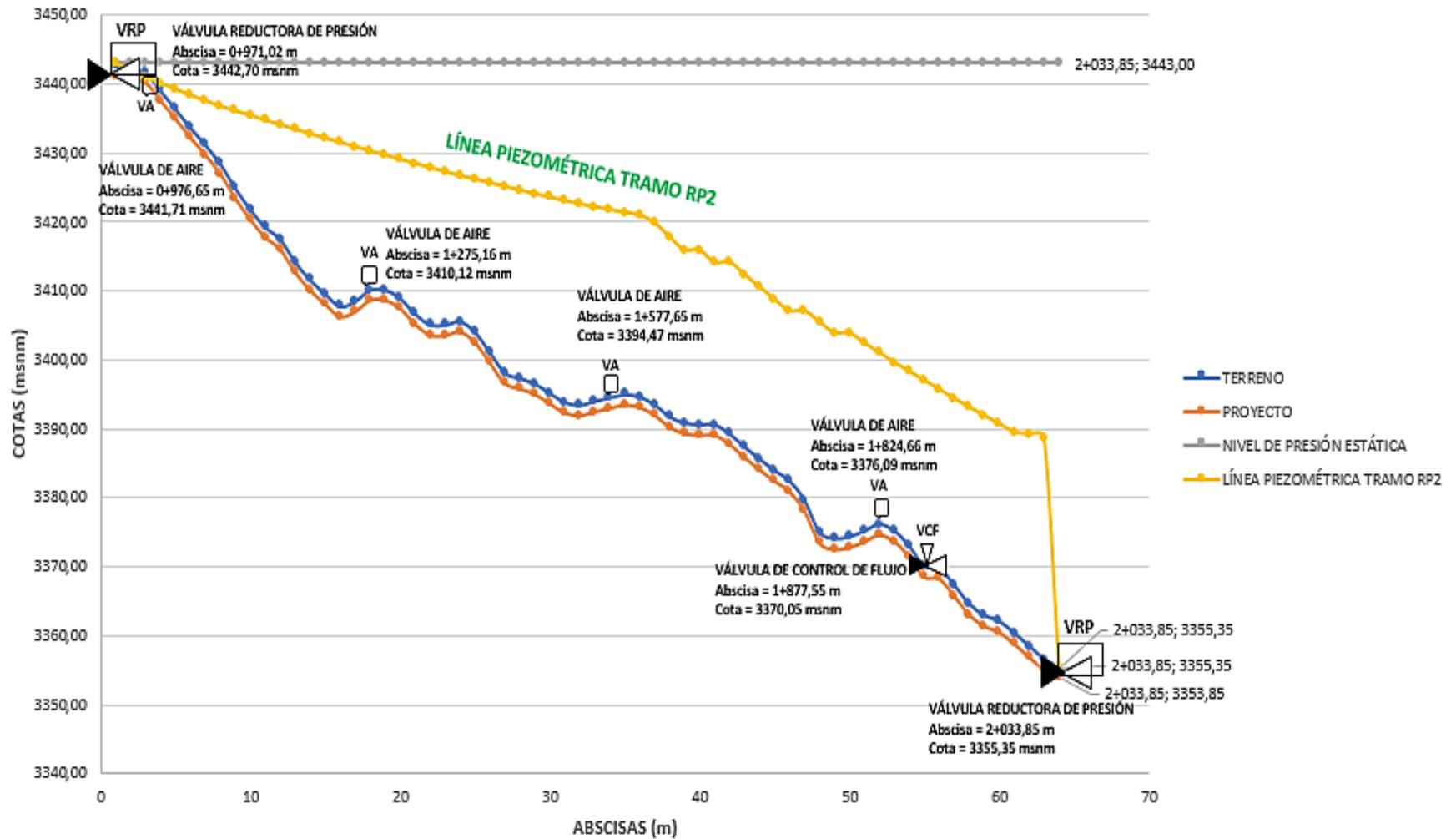
| ESTADICA | | PRESIÓN DINAMICA | | | | | | | COTA PIEZOMETRICA |
|------------|------------|-------------------------|--------------|--------------|-------------------------|------------|------------|-------------------------|-------------------|
| Cota Final | Cota Final | VERIFICACION DE PRESION | Cota Inicial | Cota Inicial | VERIFICACION DE PRESION | Cota Final | Cota Final | VERIFICACION DE PRESION | |
| m.c.a | Mpa | | m.c.a | Mpa | | m.c.a | Mpa | | m.s.n.m |
| | | | | | | | | | $CP = CPA - h_f$ |
| 14 | | | 15 | | | 16 | | | 17 |
| 2,74 | 0,027 | PRESIÓN OK | 0,0000 | 0,0000 | PRESIÓN OK | 2,3314 | 0,0229 | PRESIÓN OK | 3510,31 |
| 4,79 | 0,047 | PRESIÓN OK | 1,4584 | 0,0143 | PRESIÓN OK | 3,8353 | 0,0376 | PRESIÓN OK | 3506,70 |
| 6,07 | 0,060 | PRESIÓN OK | 2,9623 | 0,0290 | PRESIÓN OK | 4,2178 | 0,0414 | PRESIÓN OK | 3504,65 |
| 9,02 | 0,088 | PRESIÓN OK | 3,3448 | 0,0328 | PRESIÓN OK | 6,4010 | 0,0628 | PRESIÓN OK | 3503,37 |
| 11,51 | 0,113 | PRESIÓN OK | 5,5281 | 0,0542 | PRESIÓN OK | 8,0181 | 0,0786 | PRESIÓN OK | 3500,42 |
| 14,21 | 0,139 | PRESIÓN OK | 7,1451 | 0,0701 | PRESIÓN OK | 9,8451 | 0,0965 | PRESIÓN OK | 3497,93 |
| 15,85 | 0,155 | PRESIÓN OK | 8,9721 | 0,0880 | PRESIÓN OK | 10,6121 | 0,1041 | PRESIÓN OK | 3495,23 |

Anexo 7: Trazado de la línea piezométrica en la línea de conducción principal y secundaria del sistema de riego

