

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

Estudio para mejoramiento del sistema hidrotécnico para el proyecto de riego de las comunidades de Cachi y Rumipamba del cantón Girón, provincia del Azuay

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Autores:

Danny Javier Guamán Llivichuzhca

Juan Carlos Guanuchi Mendieta

Director:

Esteban Alonso Pacheco Tobar

ORCID:  0000-0001-9292-7193

Cuenca, Ecuador

2024-09-11

Resumen

El presente trabajo da un aporte al desarrollo de riego en la región mediante el estudio técnico para el proyecto de las comunidades de Cachi y Rumipamba del cantón Girón, gestionado por el Gobierno Provincial del Azuay. El estudio contempla: 1) Caracterización biofísica del área de proyecto; 2) Diseño hidrotécnico para la conducción principal y la red de distribución secundaria; 3) Valorización económica de la conducción y distribución secundaria del proyecto.

Del levantamiento de información, con colaboración de los usuarios, se obtuvo elementos clave para disponer de un diagnóstico actual del proyecto y la definición del área regable. Mediante un estudio climatológico, se determinó los requerimientos hídricos de los cultivos contemplados en el proyecto, habiéndose identificado máximas necesidades entre los meses de junio y noviembre con valores pico de 3307 ($m^3/día$). Para el diseño hidráulico se contempló: i) Caudal de diseño 51.33 (L/s) correspondiente a un caudal característico de 0.5 (L/s/ha) para un área total de riego de 88.3 ha; y, ii) Frecuencia de riego de 7 días y turnos rotativos de 12 horas para 12 sectores, con un promedio de 7.4 ha por usuario. Se diseñó la conducción y distribución presurizada, en la que se obtuvo diámetros entre 160 y 250 mm para la conducción principal y diámetros entre 50 y 160 mm para las líneas secundarias. El estudio incluye planos del proyecto, informe técnico, y el presupuesto para la construcción.

Palabras clave del autor: riego tecnificado, métodos de riego, catastro de usuarios, Epanet



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

This work contributes to the development of irrigation in the region through a technical study for the project in the communities of Cachi and Rumipamba in the Girón canton, managed by the Provincial Government of Azuay. The study includes: 1) Biophysical characterization of the project area; 2) Hydrotechnical design for the main conveyance and the secondary distribution network; 3) Economic valuation of the conveyance and secondary distribution of the project.

Information gathering, in collaboration with the users, provided key elements for obtaining a current diagnosis of the project and defining the irrigable area. Through a climatological study, the water requirements of the crops considered in the project were determined, with maximum needs identified between the months of June and November, peaking at 3307 m³/day. For the hydraulic design, the following were considered: i) Design flow of 51.33 L/s, corresponding to a characteristic flow of 0.5 L/s/ha for a total irrigation area of 88.3 ha; and, II) irrigation frequency of 7 days and 12-hour rotating shifts for 12 sectors, with an average of 7.4 ha per user. The pressurized conveyance and distribution system was designed with diameters ranging from 160 to 250 mm for the main conveyance and from 50 to 200mm for the secondary lines. The study includes project plans, a technical report, and the construction budget.

Author keywords: technified irrigation, irrigation methods, user registry, Epanet



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

1. Introducción	9
1.1. Antecedentes y justificación	9
1.2. Justificación	9
1.3. Objetivos	9
Objetivo general	9
Objetivo específico	10
2. Consideraciones técnicas relevantes para el dimensionamiento del proyecto de riego	10
2.1. Determinación de las necesidades de agua para un sistema	10
2.2. Determinación de necesidades de agua para un proyecto de riego	11
2.3. Caudales para el proyecto de riego	13
3. Materiales y métodos: Descripción y análisis del proyecto de riego Cachi Rumipamba	13
3.1. Ubicación de la zona de estudio	13
3.2. Análisis Climatológico	14
3.3. Topografía y catastro para el proyecto de riego	15
3.4. Demanda hídrica	16
3.5. Parámetros que intervienen en el caudal del diseño	17
3.6. Diseño hidráulico del proyecto de riego	18
4. Resultados y análisis del proyecto	20
4.1. Diagnostico actual de la infraestructura actual	20
4.2. Levantamiento topográfico	21
4.3. Determinación de necesidades hídricas del proyecto de riego	22
4.4. Alternativas de horarios para la distribución del proyecto de riego	25
4.5. Planificación de la distribución de las zonas de riego	26
4.6. Diseño Hidráulico de la captación	27
4.7. Diseño hidráulico: Trazado de la matriz y las redes secundarias	28
4.8. Diseño hidráulico: Dimensionamiento de la red matriz y secundaria	29
4.9. Modelización de la red hidráulica en EPANET 2.0	31
4.10. Diseño de tanque anulador de presión	33
4.11. Válvulas de seguridad	34
4.12. Mantenimiento	34
4.13. Presupuestos	35
5. Conclusiones y Recomendaciones	37