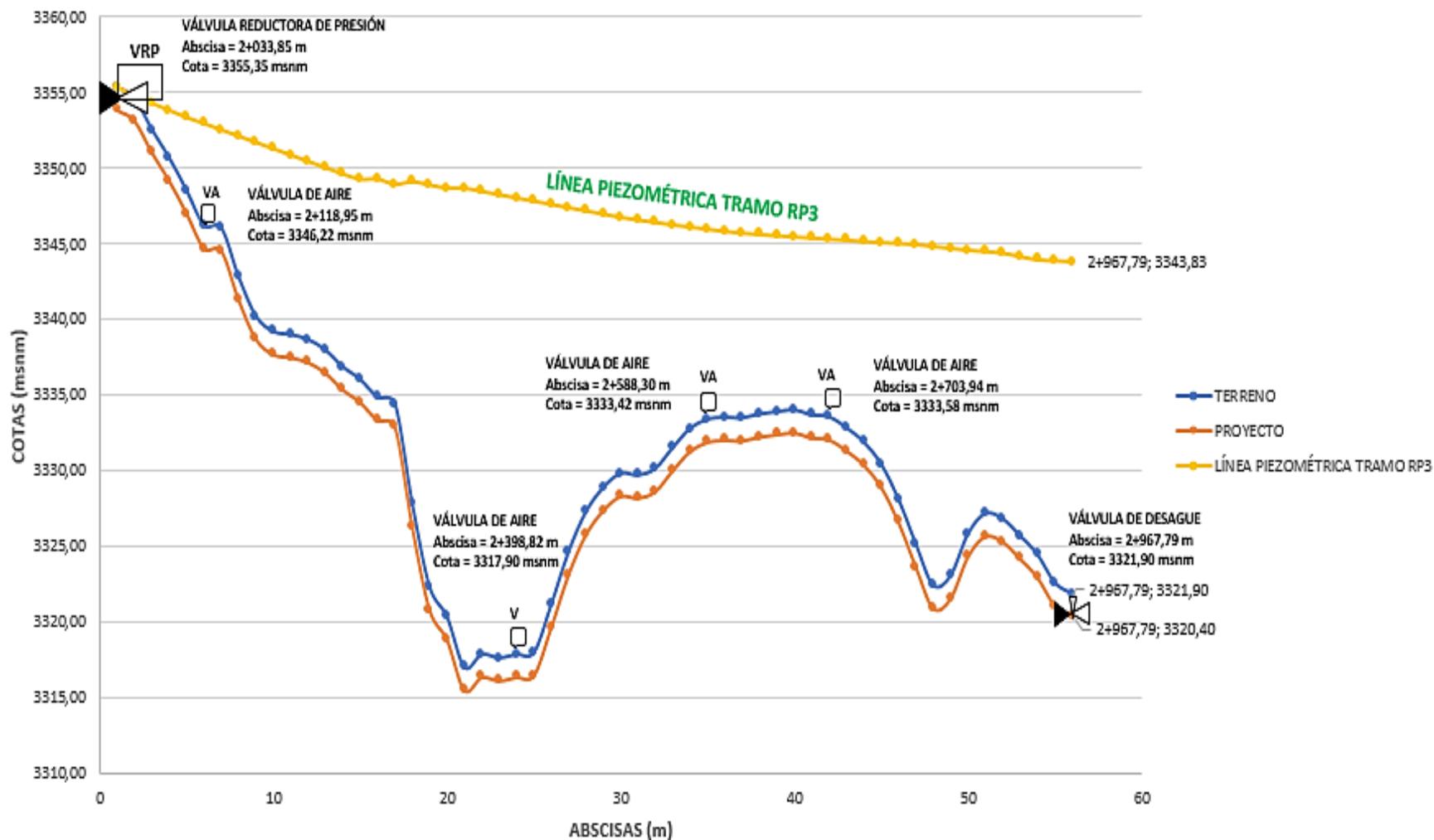
LÍNEA PIEZOMÉTRICA TRAMO RP1



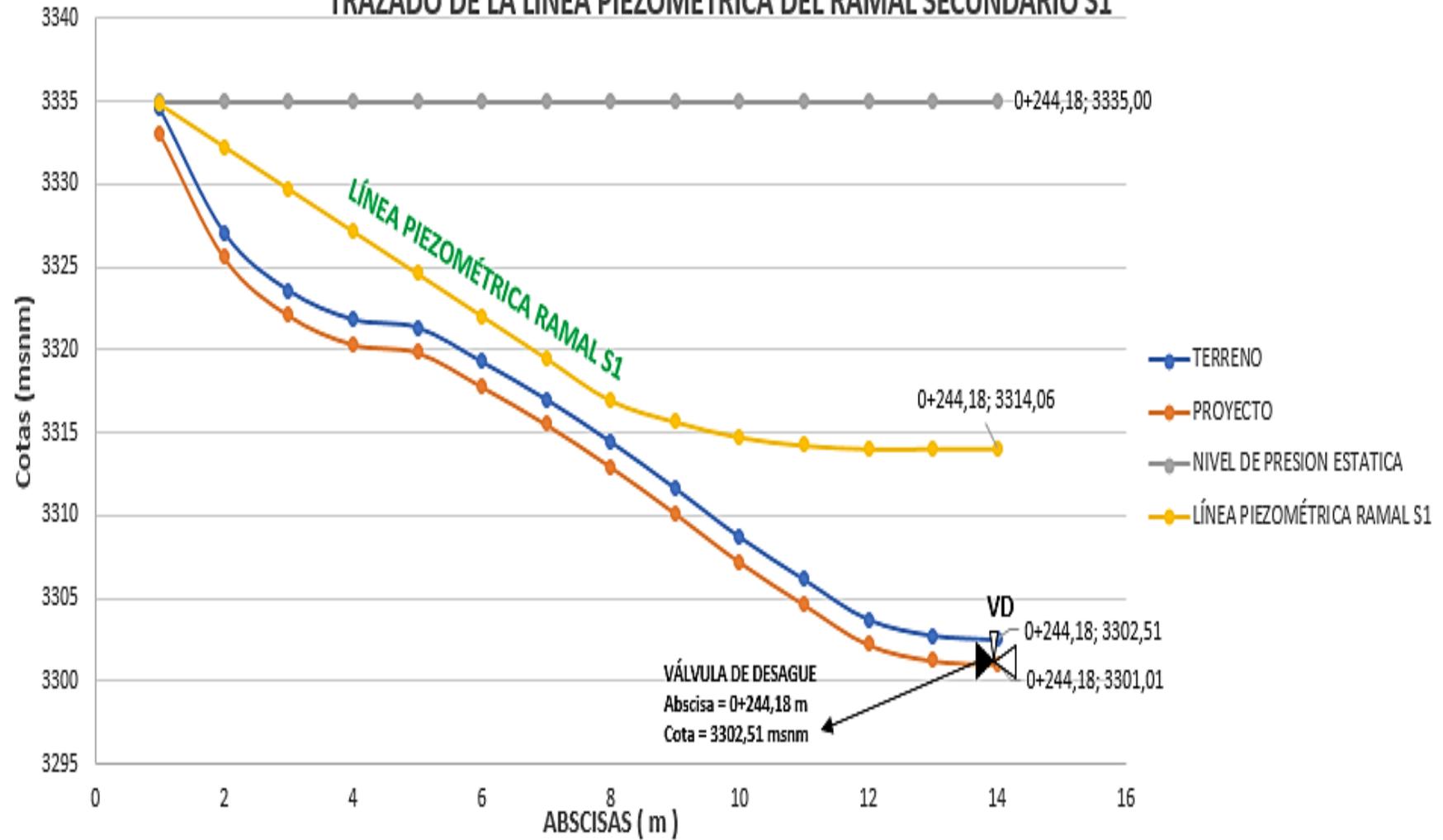
LÍNEA PIEZOMÉTRICA TRAMO RP2



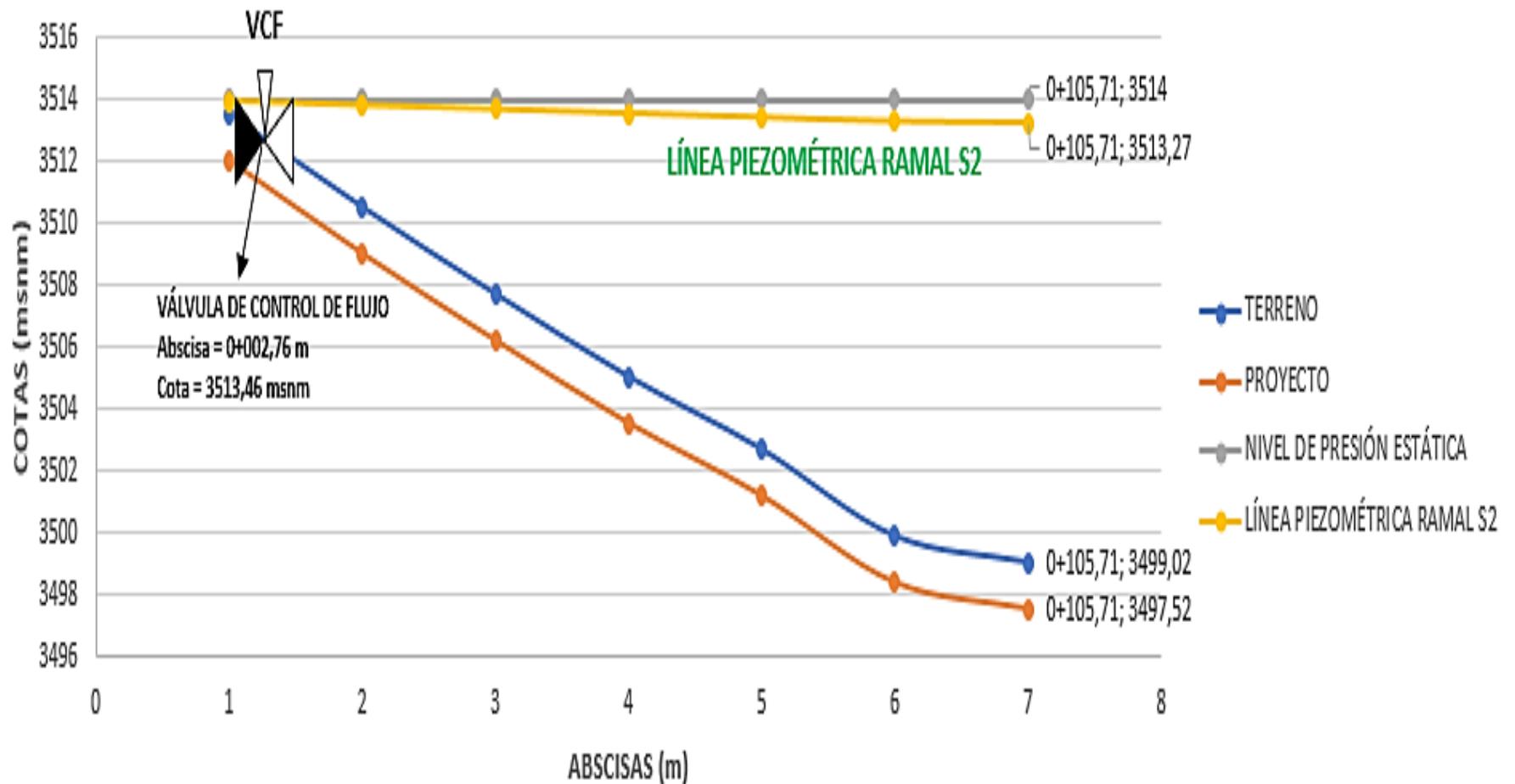
LÍNEA PIEZOMÉTRICA TRAMO RP3



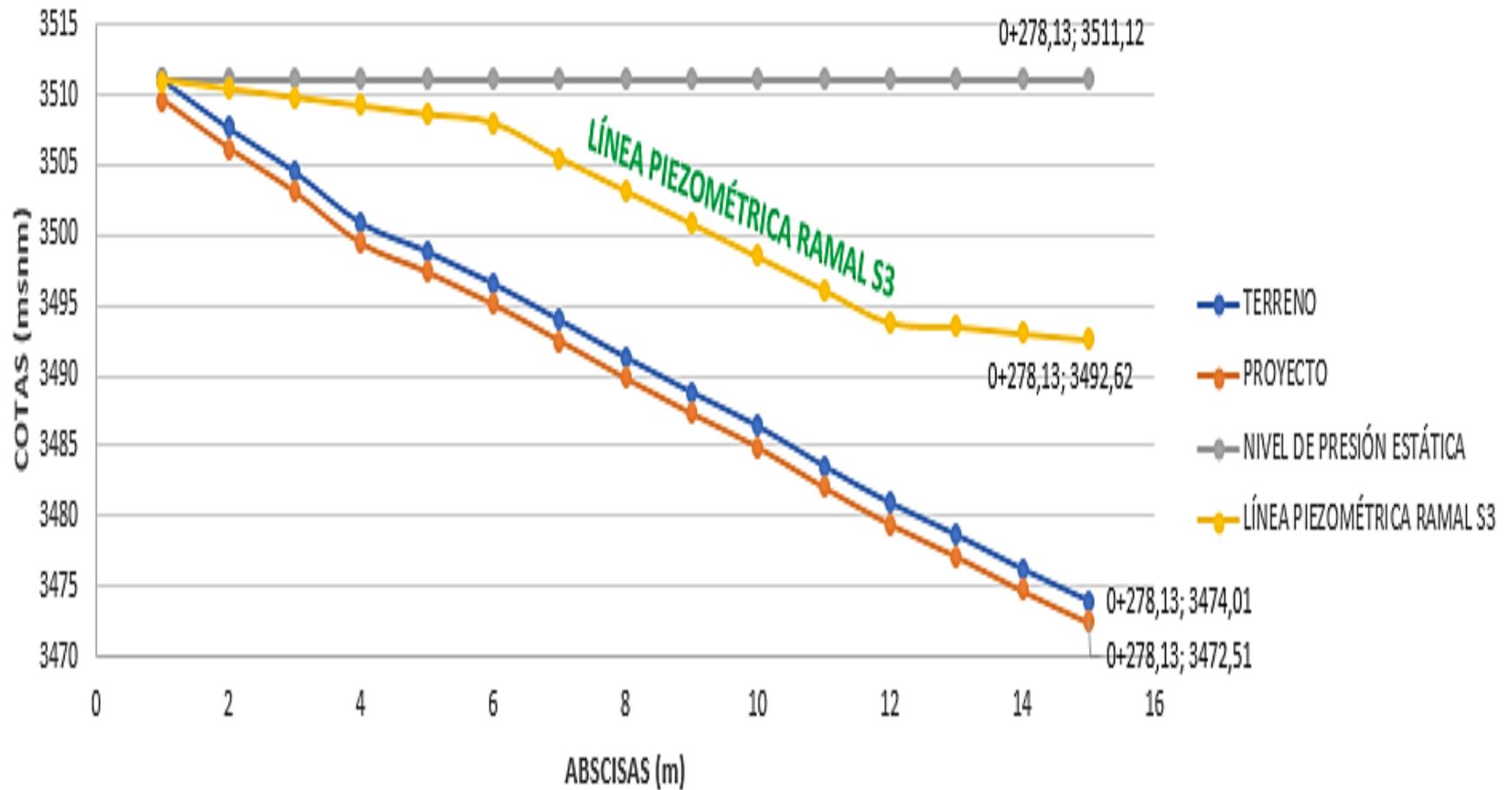
TRAZADO DE LA LÍNEA PIEZOMÉTRICA DEL RAMAL SECUNDARIO S1



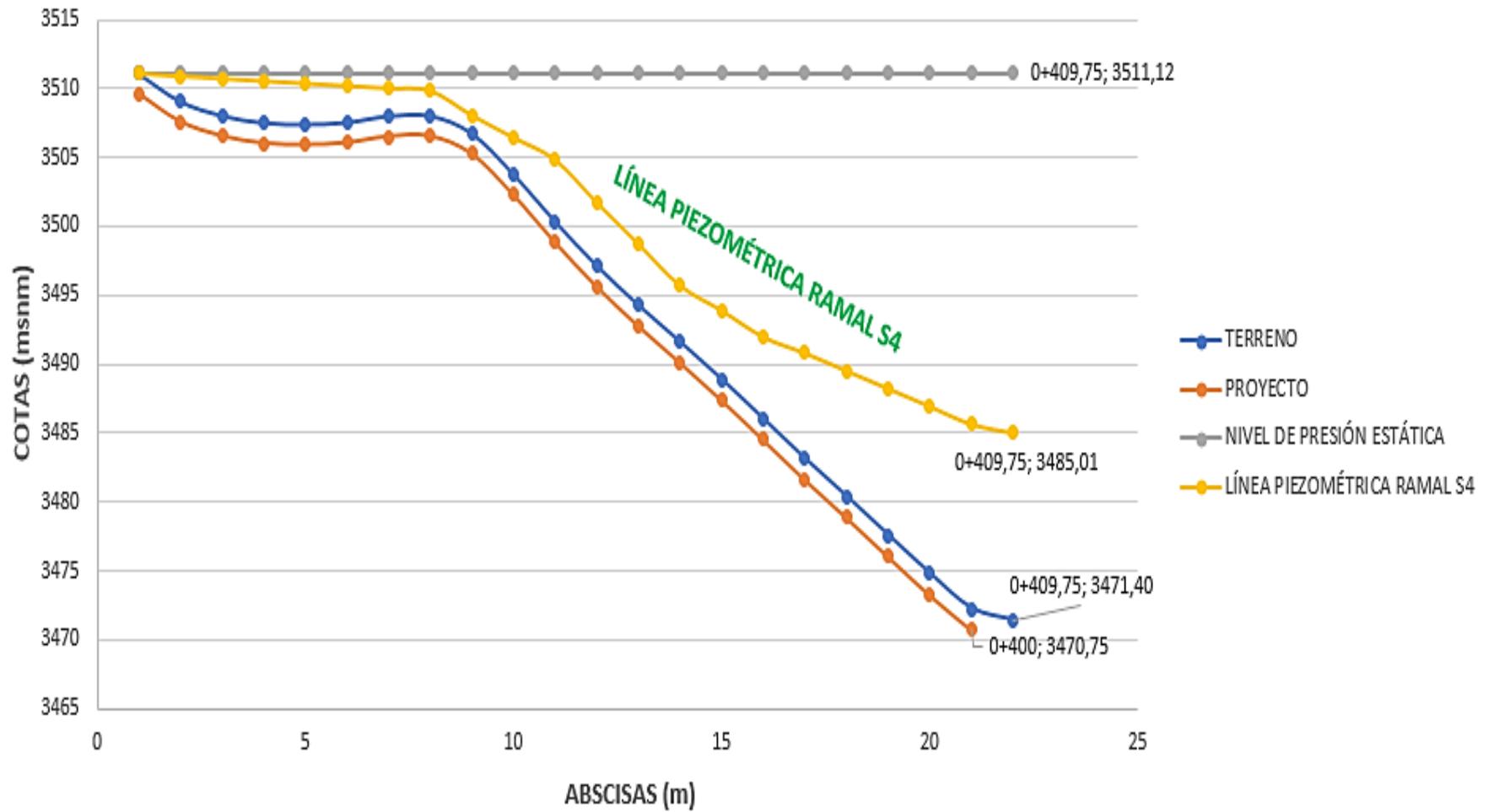
TRAZADO DE LA LÍNEA PIEZOMÉTRICA DEL RAMAL SECUNDARIO S2



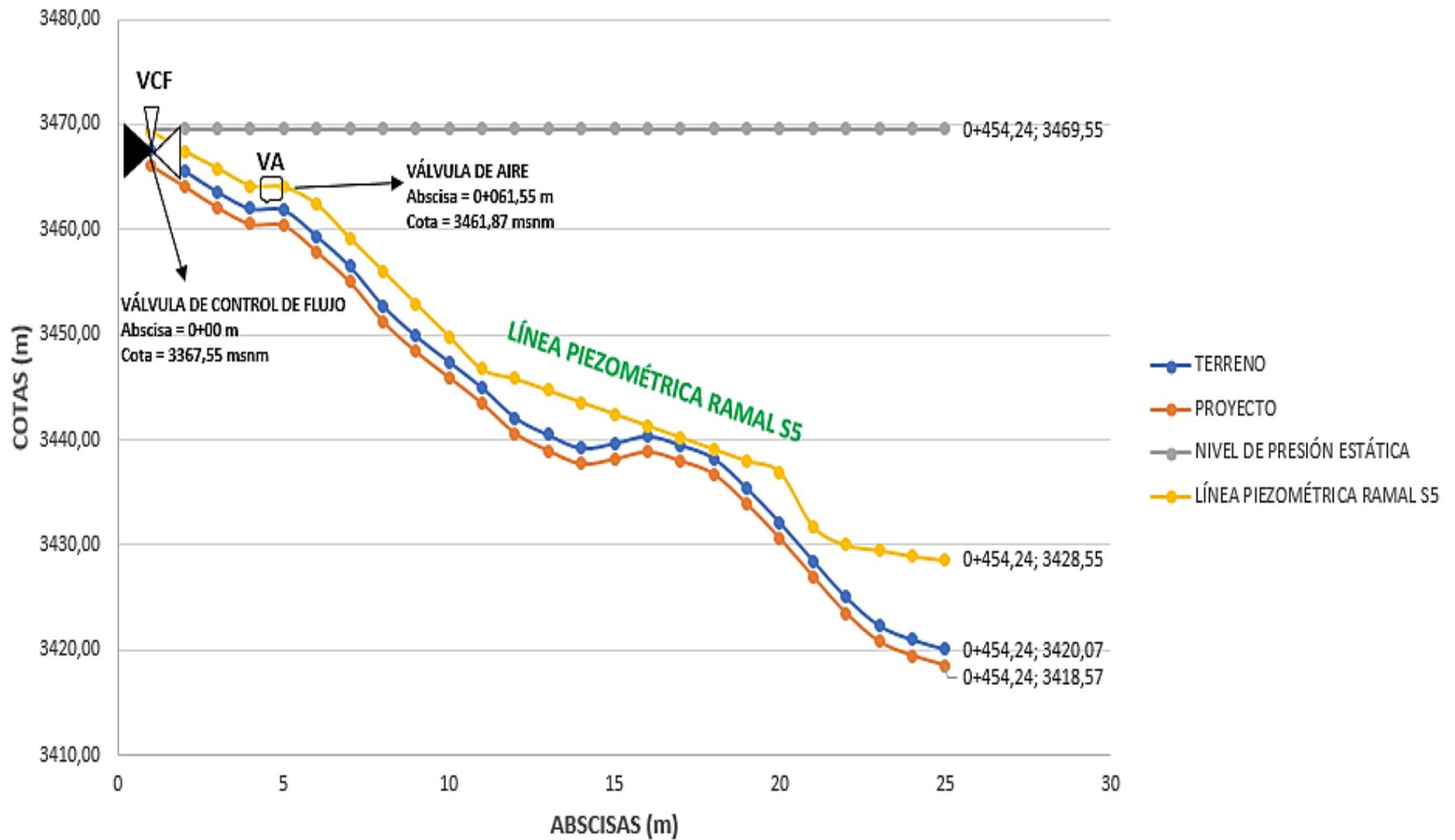
TRAZADO DE LA LÍNEA PIEZOMÉTRICA DEL RAMAL SECUNDARIO S3



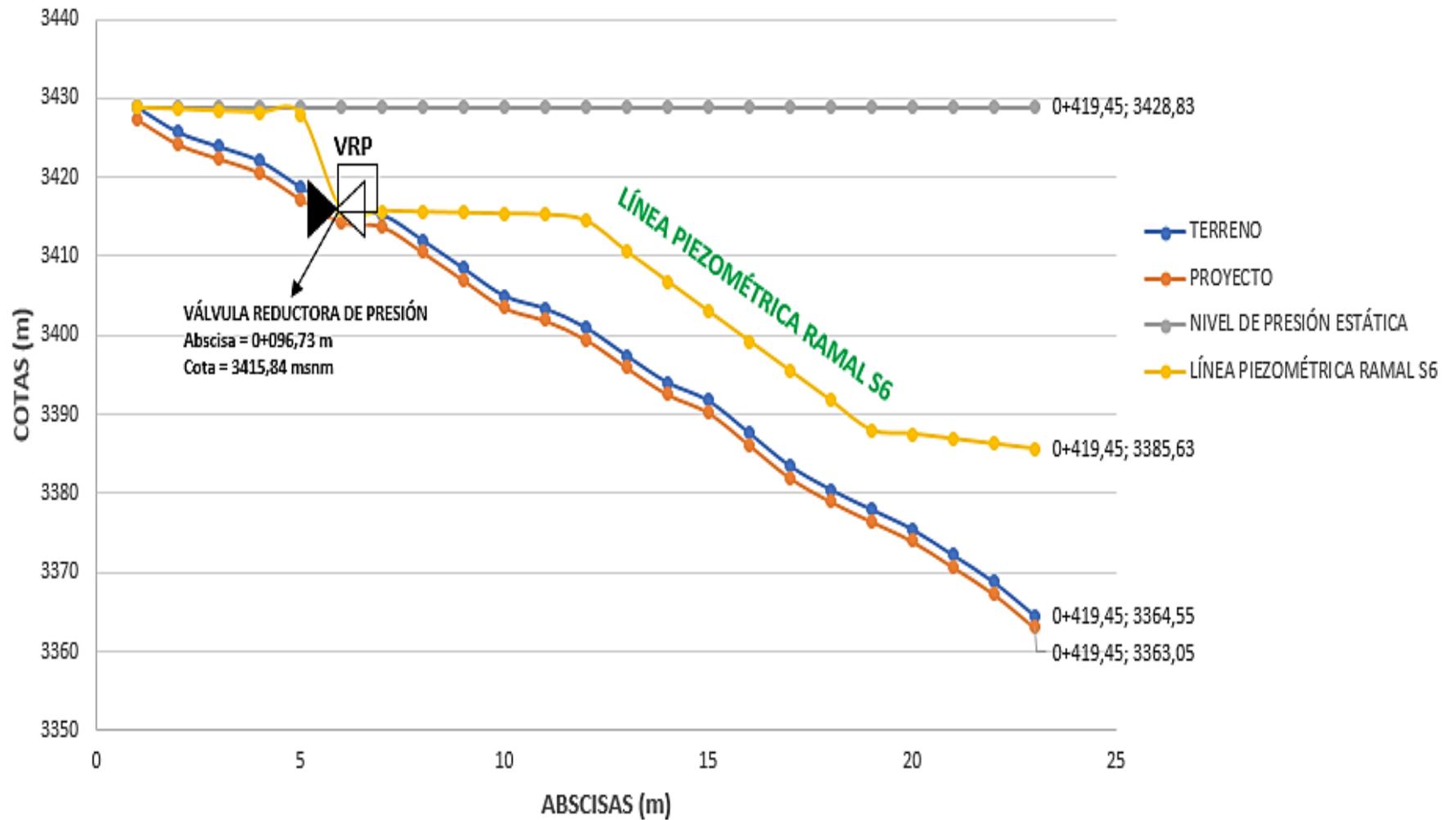
TRAZADO DE LA LÍNEA PIEZOMÉTRICA DEL RAMAL SECUNDARIO S4



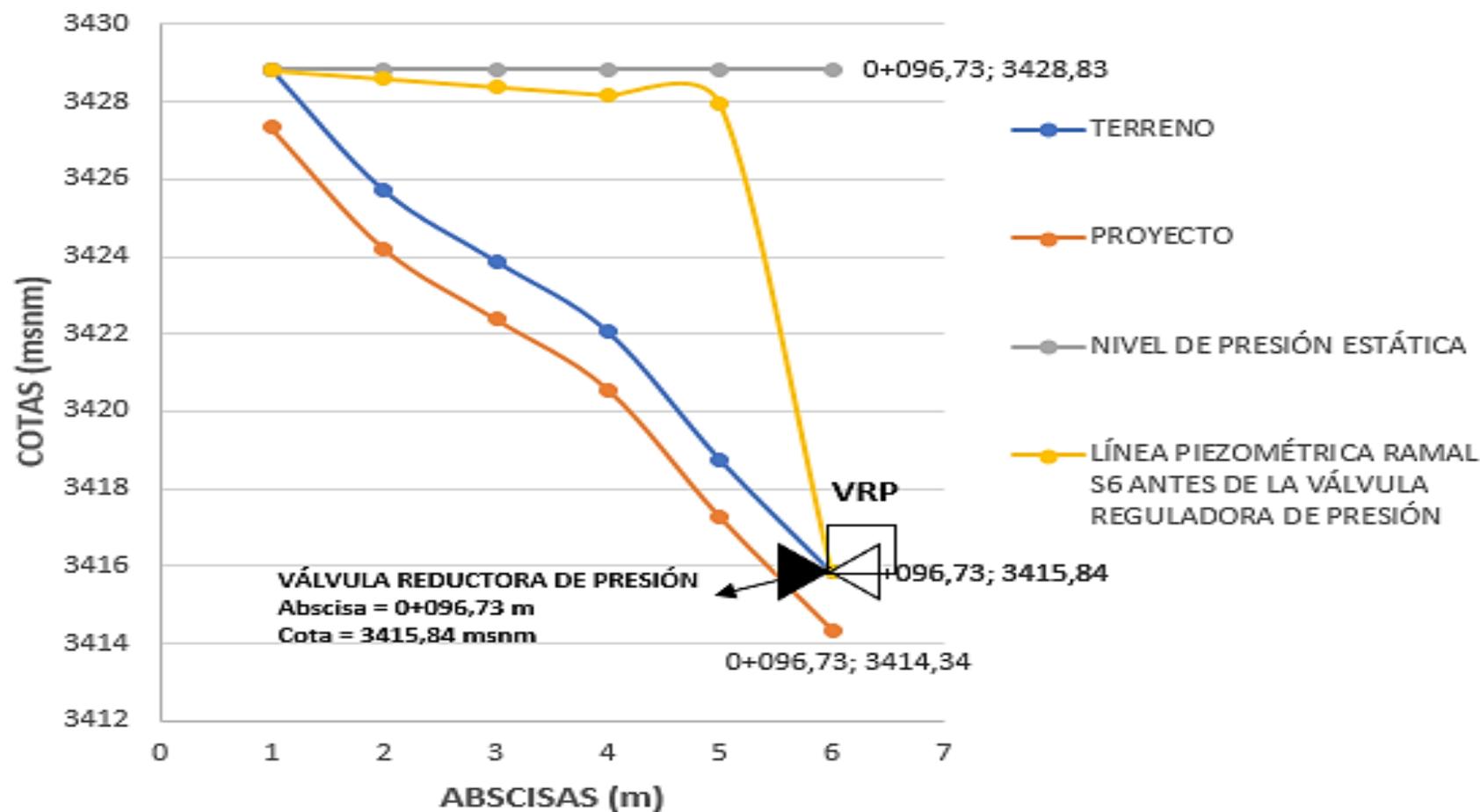
TRAZADO DE LA LÍNEA PIEZOMÉTRICA DEL RAMAL SECUNDARIO S5



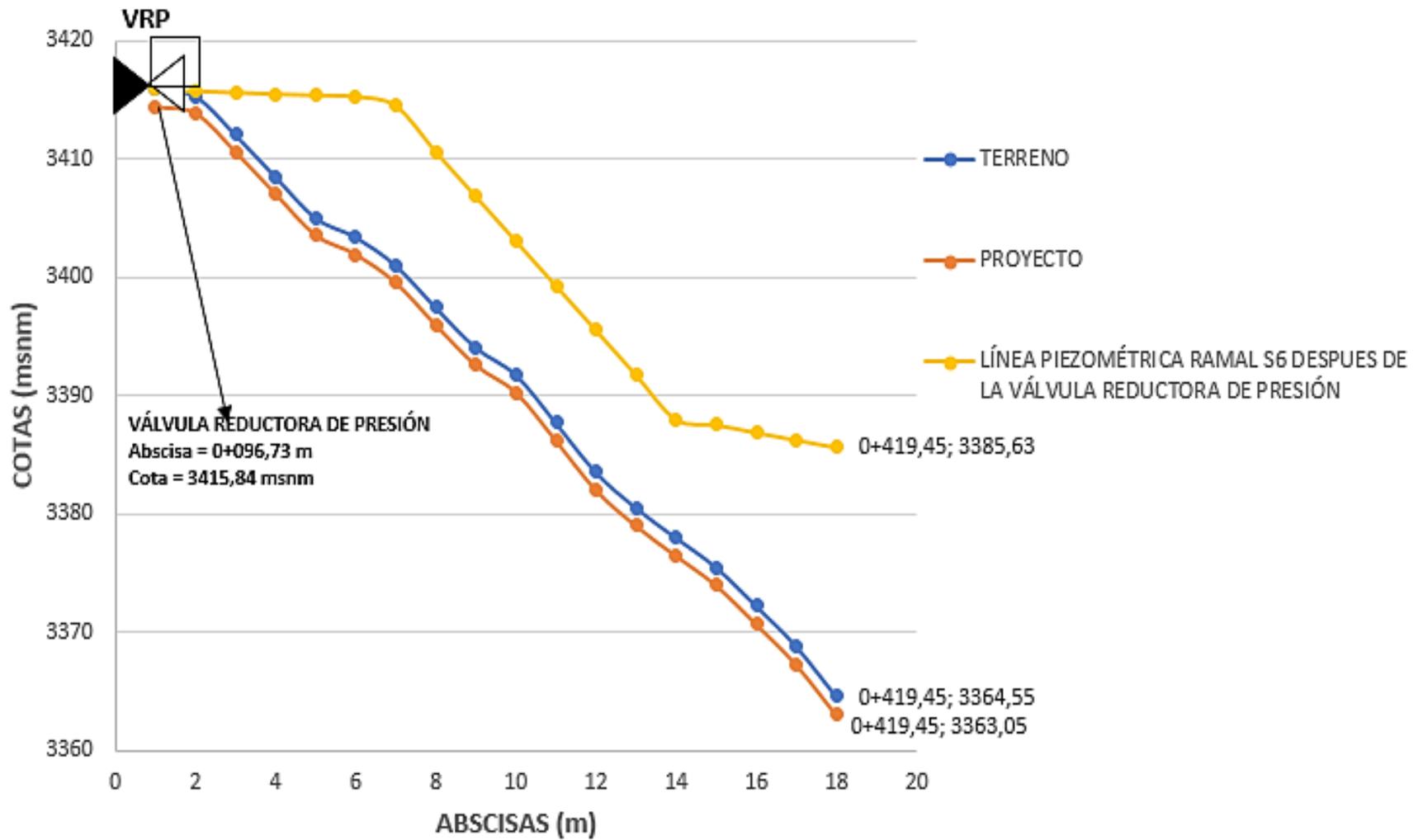
TRAZADO DE LA LÍNEA PIEZOMÉTRICA DEL RAMAL SECUNDARIO S6



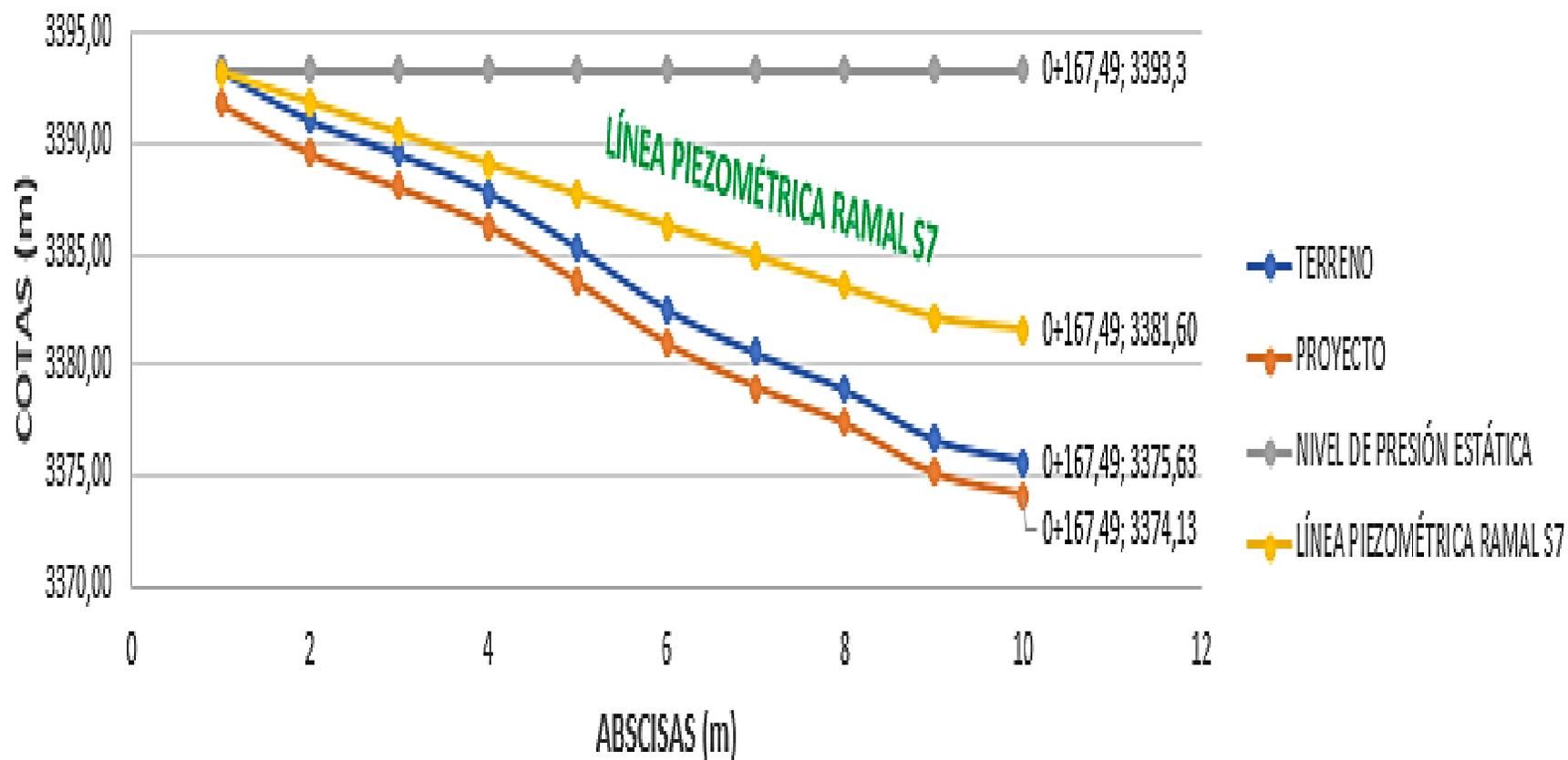
TRAZADO LÍNEA PIEZOMÉTRICA RAMAL S6 ANTES DE LA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN



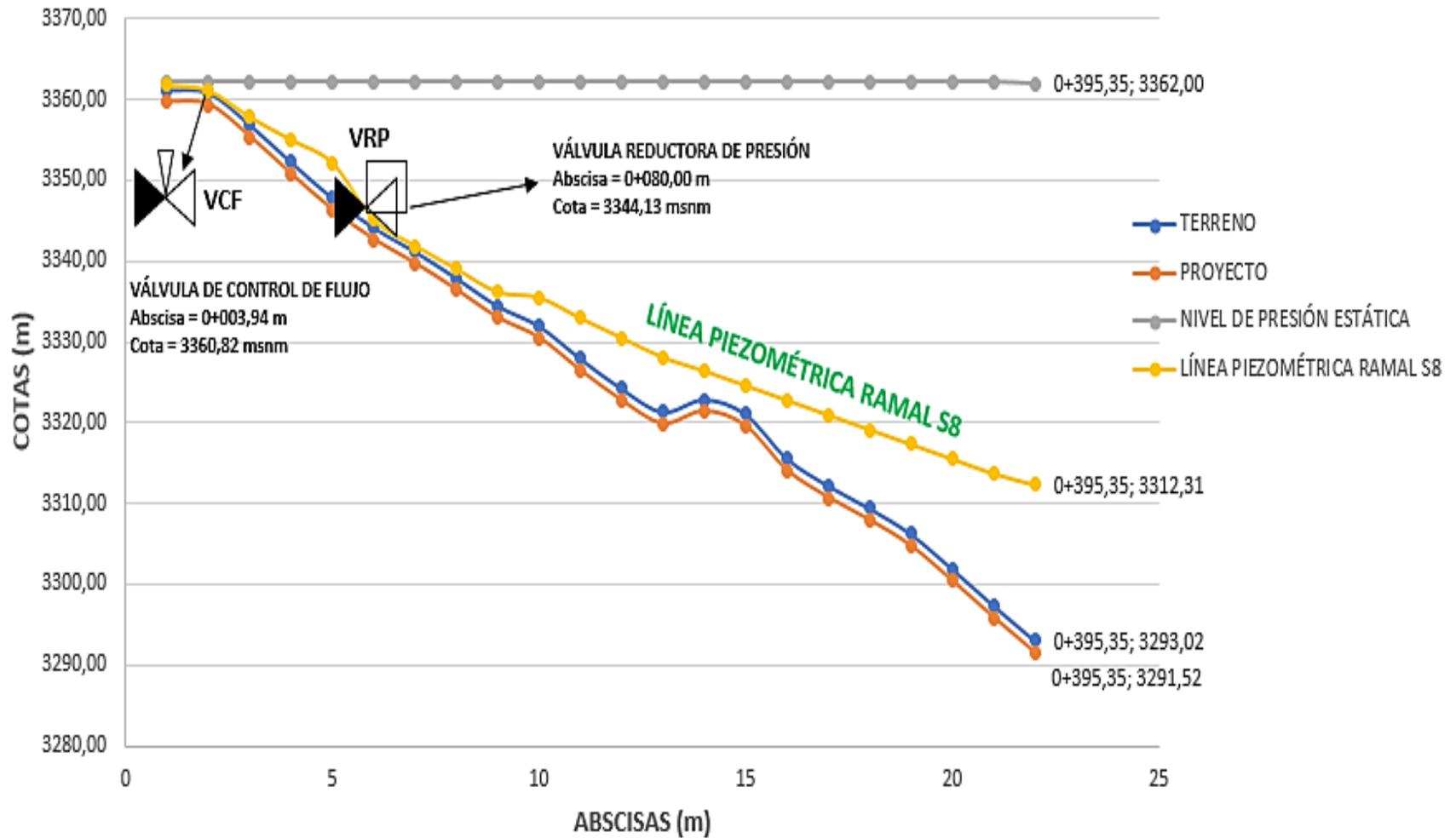
TRAZADO LÍNEA PIEZOMÉTRICA RAMAL S6 DESPUÉS DE LA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN



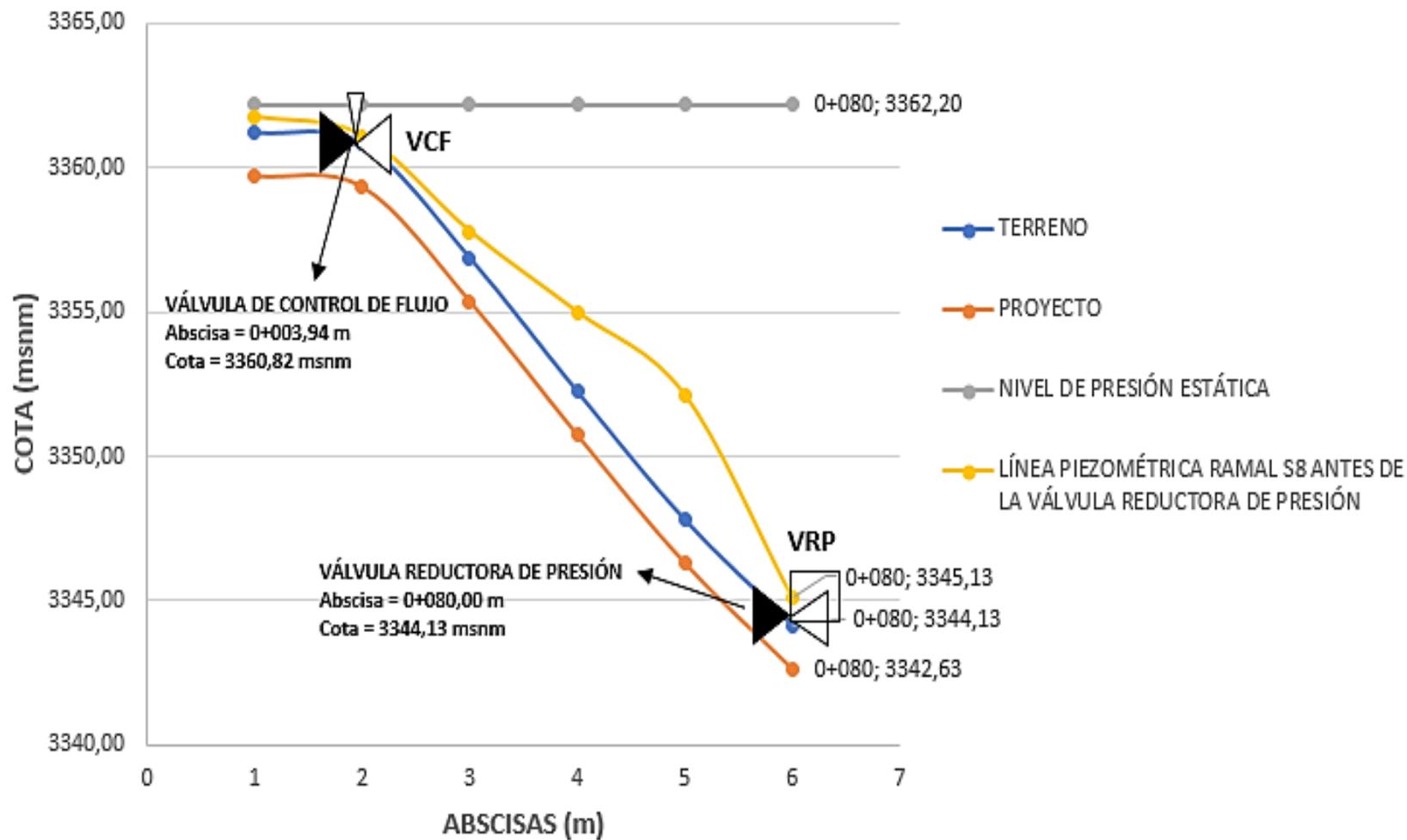
TRAZADO DE LA LÍNEA PIEZOMÉTRICA DEL RAMAL SECUNDARIO S7



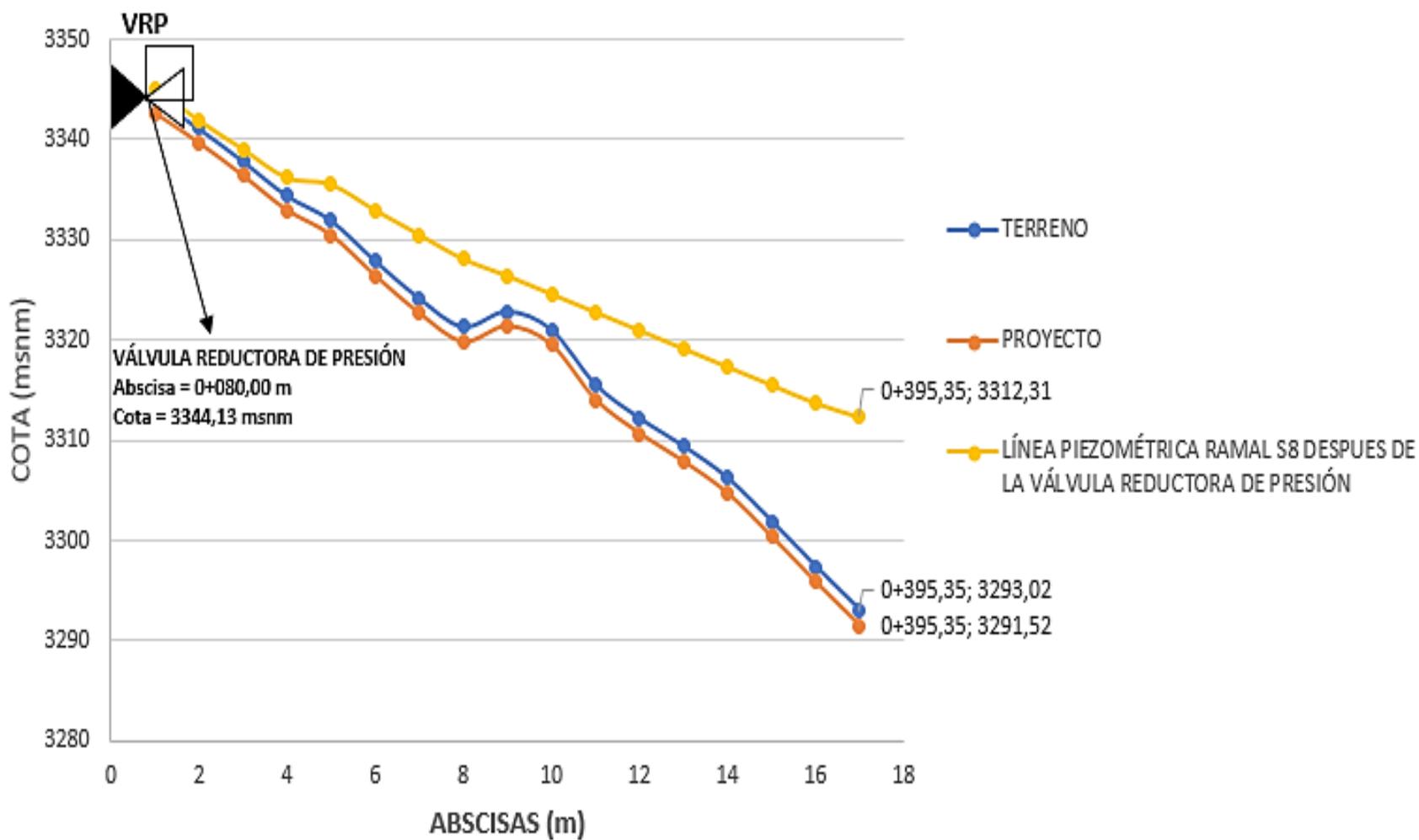
TRAZADO DE LA LÍNEA PIEZOMÉTRICA DEL RAMAL SECUNDARIO S8



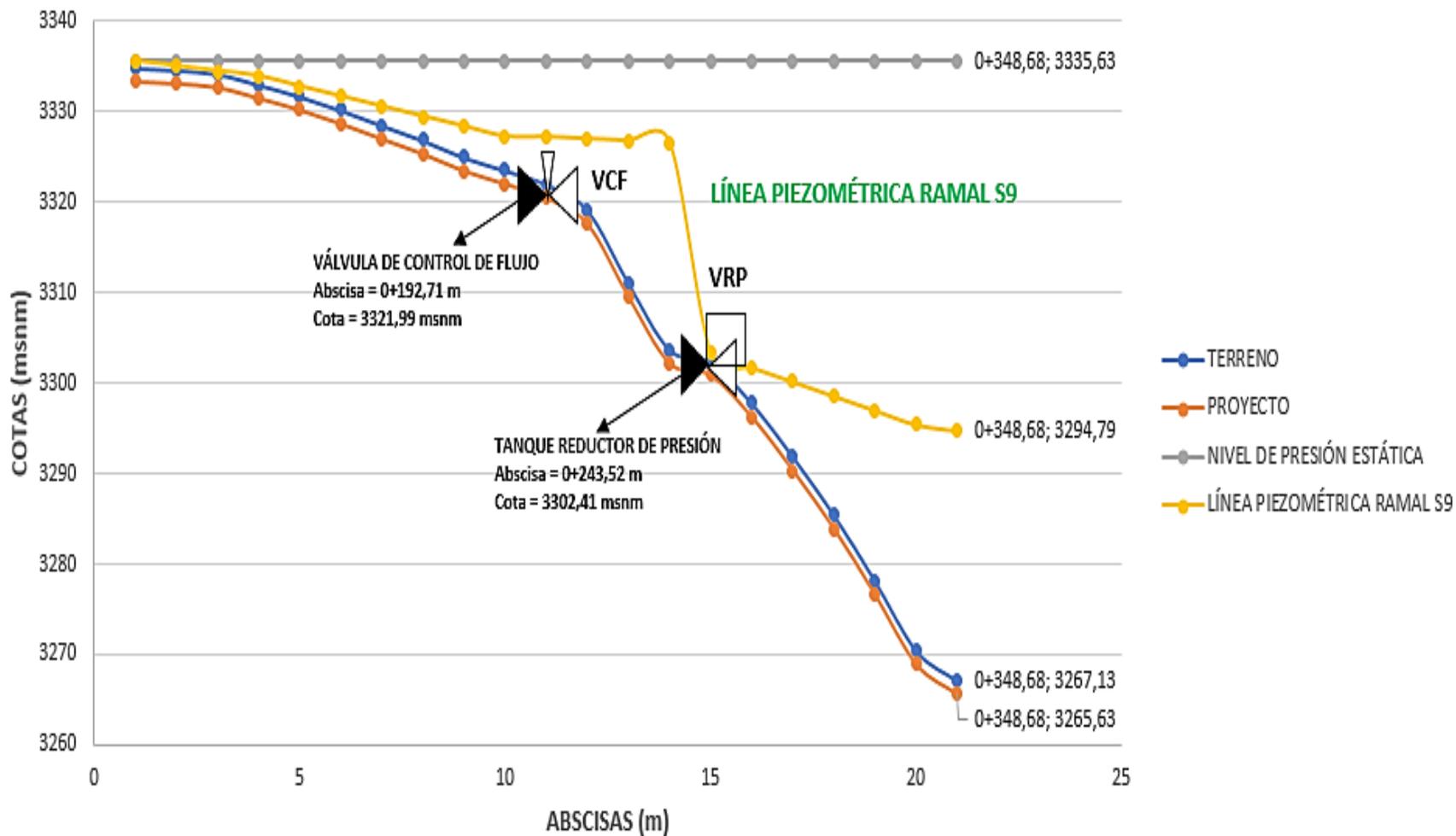
TRAZADO LÍNEA PIEZOMETRICA RAMAL S8 ANTES DE LA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN



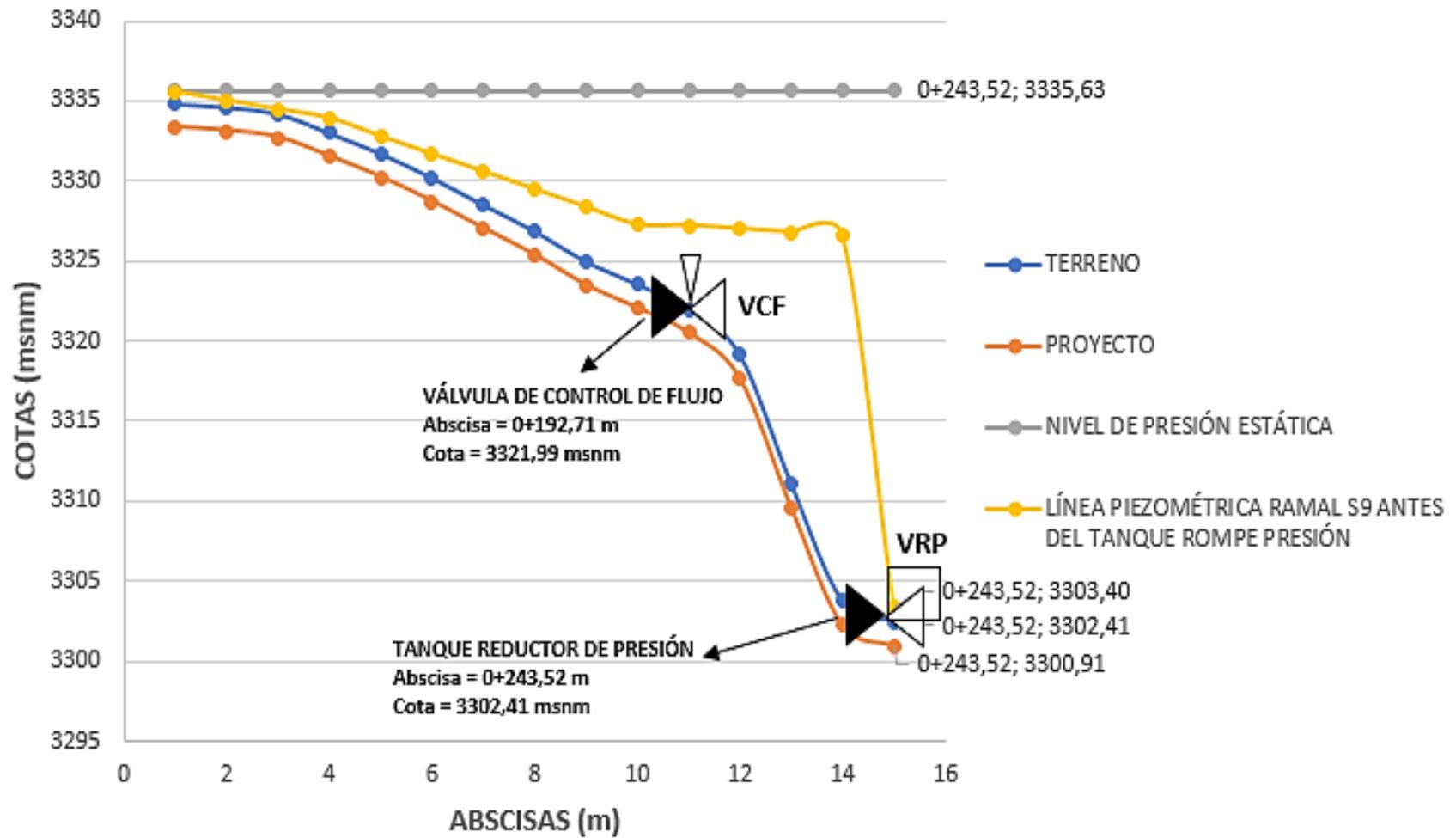
TRAZADO LÍNEA PIEZOMÉTRICA RAMAL S8 DESPUÉS DE LA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN



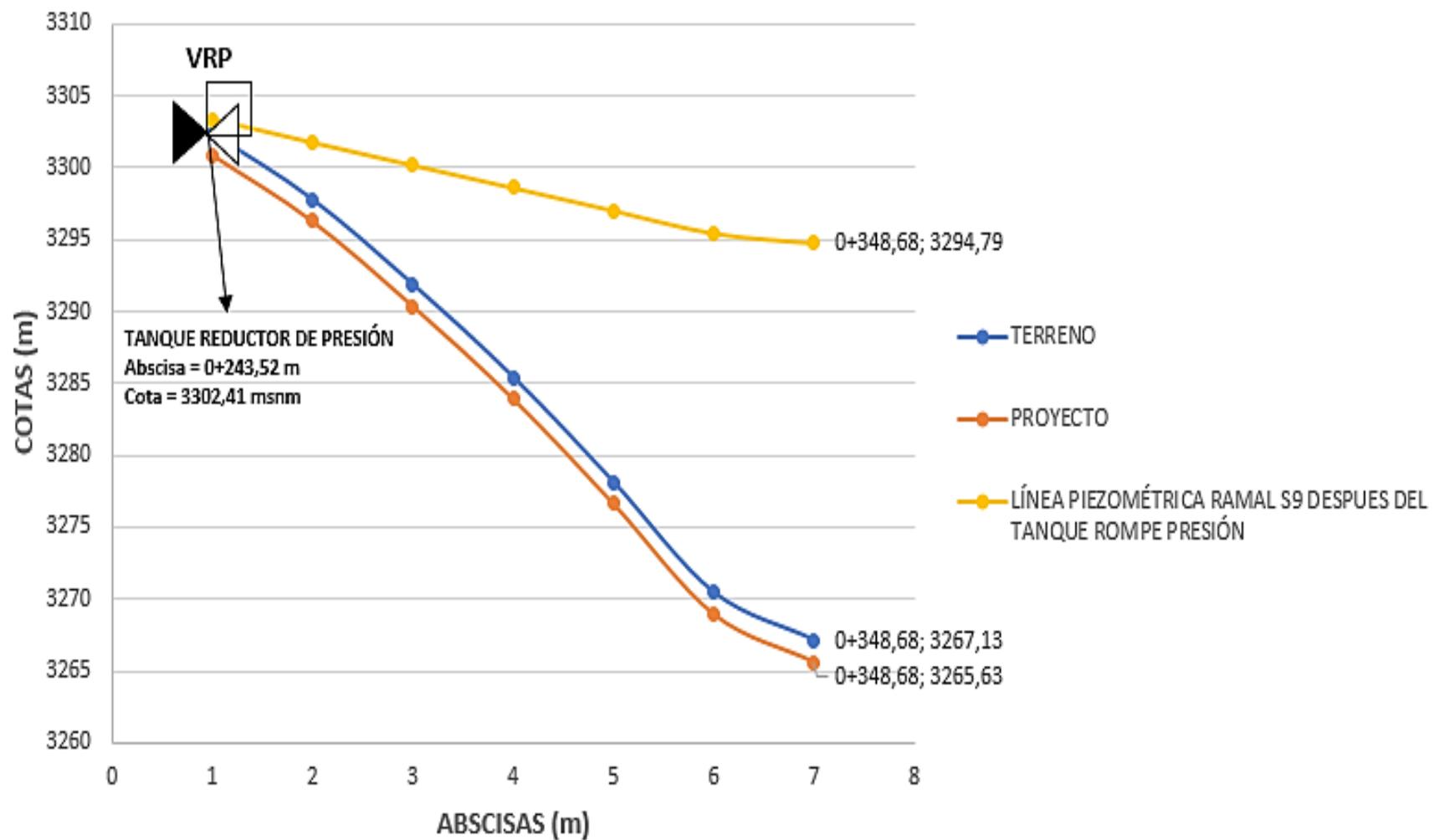
TRAZADO DE LA LÍNEA PIEZOMÉTRICA DEL RAMAL SECUNDARIO S9



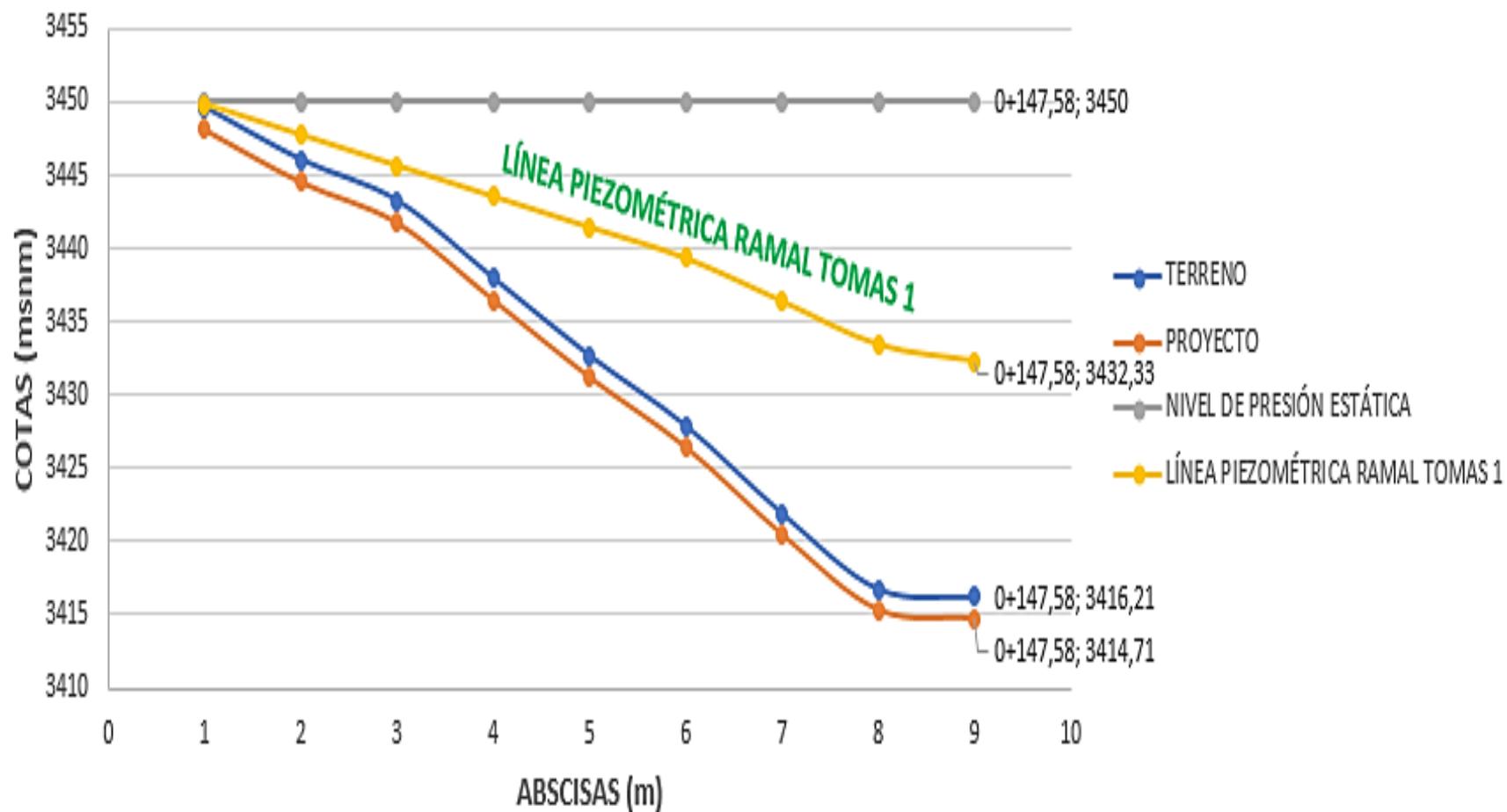
TRAZADO LÍNEA PIEZOMÉTRICA RAMAL S9 ANTES DEL TANQUE ROMPE PRESIÓN



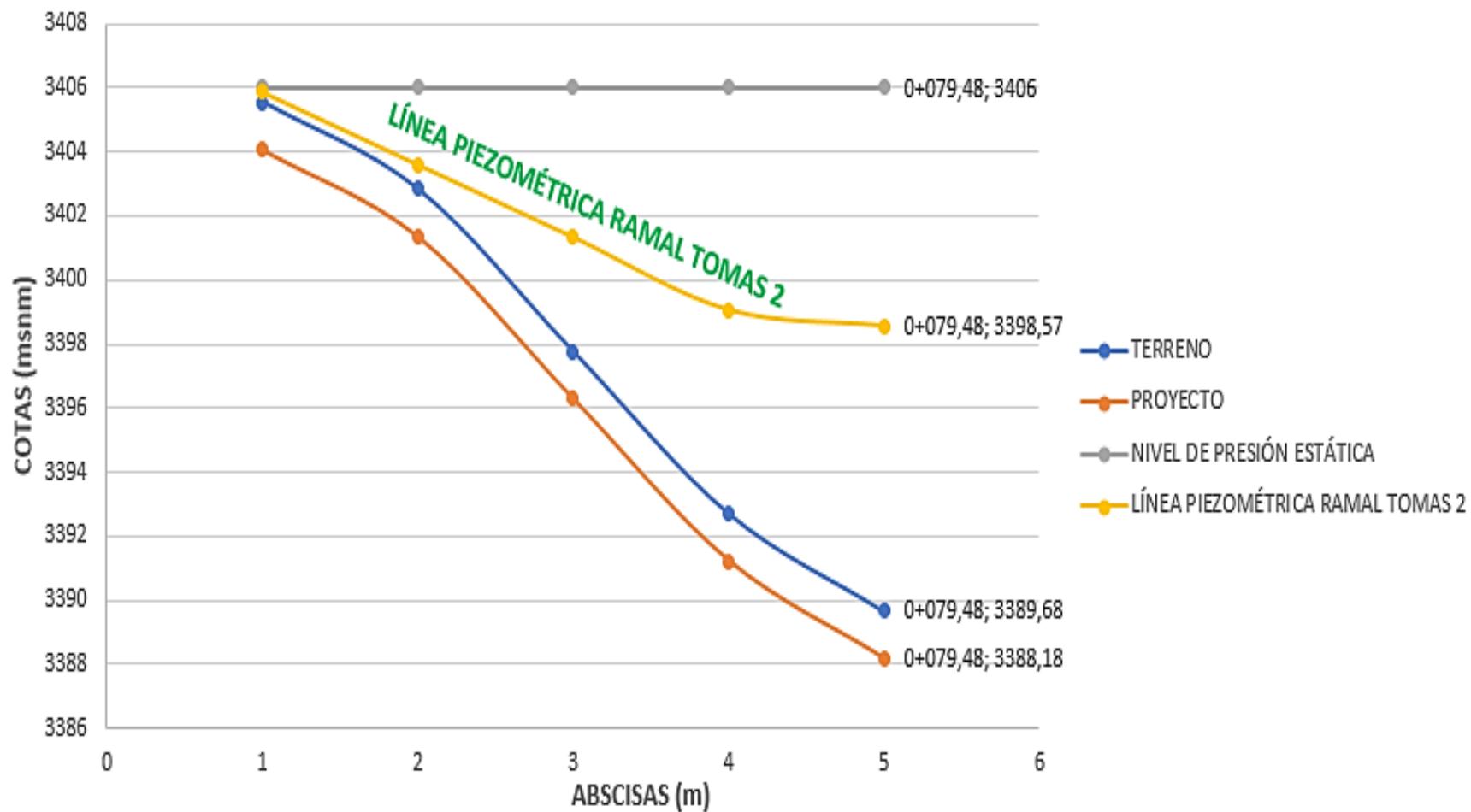
TRAZADO LÍNEA PIEZOMÉTRICA RAMAL S9 DESPUÉS DEL TANQUE ROMPE PRESIÓN



TRAZADO DE LA LÍNEA PIEZOMÉTRICA DEL RAMAL SECUNDARIO TOMAS 1



TRAZADO DE LA LÍNEA PIEZOMÉTRICA DEL RAMAL SECUNDARIO TOMAS 2



Anexo 8: Presupuesto referencial para la construcción del sistema de riego

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|---------------|--|----------------|-----------------|------------------------|---------------------|
| 1 | PRELIMINARES | | | | |
| 1.1 | Obras preliminares | | | | |
| 1.1.1 | LIMPIEZA Y DESBROCE DE CAPA VEGETAL | m ² | 7817,25 | 2,41 | 18839,57 |
| 1.1.2 | REPLANTEO Y NIVELACION | m ² | 7817,25 | 1,43 | 11178,67 |
| 1.2 | Movimiento de tierras | | | | |
| 1.2.1 | EXCAVACION A MANO (EN TIERRA) | m ³ | 11725,88 | 5,29 | 62029,91 |
| 1.2.2 | DESALOJO DE MATERIAL A MANO | m ³ | 11725,88 | 4,42 | 51828,39 |
| 1.2.3 | TENDIDO Y COMPACTADO DE CAMA DE ARENA/MATERIAL DEL LUGAR | m ³ | 781,73 | 6,62 | 5175,05 |
| 1.2.4 | RELLENO Y COMPACTADO MANUAL CON MATERIAL DEL LUGAR | m ³ | 10554,39 | 3,37 | 35568,29 |
| | SUBTOTAL | | | | 184619,88 |
| 2 | INSTALACIONES | | | | |
| | Sistema hidráulico | | | | |
| 2.1 | Tuberías PVC | | | | |
| 2.1.1 | TUBERIA PVC E/C D=140 MM - 0.50 MPA | m | 275,32 | 8,51 | 2342,97 |
| 2.1.2 | TUBERIA PVC E/C D=125 MM - 0.50 MPA | m | 1321,65 | 7,52 | 9938,81 |
| 2.1.3 | TUBERIA PVC E/C D=110 MM - 0.50 MPA | m | 140,80 | 6,11 | 860,29 |
| 2.1.4 | TUBERIA PVC E/C D=110 MM - 1.25 MPA | m | 22,77 | 6,91 | 157,34 |
| 2.1.5 | TUBERIA PVC E/C D=90 MM - 0.50 MPA | m | 1375,81 | 5,10 | 7016,63 |
| 2.1.6 | TUBERIA PVC E/C D=75 MM - 0.50 MPA | m | 56,18 | 3,35 | 188,20 |
| 2.1.7 | TUBERIA PVC E/C D=63 MM - 0.63 MPA | m | 348,30 | 2,89 | 1006,59 |
| 2.1.8 | TUBERIA PVC E/C D=50 MM - 0.63 MPA | m | 490,09 | 2,01 | 985,08 |
| 2.1.9 | TUBERIA PVC E/C D=40 MM - 0.63 MPA | m | 541,91 | 1,76 | 953,76 |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|-------------------|---|---------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| 2.1.10 | TUBERIA PVC E/C D=40 MM - 1.25 MPA | m | 296,05 | 1,95 | 577,30 |
| 2.1.11 | TUBERIA PVC E/C D=32 MM - 0.80 MPA | m | 862,82 | 1,32 | 1138,92 |
| 2.1.12 | TUBERIA PVC E/C D=25 MM - 1.00 MPA | m | 1486,89 | 1,10 | 1635,58 |
| 2.1.13 | TUBERIA PVC E/C D=20 MM - 0.50 MPA | m | 594,87 | 0,98 | 582,97 |
| Accesorios | | | | | |
| 2.2 | Válvulas de aire | | | | |
| 2.2.1 | VALVULA DE AIRE SIMPLE EFECTO D= 1 PULG (PLÁSTICA) | u | 13,00 | 13,45 | 174,85 |
| 2.2.2 | VALVULA ESFERICA CON ROSCA DE D= 1 PULG (METÁLICA) | u | 13,00 | 10,81 | 140,53 |
| 2.2.3 | VALVULA FLOTADORA DE BRONCE D=3/4 PULG | u | 1,00 | 14,79 | 14,79 |
| 2.3 | Collar de derivación PE, PP y PVC (Accesorios) | | | | |
| 2.3.1 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 140 MM x 1" | u | 1,00 | 12,49 | 12,49 |
| 2.3.2 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 125 MM x 1" | u | 6,00 | 8,39 | 50,34 |
| 2.3.3 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 90 MM x 1" | u | 5,00 | 4,38 | 21,90 |
| 2.3.4 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 50 MM x 1" | u | 1,00 | 1,81 | 1,81 |
| 2.4 | Válvulas de compuerta HF | | | | |
| 2.4.1 | VALVULA DE COMPUERTA HF D=140 MM BRIDADA | u | 1,00 | 272,40 | 272,40 |
| 2.4.2 | VALVULA DE COMPUERTA HF D=125 MM BRIDADA | u | 1,00 | 191,14 | 191,14 |
| 2.4.3 | VALVULA DE COMPUERTA HF D=90 MM BRIDADA | u | 3,00 | 115,46 | 346,38 |
| 2.4.4 | VALVULA DE COMPUERTA HF D=63 MM BRIDADA | u | 1,00 | 66,26 | 66,26 |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|---------------|--|---------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| 2.4.5 | VALVULA DE COMPUERTA HF D=50 MM BRIDADA | u | 2,00 | 49,94 | 99,88 |
| 2.4.6 | VALVULA DE COMPUERTA HF D=40 MM BRIDADA | u | 2,00 | 46,63 | 93,26 |
| 2.5 | Válvulas de compuerta RW | | | | |
| 2.5.1 | VALVULA DE COMPUERTA RW D=32 MM | u | 25,00 | 18,70 | 467,50 |
| 2.5.2 | VALVULA DE COMPUERTA RW D=25 MM | u | 35,00 | 11,26 | 394,10 |
| 2.5.3 | VALVULA DE COMPUERTA RW D=20 MM | u | 32,00 | 5,48 | 175,36 |
| 2.6 | Válvulas hidráulicas reductoras de presión | | | | |
| 2.6.1 | VALVULA HIDRAULICA REDUCTORA DE PRESION D=125 MM BRIDADA | u | 1,00 | 1464,79 | 1464,79 |
| 2.6.2 | VALVULA HIDRAULICA REDUCTORA DE PRESION D=90 MM BRIDADA | u | 1,00 | 929,64 | 929,64 |
| 2.6.3 | VALVULA HIDRAULICA REDUCTORA DE PRESION D=63 MM BRIDADA | u | 1,00 | 676,52 | 676,52 |
| 2.6.4 | VALVULA HIDRAULICA REDUCTORA DE PRESION D=50 MM BRIDADA | u | 1,00 | 552,64 | 552,64 |
| 2.7 | Tee y tee reductora | | | | |
| 2.7.1 | TEE REDUCTORA PVC E/C D= 125 A 63 MM | u | 1,00 | 38,32 | 38,32 |
| 2.7.2 | TEE REDUCTORA PVC E/C D= 110 A 63 MM | u | 1,00 | 12,1 | 12,10 |
| 2.7.3 | TEE REDUCTORA PVC E/C D= 90 A 63 MM | u | 1,00 | 4,33 | 4,33 |
| 2.7.4 | TEE REDUCTORA PVC E/C D= 90 A 50 MM | u | 1,00 | 4,01 | 4,01 |
| 2.7.5 | TEE REDUCTORA PVC E/C D= 90 A 32 MM | u | 1,00 | 3,13 | 3,13 |
| 2.7.6 | TEE PVC E/C D= 125 MM | u | 1,00 | 17,07 | 17,07 |
| 2.7.7 | TEE PVC E/C D= 110 MM | u | 1,00 | 6,55 | 6,55 |
| 2.7.8 | TEE PVC E/C D= 50 MM | u | 1,00 | 0,92 | 0,92 |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|----------------|---------------------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| 2.7.9 | TEE PVC E/C D= 40 MM | u | 1,00 | 0,99 | 0,99 |
| 2.8 | Codos PVC de 90° | | | | |
| 2.8.1 | CODO PVC E/C X 90° D= 40 MM | u | 1,00 | 0,60 | 0,60 |
| 2.8.2 | CODO PVC E/C X 90° D= 32 MM | u | 25,00 | 0,43 | 10,75 |
| 2.8.3 | CODO PVC E/C X 90° D= 25 MM | u | 35,00 | 0,29 | 10,15 |
| 2.8.4 | CODO PVC E/C X 90° D= 20 MM | u | 32,00 | 0,46 | 14,72 |
| 2.8.5 | CODO PVC E/C X 45° D= 90 MM | u | 1,00 | 3,38 | 3,38 |
| 2.8.6 | CODO PVC E/C X 45° D= 140 MM | u | 2,00 | 32,00 | 64,00 |
| 2.9 | Tapón PVC | | | | |
| 2.9.1 | TAPON HEMBRA PVC E/C D= 50 MM | u | 1,00 | 0,43 | 0,43 |
| 2.9.2 | TAPON HEMBRA PVC E/C D= 40 MM | u | 1,00 | 0,36 | 0,36 |
| 2.9.3 | TAPON HEMBRA PVC E/C D= 32 MM | u | 1,00 | 0,56 | 0,56 |
| 2.9.4 | TAPON HEMBRA PVC E/C D= 25 MM | u | 7,00 | 0,44 | 3,08 |
| 2.9.5 | TAPON HEMBRA PVC E/C D= 20 MM | u | 2,00 | 0,40 | 0,80 |
| 2.10 | Reductor buje PVC | | | | |
| 2.10.1 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 140 A 125 MM | u | 1,00 | 4,72 | 4,72 |
| 2.10.2 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 125 A 110 MM | u | 1,00 | 3,89 | 3,89 |
| 2.10.3 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 125 A 50 MM | u | 1,00 | 3,14 | 3,14 |
| 2.10.4 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 110 A 90 MM | u | 2,00 | 2,74 | 5,48 |
| 2.10.5 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 90 A 75 MM | u | 1,00 | 1,28 | 1,28 |
| 2.10.6 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 90 A 50 MM | u | 1,00 | 1,55 | 1,55 |
| 2.10.7 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 75 A 63 MM | u | 1,00 | 0,87 | 0,87 |
| 2.10.8 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 63 A 50 MM | u | 2,00 | 0,51 | 1,02 |
| 2.10.9 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 63 A 40 MM | u | 2,00 | 1,49 | 2,98 |
| 2.10.10 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 50 A 40 MM | u | 4,00 | 0,58 | 2,32 |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|----------------|---|---------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| 2.10.11 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 50 A 20 MM | u | 1,00 | 0,46 | 0,46 |
| 2.10.12 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 40 A 25 MM | u | 4,00 | 0,28 | 1,12 |
| 2.10.13 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 32 A 25 MM | u | 1,00 | 0,12 | 0,12 |
| 2.10.14 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 32 A 20 MM | u | 1,00 | 0,10 | 0,10 |
| 2.11 | Unión PVC | | | | |
| 2.11.1 | UNION UNIVERSAL PVC HEMBRA E/C D= 3 PULG | u | 1,00 | 9,95 | 9,95 |
| 2.12 | Collar de derivación PE, PP y PVC (Accesorios) | | | | |
| 2.12.1 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 140 MM x 3/4" | u | 1,00 | 12,49 | 12,49 |
| 2.12.2 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 140 MM x 1/2" | u | 1,00 | 11,35 | 11,35 |
| 2.12.3 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 125 MM x 3/4" | u | 14,00 | 8,39 | 117,46 |
| 2.12.4 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 125 MM x 1" | u | 10,00 | 8,39 | 83,9 |
| 2.12.5 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 125 MM x 1/2" | u | 1,00 | 8,39 | 8,39 |
| 2.12.6 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 110 MM x 1/2" | u | 1,00 | 5,71 | 5,71 |
| 2.12.7 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 90 MM x 3/4" | u | 8,00 | 4,38 | 35,04 |
| 2.12.8 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 90 MM x 1" | u | 4,00 | 4,38 | 17,52 |
| 2.12.9 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 90 MM x 1/2" | u | 13,00 | 4,38 | 56,94 |
| 2.12.10 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 75 MM x 1" | u | 1,00 | 4,11 | 4,11 |
| 2.12.11 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 63 MM x 1/2" | u | 3,00 | 2,84 | 8,52 |
| 2.12.12 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 63 MM x 3/4" | u | 1,00 | 2,84 | 2,84 |
| 2.12.13 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 63 MM x 1" | u | 2,00 | 2,84 | 5,68 |
| 2.12.14 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 50 MM x 1" | u | 4,00 | 1,81 | 7,24 |
| 2.12.15 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 50 MM x 3/4" | u | 1,00 | 1,81 | 1,81 |
| 2.12.16 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 50 MM x 1/2" | u | 3,00 | 1,81 | 5,43 |
| 2.12.17 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 40 MM x 1" | u | 4,00 | 1,78 | 7,12 |
| 2.12.18 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 40 MM x 3/4" | u | 5,00 | 1,78 | 8,90 |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|-----------------|--|----------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 2.12.19 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 32 MM x 3/4" | u | 1,00 | 1,44 | 1,44 |
| 2.12.20 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 32 MM x 1/2" | u | 5,00 | 1,44 | 7,20 |
| 2.12.21 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 25 MM x 1/2" | u | 5,00 | 1,11 | 5,55 |
| 2.12.22 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 25 MM x 3/4" | u | 6,00 | 1,11 | 6,66 |
| 2.13 | Aditivos | | | | |
| 2.13.1 | POLIPEGA GALON 3785 CC PARA TUBERIAS PVC DE HASTA 200 MM | lt | 2,00 | 52,90 | 105,8 |
| 2.13.2 | TEFLON (ROLLO 1/2 PULG X 10 M) | u | 15,00 | 0,76 | 11,4 |
| 2.13.3 | SILICON ADHESIVO SELLADOR NEGRO PERMATEX 3,35 OZ | u | 10,00 | 5,20 | 52,00 |
| SUBTOTAL | | | | | 34356,77 |
| 3 | CAJAS VALVULAS DE AIRE Y VALVULAS DE COMPUERTA HF | | 1m x 1m x1,50m (23 UNI) | | |
| 3.1 | Obras preliminares | | | | |
| 3.1.1 | LIMPIEZA Y DESBROCE DE CAPA VEGETAL | m ² | 23,00 | 2,41 | 55,43 |
| 3.1.2 | REPLANTEO, TRAZADO Y NIVELACION | m ² | 23,00 | 1,43 | 32,89 |
| 3.2 | Movimiento de tierras | | | | |
| 3.2.1 | EXCAVACION A MANO (EN TIERRA) | m ³ | 34,50 | 5,29 | 182,51 |
| 3.2.2 | DESALOJO DE MATERIAL A MANO | m ³ | 34,50 | 4,42 | 152,49 |
| 3.3 | Acero de refuerzo | | | | |
| 3.3.1 | MALLA ELECTROSOLDADA 8-15mm x8mx2,40m | m ² | 138,00 | 5,51 | 760,38 |
| 3.3.2 | ALAMBRE RECOCIDO # 18 - 20 KG | kg | 2,00 | 1,70 | 3,40 |
| 3.3.3 | TAPA 0,6x 0,6 M TOOL GALVANIZADO 1/32" | u | 23,00 | 31,27 | 719,21 |
| 3.4 | Encofrado y desencofrado | | | | |
| 3.4.1 | TABLA DE MONTE 2,40 X 0,20M; e=25MM | u | 192,00 | 2,27 | 435,84 |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|------------|---|----------------|----------|-----------------|----------------|
| 3.4.2 | TIRAS DE EUCALIPTO DE 2.40*0.04*0.04 M. (SECA A INTERPERIE) | u | 90,00 | 2,63 | 236,7 |
| 3.4.3 | CLAVOS PARA MADERA DE 1; 1 1/2; 2 PULG | kg | 8,00 | 1,74 | 13,92 |
| 3.5 | Hormigón | | | | |
| 3.5.1 | HORMIGON SIMPLE F'c= 210 KG/CM ² | m ³ | 13,8 | 133,82 | 1846,72 |
| | SUBTOTAL | | | | 4439,48 |
| 4 | CAJAS VALVULA ROMPE PRESIONES Y VALVULA FLOTADORA 2m x 1m x1,50m (5 UNI) | | | | |
| 4.1 | Obras preliminares | | | | |
| 4.1.1 | LIMPIEZA Y DESBROCE DE CAPA VEGETAL | m ² | 10,00 | 2,41 | 24,100 |
| 4.1.2 | REPLANTEO, TRAZADO Y NIVELACION | m ² | 10,00 | 1,43 | 14,30 |
| 4.2 | Movimiento de tierras | | | | |
| 4.2.1 | EXCAVACION A MANO (EN TIERRA) | m ³ | 15,00 | 5,29 | 79,35 |
| 4.2.2 | DESALOJO DE MATERIAL A MANO | m ³ | 15,00 | 4,42 | 66,30 |
| 4.3 | Acero de refuerzo | | | | |
| 4.3.1 | MALLA ELECTROSOLDADA 8-15mm x8mx2,40m | m ² | 45,00 | 5,51 | 247,95 |
| 4.3.2 | ALAMBRE RECOCIDO # 18 - 20 KG | kg | 1,00 | 1,70 | 1,70 |
| 4.3.3 | TAPA 1,6 x 0,6 M TOOL GALVANIZADO 1/32" | u | 5,00 | 31,27 | 156,35 |
| 4.4 | Encofrado y desencofrado | | | | |
| 4.4.1 | TABLA DE MONTE 2,40 X 0,20M; e=25MM | u | 63,00 | 2,27 | 143,01 |
| 4.4.2 | TIRAS DE EUCALIPTO DE 2.40*0.04*0.04 M. (SECA A INTERPERIE) | u | 30,00 | 2,63 | 78,90 |
| 4.4.3 | CLAVOS PARA MADERA DE 1; 1 1/2; 2 PULG | kg | 2,50 | 1,74 | 4,35 |
| 4.5 | Hormigón | | | | |
| 4.5.1 | HORMIGON SIMPLE F'c= 210 KG/CM ² | m ³ | 4,50 | 133,82 | 602,19 |
| | SUBTOTAL | | | | 1418,5 |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|-----------------------|--|----------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| 5 | CAJAS VALVULA DE DESAGUE 1m x 1m x1,50m (2 UNIDADES) | | | | |
| 5.1 | Obras preliminares | | | | |
| 5.1.1 | LIMPIEZA Y DESBROCE DE CAPA VEGETAL | m ² | 2,00 | 2,41 | 4,82 |
| 5.1.2 | REPLANTEO, TRAZADO Y NIVELACION | m ² | 2,00 | 1,43 | 2,86 |
| 5.2 | Movimiento de tierras | | | | |
| 5.2.1 | EXCAVACION A MANO (EN TIERRA) | m ³ | 3,00 | 6,80 | 20,40 |
| 5.2.2 | DESALOJO DE MATERIAL A MANO | m ³ | 3,00 | 4,42 | 13,26 |
| 5.3 | Acero de refuerzo | | | | |
| 5.3.1 | MALLA ELECTROSOLDADA 8-15mm x8mx2,40m | m ² | 12,00 | 5,51 | 66,12 |
| 5.3.2 | ALAMBRE RECOCIDO # 18 - 20 KG | kg | 1,00 | 1,70 | 1,70 |
| 5.3.3 | TAPA 0,6 x 0,6 M TOOL GALVANIZADO 1/32" | u | 2,00 | 31,27 | 62,54 |
| 5.4 | Encofrado y desencofrado | | | | |
| 5.4.1 | TABLA DE MONTE 2,40 X 0,20M; e=25MM | u | 17,00 | 2,27 | 38,59 |
| 5.4.2 | TIRAS DE EUCALIPTO DE 2.40*0.04*0.04 M. (SECA A INTERPERIE) | u | 8,00 | 2,63 | 21,04 |
| 5.4.3 | CLAVOS PARA MADERA DE 1; 1 1/2; 2 PULG | kg | 1,00 | 1,74 | 1,74 |
| 5.5 | Hormigón | | | | |
| 5.5.1 | HORMIGON SIMPLE F'c= 210 KG/CM ² | m ³ | 1,20 | 133,82 | 160,58 |
| 5.6 | Tee PVC | | | | |
| 5.6.1 | TEE PVC E/C D= 20 MM | u | 2,00 | 0,65 | 1,30 |
| 5.7 | Válvulas de compuerta RW | | | | |
| 5.7.1 | VALVULA DE COMPUERTA RW D=20 MM | u | 2,00 | 5,48 | 10,96 |
| 5.8 | Unión PVC | | | | |
| 5.8.1 | UNION UNIVERSAL PVC HEMBRA E/C D= 1/2 PLG | u | 2,00 | 6,54 | 13,08 |
| SUBTOTAL | | | | | 418,994 |
| COSTO TOTAL \$ | | | | | 225'253, 63 |