Índice de figuras

Figura 1 Ubicación de la zona del proyecto de riego Cachi-Rumipamba	14
Figura 3. Esquema levantamiento topográfico de la configuración del canal actual	21
Figura 5 Precipitación efectiva de la zona.	23
Figura 6. Capa ráster y esquema catastro de cobertura de uso de suelo de las comunidades Cachi y Rumipamba.....	24
Figura 7. Sectorización de las parcelas de las comunidades Cachi y Rumipamba.....	27
Figura 8. Esquema trazo de tubería para el canal de riego	29
Figura 9. Modelización de la zona 12 en EPANET 2.2.	32

Índice de tablas

Tabla 1 Promedios mensuales de precipitación. Fuente (Prefectura del Azuay)	15
Tabla 2. Promedios diarios de temperatura de zona de estudio. Fuente (Prefectura del Azuay)	15
Tabla 3 Promedios diarios de Radiación Solar. Fuente (Prefectura del Azuay)	15
Tabla 4 Coeficiente de cultivo correspondientes a los cultivos de la zona de Cachi y Rumipamba. Fuente (Allen et al., 2006)	17
Tabla 5. Cultivos representativos de la zona de Cachi-Rumipamba.	20
Tabla 6 Evapotranspiración de referencia diaria	22
Tabla 7. Evapotranspiración de cultivo para los cultivos de la zona [mm/día]	22
Tabla 8 Resultado de precipitación efectiva [mm/día].	23
Tabla 9 Eficiencias de riego para cada cultivo.....	25
Tabla 10 Necesidad bruta del proyecto mensual [m ³ /día]	25
Tabla 11. Alternativas de horario para la distribución del proyecto	26
Tabla 12. Configuración zonal para el calendario de riego.....	26
Tabla 13. Información preliminar utilizada para el diseño.....	28
Tabla 14. Valores de los tirantes de agua de diseño para la compuerta	28
Tabla 15 Diámetros de tubería de la matriz correspondiente al canal de Cachi	29
Tabla 16. Diámetros de tubería de la matriz correspondiente al ramal de Rumipamba	30
Tabla 17 Dimensionamiento de los diámetros de las líneas secundarias	31
Tabla 18 Dimensión de la altura interior de la cámara anuladora de presión.....	34
Tabla 19. Presupuesto referencial para la implementación de matriz de conducción y líneas secundarias de distribución.	36
Tabla 20. Presupuesto referencial para la construcción de una captación tipo compuerta plana.	37
Tabla 21. Presupuesto de un anulador de presión estándar tipo seis.	37

Agradecimientos

A nuestro director, Ing. Esteban Pacheco Tobar, que con su apoyo, esfuerzo y dedicación nos acompañó durante el desarrollo de este trabajo de titulación.

Agradecemos infinitamente a todos los docentes quienes han aportado a nuestro desarrollo intelectual y personal.

A nuestras familias, por su apoyo infinito y respaldo absoluto al formarnos con sus valores para llegar a ser buenos profesionales.

A nuestro amigos y futuros ingenieros por su apoyo incondicional que fueron clave para la realización del proyecto, con especial mención a Kathya Condo y Sebastián Valdez.

Al Ing. Claudio Verdugo y al departamento de Riego de la Prefectura del Azuay, por brindarnos información relevante y soporte técnico en el transcurso del desarrollo del proyecto.

A los habitantes de la Comunidad de Cachi y Rumipamba, por su compromiso en todo momento, y enseñarnos el verdadero significado de trabajo y supervivencia.

Juan Carlos Guanuchi Mendieta

Danny Javier Guamán Llivichuzhca

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo de titulación a mis padres Santiago y Rosa, quienes siempre me han inculcado a no darme por vencido, a alcanzar mis metas y me han ayudado a mantener una perspectiva real sobre lo que es importante en la vida. Agradecerles por su apoyo y sacrificio durante este largo camino llevo de altos y bajos en los que siempre han estado a mi lado. A mis hermanos, Paul y Kevin, por formar parte de mi vida, quienes han compartido tanto alegrías como desafíos en este trayecto, su compañía ha sido impulso para seguir adelante.

A todos mis amigos que me han acompañado en este proceso de formación y han compartido inolvidables momentos dentro y fuera de las aulas y que han dejado huellas imborrables.

Danny

Dedico este trabajo de titulación primeramente a Dios, porque de Él proviene toda sabiduría y conocimiento. También dedico a mis padres Franklin, Olga y a mi hermana Lizbeth, quienes han sido mi mayor inspiración y apoyo incondicional en cada paso de este camino. Gracias por sus enseñanzas y paciencia, y por inculcarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

Juan

1. Introducción

1.1. Antecedentes y justificación

Los sistemas de riego eficientes son importantes para satisfacer las demandas de agua de la producción agrícola. En el Ecuador, la infraestructura de riego existente enfrenta numerosos desafíos, incluido el envejecimiento de la infraestructura, las pérdidas de agua y la distribución ineficiente (Gaybor, 2018). Estos problemas no sólo contribuyen al desperdicio del agua, sino que, estas bajas eficiencias de los proyectos de riego también producen un consumo excesivo de agua, reducción del rendimiento de los cultivos y hasta degradación del suelo (Ortiz et al., 2021).

El Plan Nacional de Riego y Drenaje informa que, si bien Ecuador tiene 1.542.474 hectáreas equipadas con infraestructura de riego, solo 1.012.228 hectáreas fueron efectivamente irrigadas al año 2020, lo que indica un déficit de superficie del 35%. Esta comparativa destaca la considerable brecha en el uso y la optimización de los recursos y sistemas de riego disponibles.

La escasez de agua es una preocupación urgente en Ecuador. Mejorar la eficiencia de los proyectos de riego en el sector agrícola es esencial, ya que, como importante consumidor de recursos de agua, debe optar por estrategias y tecnologías innovadoras para optimizar el uso del agua y al mismo tiempo mantener o mejorar el rendimiento de los cultivos (Banco Mundial, 2021).

1.2. Justificación

La propuesta central de este estudio corresponde a evaluar integralmente el sistema de riego actual en las comunidades de Cachi y Rumipamba para mejorar la eficiencia del uso del agua, reducir las pérdidas de agua y mejorar la productividad agrícola. Al abordar las limitaciones del sistema existente, las propuestas de mejoras promoverán la conservación del agua, aumentarán la eficiencia del riego y apoyarán la sostenibilidad a largo plazo de las actividades agrícolas en la región.

1.3. Objetivos

Objetivo general

Aportar al desarrollo de riego en el austro ecuatoriano mediante la realización del estudio para mejoramiento del sistema hidrotécnico para el proyecto Cachi y Rumipamba del cantón Girón, provincia del Azuay.

Objetivos específicos

- Realizar la caracterización biofísica para ingeniería de riego del proyecto.
- Realizar el diseño del esquema hidrotécnico para la conducción y distribución del proyecto.
- Realizar la valoración económica de la distribución principal y secundaria.

2. Consideraciones técnicas relevantes para el dimensionamiento del proyecto de riego**2.1. Determinación de las necesidades de agua para un sistema**

Un sistema de riego “es el conjunto de instalaciones técnicas que garantizan la organización y realización del mejoramiento de tierras mediante el riego” (Aidarov et al., 1985). El riego es un sistema que consiste en proporcionar agua a los cultivos, con el objetivo de satisfacer las necesidades hídricas, considerando los procesos biofísicos que ocurren en el suelo y la atmósfera.