Anexo 9: Cronograma referencial valorado para la construcción del sistema de riego

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | PRECIO TOTAL (USD) | % | MESES | | | | | | % | |
|--------|--|--------------------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|-----|--|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | |
| 1 | PRELIMINARES | | | | | | | | | | |
| 1.1 | Obras preliminares | | | | | | | | | | |
| 1.1.1 | LIMPIEZA Y DESBROCE DE CAPA VEGETAL | 18839,57 | 8,364 | | | 4709,89 | 4709,89 | 4709,89 | 4709,89 | 100 | |
| 1.1.2 | REPLANTEO Y NIVELACION | 11178,67 | 4,963 | 5589,33 | 5589,33 | | | | | | |
| 1.2 | Movimiento de tierras | | | | | | | | | | |
| 1.2.1 | EXCAVACION A MANO (EN TIERRA) | 62029,91 | 27,538 | | | 15507,48 | 15507,48 | 15507,48 | 15507,48 | | |
| 1.2.2 | DESALOJO DE MATERIAL A MANO | 51828,39 | 23,009 | | | 12957,10 | 12957,10 | 12957,10 | 12957,10 | | |
| 1.2.3 | TENDIDO Y COMPACTADO DE CAMA DE ARENA/MATERIAL DEL LUGAR | 5175,05 | 2,297 | | | 1293,76 | 1293,76 | 1293,76 | 1293,76 | | |
| 1.2.4 | RELLENO Y COMPACTADO MANUAL CON MATERIAL DEL LUGAR | 35568,29 | 15,790 | | | 8892,07 | 8892,07 | 8892,07 | 8892,07 | | |
| 2 | INSTALACIONES | | | | | | | | | | |
| | Sistema hidráulico | | | | | | | | | | |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | PRECIO TOTAL (USD) | % | MESES | | | | | |
|--------|--|--------------------|-------|-------|---|---------|---------|---------|--------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2.1.1 | TUBERIA PVC E/C D=140 MM - 0.50 MPA | 2342,97 | 1,040 | | | 780,99 | 780,99 | 780,99 | |
| 2.1.2 | TUBERIA PVC E/C D=125 MM - 0.50 MPA | 9938,81 | 4,412 | | | 3312,94 | 3312,94 | 3312,94 | |
| 2.1.3 | TUBERIA PVC E/C D=110 MM - 0.50 MPA | 860,29 | 0,382 | | | 860,29 | | | |
| 2.1.4 | TUBERIA PVC E/C D=110 MM - 1.25 MPA | 157,34 | 0,070 | | | 52,45 | 52,45 | 52,45 | |
| 2.1.5 | TUBERIA PVC E/C D=90 MM - 0.50 MPA | 7016,63 | 3,115 | | | 2338,88 | 2338,88 | 2338,88 | |
| 2.1.6 | TUBERIA PVC E/C D=75 MM - 0.50 MPA | 188,20 | 0,084 | | | 94,10 | 94,10 | | |
| 2.1.7 | TUBERIA PVC E/C D=63 MM - 0.63 MPA | 1006,59 | 0,447 | | | | | 503,29 | 503,29 |
| 2.1.8 | TUBERIA PVC E/C D=50 MM - 0.63 MPA | 985,08 | 0,437 | | | | 328,36 | 328,36 | 328,36 |
| 2.1.9 | TUBERIA PVC E/C D=40 MM - 0.63 MPA | 953,76 | 0,423 | | | | 317,92 | 317,92 | 317,92 |
| 2.1.10 | TUBERIA PVC E/C D=40 MM - 1.25 MPA | 577,30 | 0,256 | | | | | 577,30 | |
| 2.1.11 | TUBERIA PVC E/C D=32 MM - 0.80 MPA | 1138,92 | 0,506 | | | | 379,64 | 379,64 | 379,64 |
| 2.1.12 | TUBERIA PVC E/C D=25 MM - 1.00 MPA | 1635,58 | 0,726 | | | 408,89 | 408,89 | 408,89 | 408,89 |
| 2.1.13 | TUBERIA PVC E/C D=20 MM - 0.50 MPA | 582,97 | 0,259 | | | 145,74 | 145,74 | 145,74 | 145,74 |

90

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | PRECIO TOTAL (USD) | % | MESES | | | | | |
|--------|---|--------------------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | Accesorios | | | | | | | | |
| 2.2 | Válvulas de Aire | | | | | | | | |
| 2.2.1 | VALVULA DE AIRE SIMPLE EFECTO D= 1 PULG (PLÁSTICA) | 174,85 | 0,078 | | | | 87,43 | 87,43 | |
| 2.2.2 | VALVULA ESFERICA CON ROSCA DE D= 1 PULG (METÁLICA) | 140,53 | 0,062 | | | | 70,27 | 70,27 | |
| 2.2.3 | VALVULA FLOTADORA DE BRONCE D=3/4 PULG | 14,79 | 0,007 | | | | | 14,79 | |
| 2.3 | Collar de derivación PE, PP y PVC (Accesorios) | | | | | | | | |
| 2.3.1 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 140 MM x 1" | 12,49 | 0,006 | | | | 12,49 | | |
| 2.3.2 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 125 MM x 1" | 50,34 | 0,022 | | | 12,59 | 12,59 | 12,59 | 12,59 |
| 2.3.3 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 90 MM x 1" | 21,90 | 0,010 | | | 5,48 | 5,48 | 5,48 | 5,48 |
| 2.3.4 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 50 MM x 1" | 1,81 | 0,001 | | | | | 1,81 | |
| 2.4 | Válvulas de compuerta HF | | | | | | | | |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | PRECIO TOTAL (USD) | % | MESES | | | | | | |
|--------|--|--------------------|-------|-------|---|--------|--------|--------|--------|----|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 2.4.1 | VALVULA DE COMPUERTA HF D=140 MM BRIDADA | 272,40 | 0,121 | | | 272,40 | | | | 80 |
| 2.4.2 | VALVULA DE COMPUERTA HF D=125 MM BRIDADA | 191,14 | 0,085 | | | 191,14 | | | | |
| 2.4.3 | VALVULA DE COMPUERTA HF D=90 MM BRIDADA | 346,38 | 0,154 | | | 346,38 | | | | |
| 2.4.4 | VALVULA DE COMPUERTA HF D=63 MM BRIDADA | 66,26 | 0,029 | | | 66,26 | | | | |
| 2.4.5 | VALVULA DE COMPUERTA HF D=50 MM BRIDADA | 99,88 | 0,044 | | | | | 49,94 | 49,94 | |
| 2.4.6 | VALVULA DE COMPUERTA HF D=40 MM BRIDADA | 93,26 | 0,041 | | | | | 46,63 | 46,63 | |
| 2.5 | Válvulas de compuerta RW | | | | | | | | | |
| 2.5.1 | VALVULA DE COMPUERTA RW D=32 MM | 467,50 | 0,208 | | | 116,88 | 116,88 | 116,88 | 116,88 | |
| 2.5.2 | VALVULA DE COMPUERTA RW D=25 MM | 394,10 | 0,175 | | | 98,53 | 98,53 | 98,53 | 98,53 | |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | PRECIO TOTAL (USD) | % | MESES | | | | | |
|--------|--|--------------------|-------|-------|---|-------|-------|-------|---------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2.5.3 | VALVULA DE COMPUERTA RW D=20 MM | 175,36 | 0,078 | | | 43,84 | 43,84 | 43,84 | 43,84 |
| 2.6 | Válvulas hidráulicas reductoras de presión | | | | | | | | |
| 2.6.1 | VALVULA HIDRAULICA REDUCTORA DE PRESION D=125 MM BRIDADA | 1464,79 | 0,650 | | | | | | 1464,79 |
| 2.6.2 | VALVULA HIDRAULICA REDUCTORA DE PRESION D=90 MM BRIDADA | 929,64 | 0,413 | | | | | | 929,64 |
| 2.6.3 | VALVULA HIDRAULICA REDUCTORA DE PRESION D=63 MM BRIDADA | 676,52 | 0,300 | | | | | | 676,52 |
| 2.6.4 | VALVULA HIDRAULICA REDUCTORA DE PRESION D=50 MM BRIDADA | 552,64 | 0,245 | | | | | | 552,64 |
| 2.7 | Tee y Tee reductora | | | | | | | | |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | PRECIO TOTAL (USD) | % | MESES | | | | | |
|--------|--------------------------------------|--------------------|-------|-------|---|-------|-------|-------|------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2.7.1 | TEE REDUCTORA PVC E/C D= 125 A 63 MM | 38,32 | 0,017 | | | | | 38,32 | |
| 2.7.2 | TEE REDUCTORA PVC E/C D= 110 A 63 MM | 12,10 | 0,005 | | | 12,10 | | | |
| 2.7.3 | TEE REDUCTORA PVC E/C D= 90 A 63 MM | 4,33 | 0,002 | | | 4,33 | | | |
| 2.7.4 | TEE REDUCTORA PVC E/C D= 90 A 50 MM | 4,01 | 0,002 | | | | | | 4,01 |
| 2.7.5 | TEE REDUCTORA PVC E/C D= 90 A 32 MM | 3,13 | 0,001 | | | 3,13 | | | |
| 2.7.6 | TEE PVC E/C D= 125 MM | 17,07 | 0,008 | | | | 17,07 | | |
| 2.7.7 | TEE PVC E/C D= 110 MM | 6,55 | 0,003 | | | 6,55 | | | |
| 2.7.8 | TEE PVC E/C D= 50 MM | 0,92 | 0,000 | | | | | | 0,92 |
| 2.7.9 | TEE PVC E/C D= 40 MM | 0,99 | 0,000 | | | | | | 0,99 |
| 2.8 | Codos PVC de 90° | | | | | | | | |
| 2.8.1 | CODO PVC E/C X 90° D= 40 MM | 0,60 | 0,000 | | | | | | 0,60 |
| 2.8.2 | CODO PVC E/C X 90° D= 32 MM | 10,75 | 0,005 | | | 2,69 | 2,69 | 2,69 | 2,69 |
| 2.8.3 | CODO PVC E/C X 90° D= 25 MM | 10,15 | 0,005 | | | 2,54 | 2,54 | 2,54 | 2,54 |
| 2.8.4 | CODO PVC E/C X 90° D= 20 MM | 14,72 | 0,007 | | | 3,68 | 3,68 | 3,68 | 3,68 |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | PRECIO TOTAL (USD) | % | MESES | | | | | |
|--------|--|--------------------|-------|-------|---|-------|------|------|------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2.8.5 | CODO PVC E/C X 45° D= 90 MM | 3,38 | 0,002 | | | 3,38 | | | |
| 2.8.6 | CODO PVC E/C X 45° D= 140 MM | 64,00 | 0,028 | | | 64,00 | | | |
| 2.9 | Tapón PVC | | | | | | | | |
| 2.9.1 | TAPON HEMBRA PVC E/C D= 50 MM | 0,43 | 0,000 | | | 0,43 | | | |
| 2.9.2 | TAPON HEMBRA PVC E/C D= 40 MM | 0,36 | 0,000 | | | 0,36 | | | |
| 2.9.3 | TAPON HEMBRA PVC E/C D= 32 MM | 0,56 | 0,000 | | | | | 0,56 | |
| 2.9.4 | TAPON HEMBRA PVC E/C D= 25 MM | 3,08 | 0,001 | | | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 |
| 2.9.5 | TAPON HEMBRA PVC E/C D= 20 MM | 0,80 | 0,000 | | | 0,40 | 0,40 | | |
| 2.10 | Reductor buje PVC | | | | | | | | |
| 2.10.1 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 140 A 125 MM | 4,72 | 0,002 | | | 4,72 | | | |
| 2.10.2 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 125 A 110 MM | 3,89 | 0,002 | | | 3,89 | | | |
| 2.10.3 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 125 A 50 MM | 3,14 | 0,001 | | | | 3,14 | | |
| 2.10.4 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 110 A 90 MM | 5,48 | 0,002 | | | 5,48 | | | |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | PRECIO TOTAL (USD) | % | MESES | | | | | |
|---------|--|--------------------|-------|-------|---|------|------|------|------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2.10.5 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 90 A 75 MM | 1,28 | 0,001 | | | | 1,28 | | |
| 2.10.6 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 90 A 50 MM | 1,55 | 0,001 | | | | 1,55 | | |
| 2.10.7 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 75 A 63 MM | 0,87 | 0,000 | | | 0,87 | | | |
| 2.10.8 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 63 A 50 MM | 1,02 | 0,000 | | | 0,51 | 0,51 | | |
| 2.10.9 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 63 A 40 MM | 2,98 | 0,001 | | | 1,49 | | 1,49 | |
| 2.10.10 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 50 A 40 MM | 2,32 | 0,001 | | | | | 1,16 | 1,16 |
| 2.10.11 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 50 A 20 MM | 0,46 | 0,000 | | | 0,46 | | | |
| 2.10.12 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 40 A 25 MM | 1,12 | 0,000 | | | | | 0,56 | 0,56 |
| 2.10.13 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 32 A 25 MM | 0,12 | 0,000 | | | | | 0,12 | |
| 2.10.14 | REDUCTOR BUJE PVC E/C D= 32 A 20 MM | 0,10 | 0,000 | | | 0,10 | | | |
| 2.11 | Unión PVC | | | | | | | | |
| 2.11.1 | UNION UNIVERSAL PVC HEMBRA E/C D= 3 PULG | 9,95 | 0,004 | | | 9,95 | | | |