Las necesidades de agua para el sistema se determinan en según del requerimiento hídrico de los cultivos, que se basa en la evapotranspiración de acuerdo con su fisiología, Además, se considera el aporte potencial de agua proveniente de la precipitación. Este enfoque permite asegurar que los cultivos reciban el agua necesaria para su crecimiento y desarrollo, complementando la cantidad suministrada naturalmente por la precipitación. Para establecer las necesidades globales de un sistema de riego, se considera principalmente:

Evapotranspiración de Referencia

Según la FAO (2006), corresponde a “un cultivo hipotético de pasto, con una altura asumida de 0.12 m, con una resistencia superficial fija de 70 s/m y un albedo de 0.23. La superficie de referencia es muy similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo”. Para estimar la evapotranspiración, la FAO recomienda como método de estimación, el método de Hargreaves cuando no se dispone de todos los parámetros físicos, fisiológicos y climáticos, siendo necesario solamente la temperatura máxima, mínima y media como también la radiación solar.

$$ET_o = 0.0023 \times (T_{media} + 17.8) \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times Ra \quad (1)$$

donde:

ET_o: Evapotranspiración de referencia [mm/d]

T_{media} : Temperatura media [$^{\circ}\text{C}$]

T_{maxima} : Temperatura máxima [$^{\circ}\text{C}$]

T_{minima} : Temperatura media [$^{\circ}\text{C}$]

R_a : Radiación solar [mm/día]

Evapotranspiración de cultivo (ETc)

El método sugerido por la FAO (Allen et al., 2006) establece los requerimientos de agua (ETc) basados en la evapotranspiración de referencia (ETo) y las propiedades físicas de los cultivos, determinadas a través del coeficiente de cultivo (Kc). Este coeficiente distingue y refleja todas las diferencias físicas y fisiológicas entre los cultivos. Así, la evapotranspiración de cultivo (ETc) se calcula utilizando la ecuación (2).

$$ET_c = K_c \times E_{To} \quad (2)$$

dónde

ETc: Evapotranspiración de cultivo [mm/mes]

ETo: Evapotranspiración de referencia [mm/mes]

Kc: Coeficiente de cultivo [adimensional]

2.2. Determinación de necesidades de agua para un proyecto de riego

Precipitación efectiva

A partir de un análisis de frecuencia se evalúa la variabilidad temporal de la precipitación. Este aspecto permite determinar la garantía de ocurrencia a considerarse en función una caracterización previa y de la importancia del proyecto. Mediante el método de weibull se establece una precipitación de garantía de ocurrencia.

La precipitación efectiva, se refiere a la fracción de la precipitación que es utilizable por los cultivos. Esta porción no incluye la cantidad de agua que se pierde por escorrentía superficial, evaporación e infiltración (Pacheco, 2022).

Hay diversos métodos empíricos para determinar la precipitación efectiva, que tienen en cuenta tanto la precipitación total como el uso consuntivo¹ (FAO, 2013). Uno de estos métodos es el de porcentaje fijo de la precipitación. representado en la ecuación (3) a continuación:

$$P_e = a \times P \quad (3)$$

¹ Uso consuntivo: agua transportada a un lugar de uso y la totalidad o parte de ella no retorna al cuerpo de agua

dónde:

P_e : Precipitación efectiva estimada [mm/mes]

a : Porcentaje fijo estimado entre 0.7 y 0.9

P : Precipitación con garantía de ocurrencia [mm/mes]

Norma neta y bruta de riego máximo

La norma de riego o necesidad de agua de riego para las áreas verdes se calcula restando la precipitación efectiva de la evapotranspiración del cultivo. Para determinar la cantidad exacta de agua que debe aplicarse a las áreas verdes para satisfacer sus necesidades hídricas sin desperdiciar recursos. La evapotranspiración del cultivo (ET_c) representa la cantidad de agua que se pierde por evaporación del suelo y transpiración de las plantas, mientras que la precipitación efectiva (P_e) es la porción de la lluvia que realmente contribuye a las necesidades de agua del cultivo. Por lo tanto, la norma de riego se expresa mediante la ecuación (4).

$$NR = (ET_c - P_{efectiva}) \times A_i \times 10 \quad (4)$$

donde

NR : Norma de riego neta [$m^3/día$]

ET_c : Evapotranspiración de cultivo [mm/día]

$P_{efectiva}$: Precipitación efectiva [mm/día]

A_i : Área de cultivo [hectáreas]

Para determinar la necesidad bruta de agua de riego en un proyecto, se considera el área del cultivo y la eficiencia del método de riego, como se presenta en la ecuación (5).

$$NR_{bruta} = \frac{NR}{E_a} \quad (5)$$

dónde:

NR_{bruta} : Necesidad de riego bruta [$m^3/día$]

E_a : Eficiencia de la aplicación [%]

Rendimientos y eficiencias del proyecto de riego

La eficiencia del sistema de riego indica qué parte del agua extraída de la fuente realmente se utiliza en el proceso de riego. Este índice refleja la capacidad del sistema para minimizar las pérdidas y maximizar el aprovechamiento del recurso hídrico, vital para la producción agrícola sostenible. Según (Mafia et al., 2002), la cantidad de agua que se capta desde la

fuelle no es la misma que llega a la parcela. El motivo es debido a las pérdidas en la conducción, distribución y en la aplicación por cada tipo de riego.