50

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | PRECIO TOTAL (USD) | % | MESES | | | | | |
|--------|---|--------------------------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2.12 | Collar de derivación PE, PP y PVC (Accesorios) | | | | | | | | |
| 2.12.1 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 140 MM x 3/4" | 12,49 | 0,006 | | | 12,49 | | | |
| 2.12.2 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 140 MM x 1/2" | 11,35 | 0,005 | | | 11,35 | | | |
| 2.12.3 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 125 MM x 3/4" | 117,46 | 0,052 | | | 29,37 | 29,37 | 29,37 | 29,37 |
| 2.12.4 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 125 MM x 1" | 83,90 | 0,037 | | | 20,98 | 20,98 | 20,98 | 20,98 |
| 2.12.5 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 125 MM x 1/2" | 8,39 | 0,004 | | | | 8,39 | | |
| 2.12.6 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 110 MM x 1/2" | 5,71 | 0,003 | | | | 5,71 | | |
| 2.12.7 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 90 MM x 3/4" | 35,04 | 0,016 | | | 8,76 | 8,76 | 8,76 | 8,76 |
| 2.12.8 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 90 MM x 1" | 17,52 | 0,008 | | | 8,76 | 8,76 | | |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | PRECIO TOTAL (USD) | % | MESES | | | | | | |
|---------|--------------------------------------|--------------------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 2.12.9 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 90 MM x 1/2" | 56,94 | 0,025 | | | 14,24 | 14,24 | 14,24 | 14,24 | |
| 2.12.10 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 75 MM x 1" | 4,11 | 0,002 | | | | 4,11 | | | |
| 2.12.11 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 63 MM x 1/2" | 8,52 | 0,004 | | | | 2,84 | 2,84 | 2,84 | |
| 2.12.12 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 63 MM x 3/4" | 2,84 | 0,001 | | | | | 2,84 | | |
| 2.12.13 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 63 MM x 1" | 5,68 | 0,003 | | | 5,68 | | | | |
| 2.12.14 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 50 MM x 1" | 7,24 | 0,003 | | | 3,62 | 3,62 | | | |
| 2.12.15 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 50 MM x 3/4" | 1,81 | 0,001 | | | | | | | 1,81 |
| 2.12.16 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 50 MM x 1/2" | 5,43 | 0,002 | | | | | 2,72 | 2,72 | |

40

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | PRECIO TOTAL (USD) | % | MESES | | | | | |
|---------|--|--------------------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2.12.17 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 40 MM x 1" | 7,12 | 0,003 | | | 2,37 | | 2,37 | 2,37 |
| 2.12.18 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 40 MM x 3/4" | 8,90 | 0,004 | | | 2,97 | 2,97 | 2,97 | |
| 2.12.19 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 32 MM x 3/4" | 1,44 | 0,001 | | | | | 1,44 | |
| 2.12.20 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 32 MM x 1/2" | 7,20 | 0,003 | | | 7,20 | | | |
| 2.12.21 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 25 MM x 1/2" | 5,55 | 0,002 | | | | | 2,78 | 2,78 |
| 2.12.22 | COLLAR DE DERIVACIÓN PP 25 MM x 3/4" | 6,66 | 0,003 | | | | | 3,33 | 3,33 |
| 2.13 | Aditivos | | | | | | | | |
| 2.13.1 | POLIPEGA GALON 3785 CC PARA TUBERIAS PVC DE HASTA 200 MM | 105,80 | 0,047 | | | 26,45 | 26,45 | 26,45 | 26,45 |
| 2.13.2 | TEFLON (ROLLO 1/2 PULG X 10 M) | 11,40 | 0,005 | | | 2,85 | 2,85 | 2,85 | 2,85 |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | PRECIO TOTAL (USD) | % | MESES | | | | | |
|--------|---|--------------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2.13.3 | SILICON ADHESIVO SELLADOR NEGRO PERMATEX 3,35 OZ | 52,00 | 0,023 | | | 13,00 | 13,00 | 13,00 | 13,00 |
| 3 | CAJAS VALVULAS DE AIRE Y VALVULAS DE COMPUERTA HF 1m x 1m x1,50m (23 UNIDADES) | | | | | | | | |
| 3.1 | Obras preliminares | | | | | | | | |
| 3.1.1 | LIMPIEZA Y DESBROCE DE CAPA VEGETAL | 55,43 | 0,025 | 55,43 | | | | | |
| 3.1.2 | REPLANTEO, TRAZADO Y NIVELACION | 32,89 | 0,015 | 32,89 | | | | | |
| 3.2 | Movimiento de tierras | | | | | | | | |
| 3.2.1 | EXCAVACION A MANO (EN TIERRA) | 182,51 | 0,081 | 91,25 | 91,25 | | | | |
| 3.2.2 | DESALOJO DE MATERIAL A MANO | 152,49 | 0,068 | 76,25 | 76,25 | | | | |
| 3.3 | Acero de refuerzo | | | | | | | | |
| 3.3.1 | MALLA ELECTROSOLDADA 8-15mm x8mx2,40m | 760,38 | 0,338 | 380,19 | 380,19 | | | | |
| 3.3.2 | ALAMBRE RECOCIDO # 18 - 20 KG | 3,40 | 0,002 | 1,70 | 1,70 | | | | |
| 3.3.3 | TAPA 0,6x 0,6 M TOOL GALVANIZADO 1/32" | 719,21 | 0,319 | | 719,21 | | | | |
| 3.4 | Encofrado y desencofrado | | | | | | | | |

30

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | PRECIO TOTAL (USD) | % | MESES | | | | | |
|--------|--|--------------------|-------|--------|--------|---|---|---|---|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 3.4.1 | TABLA DE MONTE 2,40 X 0,20M; e=25MM | 435,84 | 0,193 | 217,92 | 217,92 | | | | |
| 3.4.2 | TIRAS DE EUCALIPTO DE 2.40*0.04*0.04 M. | 236,70 | 0,105 | 118,35 | 118,35 | | | | |
| 3.4.3 | CLAVOS PARA MADERA DE 1; 1 1/2; 2 PULG | 13,92 | 0,006 | 6,96 | 6,96 | | | | |
| 3.5 | Hormigón | | | | | | | | |
| 3.5.1 | HORMIGON SIMPLE F´C= 210 KG/CM² | 1846,72 | 0,820 | 923,36 | 923,36 | | | | |
| 4 | CAJAS VALVULA ROMPE PRESIONES Y VALVULA FLOTADORA 2m x 1m x1,50m (5 UNIDADES) | | | | | | | | |
| 4.1 | Obras preliminares | | | | | | | | |
| 4.1.1 | LIMPIEZA Y DESBROCE DE CAPA VEGETAL | 24,10 | 0,011 | 24,10 | | | | | |
| 4.1.2 | REPLANTEO, TRAZADO Y NIVELACION | 14,30 | 0,006 | 14,30 | | | | | |
| 4.2 | Movimiento de tierras | | | | | | | | |
| 4.2.1 | EXCAVACION A MANO (EN TIERRA) | 79,35 | 0,035 | 39,68 | 39,68 | | | | |
| 4.2.2 | DESALOJO DE MATERIAL A MANO | 66,30 | 0,029 | 33,15 | 33,15 | | | | |
| 4.3 | Acero de Refuerzo | | | | | | | | |

20

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | PRECIO TOTAL (USD) | % | MESES | | | | | |
|--------|---|--------------------|-------|--------|--------|---|---|---|----|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 4.3.1 | MALLA ELECTROSOLDADA 8-15mm x8mx2,40m | 247,95 | 0,110 | 123,98 | 123,98 | | | | |
| 4.3.2 | ALAMBRE RECOCIDO # 18 - 20 KG | 1,70 | 0,001 | 0,85 | 0,85 | | | | |
| 4.3.3 | TAPA 1,6 x 0,6 M TOOL GALVANIZADO 1/32" | 156,35 | 0,069 | | 156,35 | | | | |
| 4.4 | Encofrado y desencofrado | | | | | | | | |
| 4.4.1 | TABLA DE MONTE 2,40 X 0,20M; e=25MM | 143,01 | 0,063 | 71,51 | 71,51 | | | | |
| 4.4.2 | TIRAS DE EUCALIPTO DE 2.40*0.04*0.04 M. | 78,90 | 0,035 | 39,45 | 39,45 | | | | |
| 4.4.3 | CLAVOS PARA MADERA DE 1; 1 1/2; 2 PULG | 4,35 | 0,002 | 2,18 | 2,18 | | | | |
| 4.5 | Hormigón | | | | | | | | |
| 4.5.1 | HORMIGON SIMPLE F'c= 210 KG/CM² | 602,19 | 0,267 | 301,10 | 301,10 | | | | |
| 5 | CAJAS VALVULA DE DESAGUE 1m x 1m x1,50m (2 UNIDADES) | | | | | | | | |
| 5.1 | Obras preliminares | | | | | | | | |
| 5.1.1 | LIMPIEZA Y DESBROCE DE CAPA VEGETAL | 4,82 | 0,002 | 4,82 | | | | | |
| 5.1.2 | REPLANTEO, TRAZADO Y NIVELACION | 2,86 | 0,001 | 2,86 | | | | | 10 |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | PRECIO TOTAL (USD) | % | MESES | | | | | |
|--------|--|--------------------------|-------|--------|--------|---|---|---|---|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 5.2 | Movimiento de tierras | | | | | | | | |
| 5.2.1 | EXCAVACION A MANO (EN TIERRA) | 20,40 | 0,009 | 10,20 | 10,20 | | | | |
| 5.2.2 | DESALOJO DE MATERIAL A MANO | 13,26 | 0,006 | 6,63 | 6,63 | | | | |
| 5.3 | Acero de refuerzo | | | | | | | | |
| 5.3.1 | MALLA ELECTROSOLDADA 8- 15mm x8mx2,40m | 66,12 | 0,029 | 33,06 | 33,06 | | | | |
| 5.3.2 | ALAMBRE RECOCIDO # 18 - 20 KG | 1,70 | 0,001 | 0,85 | 0,85 | | | | |
| 5.3.3 | TAPA 0,6 x 0,6 M TOOL GALVANIZADO 1/32" | 62,54 | 0,028 | | 62,54 | | | | |
| 5.4 | Encofrado y desencofrado | | | | | | | | |
| 5.4.1 | TABLA DE MONTE 2,40 X 0,20M; e=25MM | 38,59 | 0,017 | 19,295 | 19,295 | | | | |
| 5.4.2 | TIRAS DE EUCALIPTO DE 2.40*0.04*0.04 M. | 21,04 | 0,009 | 10,52 | 10,52 | | | | |
| 5.4.3 | CLAVOS PARA MADERA DE 1; 1 1/2; 2 PULG | 1,74 | 0,001 | 0,87 | 0,87 | | | | |
| 5.5 | Hormigón | | | | | | | | |
| 5.5.1 | HORMIGON SIMPLE F´C= 210 KG/CM² | 160,58 | 0,071 | 80,29 | 80,29 | | | | |
| 5.6 | Tee PVC | | | | | | | | |

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | PRECIO TOTAL (USD) | % | MESES | | | | | |
|--------------|--|--------------------------|------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 5.6.1 | TEE PVC E/C D= 20 MM | 1,30 | 0,001 | | | | 0,65 | 0,65 | |
| 5.7 | Válvulas de compuerta RW | | | | | | | | |
| 5.7.1 | VALVULA DE COMPUERTA RW D=20 MM | 10,96 | 0,005 | | | | 5,48 | 5,48 | |
| 5.8 | Unión PVC | | | | | | | | |
| 5.8.1 | UNION UNIVERSAL PVC HEMBRA E/C D= 1/2 PULG | 13,08 | 0,006 | | | | 6,54 | 6,54 | |
| TOTAL | | 225'253,63 | 100 | 8313,30 | 9117,00 | 52809,96 | 52166,02 | 53256,34 | 49591,01 |

Anexo 10: Planos de la línea de conducción principal y secundaria