Las eficiencias de los métodos de riego proporcionadas por Carrazón (2007) se establece en un 85% para riego por aspersión, 90% por goteo y 65% para riego por riego superficial (surco).

2.3. Caudales para el proyecto de riego

Según los criterios y parámetros técnicos de caudal se determina según la necesidad total del sistema o la necesidad por unidad de área a regar (Pacheco & Carrillo, 2018).

Caudal continuo del proyecto

Se determina mediante la consideración de la superficie a cubrir, los requerimientos diarios y una eficiencia estimada para las pérdidas en la instalación y el transporte del agua. Este indicador se calcula de forma mensualmente. Es posible que necesite ser ajustado según las prácticas de gestión y administración.

Caudal característico del proyecto

Corresponde al caudal continuo equivalente máximo calculado por unidad de superficie (normalmente se expresa en l/s/ha). lo que sirve como indicador del tipo de requerimiento de recurso hídrico de un proyecto de riego.

3. Materiales y métodos: Descripción y análisis del proyecto de riego Cachi Rumipamba

3.1. Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio se sitúa en las comunidades agrícolas de Cachi y Rumipamba, dentro del cantón Girón, provincia de Azuay, Ecuador. La zona de riego presenta características climáticas propias de los ecosistemas montañosos, incluyendo microclimas de trópico frío, con temperaturas medias que oscilan entre 10 y 20 °C. La zona regable se encuentra en un rango altitudinal de 1800 a 2560 metros sobre el nivel del mar, dentro del cual, desde una perspectiva agroecológica, se cultivan diversos tipos de productos que van desde cereales y pastos hasta frutales.

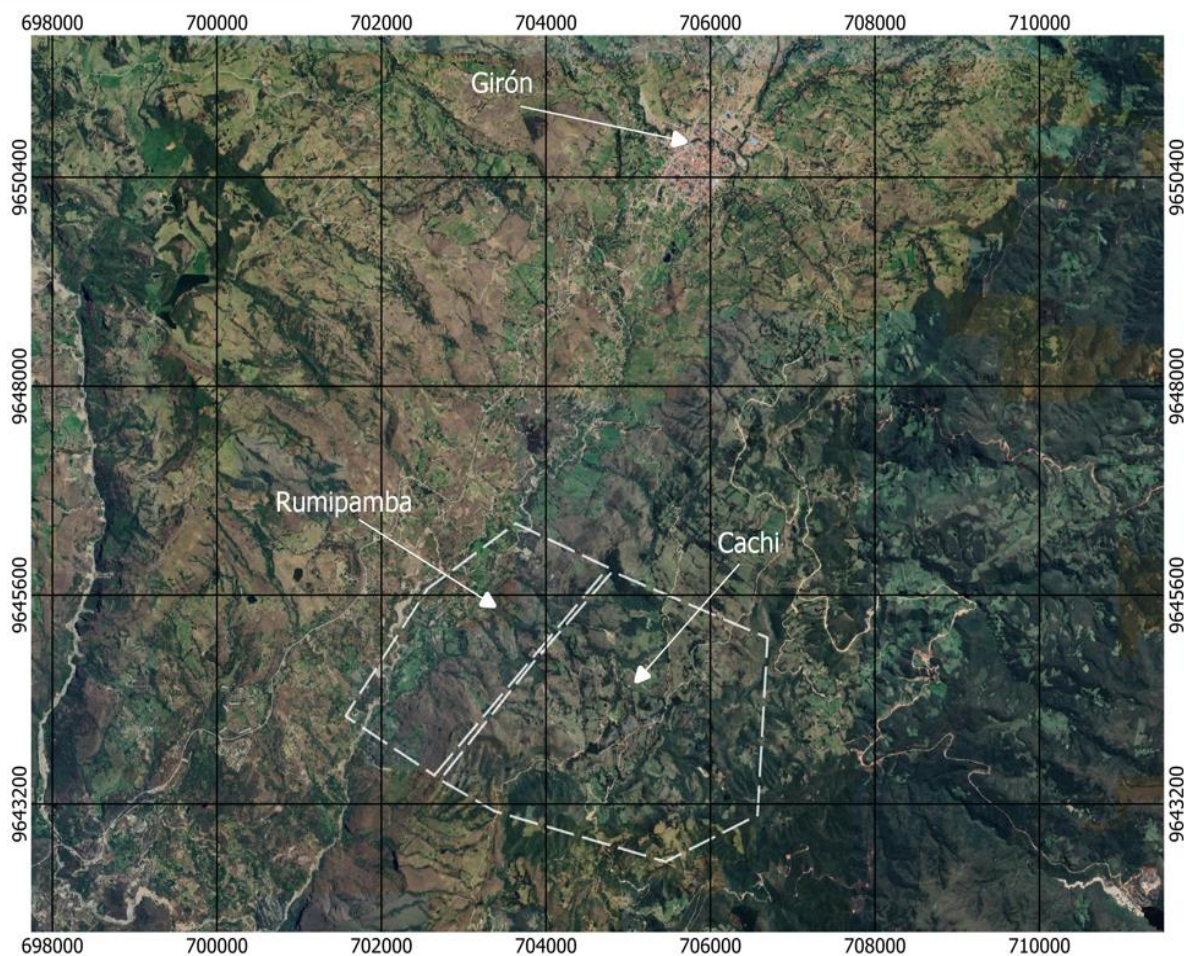


Figura 1 Ubicación de la zona del proyecto de riego Cachi-Rumipamba

Mediante la vista aérea del sitio, se observa que, en la zona de Cachi, el terreno presenta un patrón irregular y accidentado, con numerosas elevaciones y depresiones que indican una topografía variada y escarpada. Para la zona de Rumipamba, se observa que la disposición del terreno es mayormente regular con bastas planicies.

El canal de riego Cachi-Rumipamba obtiene el recurso hídrico del río Rosas estando la captación a una altitud de 2594 m.s.n.m. y sigue la línea de conducción hasta una bifurcación situada a 2475 m.s.n.m. En este punto, el canal se divide en dos ramales para distribuir el caudal a todas las parcelas de las dos comunidades.

3.2. Análisis Climatológico

Se realizó una recopilación de información de los datos históricos de anuarios meteorológicos del INAMI del año 1990 hasta el año 2013. La estación cercana a la zona de estudio es la M0419 Girón (latitud: 3°9'14" S, longitud 79°8'58" W. elevación 2130), se obtuvo los parámetros detallados a continuación.

Precipitación media mensual

Se obtuvo con base a las precipitaciones mensuales de cada año en el periodo desde el año 1990 al año 2013, como se muestra en la Tabla 1.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación mensual [mm/mes]	114.8	131.4	189.2	122.6	44.0	30.4	10.9	6.8	17.7	44.5	62.2	93.6
Precipitación diaria [mm/día]	3.70	4.69	6.10	4.09	1.42	1.01	0.35	0.22	0.59	1.43	2.07	3.02

Tabla 1 Promedios mensuales de precipitación. Fuente (Prefectura del Azuay)

La zona en estudio presenta una mayor precipitación diaria durante la estación de invierno, la cual abarca los meses desde diciembre a abril, Mientras que los meses de mayo a octubre presenta niveles bajos de precipitación diaria correspondientes a la estación de verano.

Temperatura media diaria de la zona en estudio

Se calculó con las temperaturas máximas y mínimas mensuales las cuales se obtuvo a través del departamento de riego de la prefectura del Azuay. En la Tabla 2, el rango de temperaturas se encuentra entre 5.37 °C para el mes de febrero y 24.2 para el mes de agosto, lo que coincide con las estaciones de invierno y verano de la zona.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura máxima [°C]	16.39	14.82	15.4	16.32	18.6	21.12	22.8	24.2	22.73	23.98	23.56	16.34
Temperatura mínima [°C]	7.23	4.79	5.37	6.29	8.57	10.86	12.77	14.17	12.7	13.95	13.59	6.31
Temperatura media [°C]	10	9.81	10.39	11.31	13.59	12.23	17.79	19.19	17.72	18.97	18.58	11.33

Tabla 2. Promedios diarios de temperatura de zona de estudio. Fuente (Prefectura del Azuay)

Los meses entre diciembre a abril presentan temperaturas bajas mientras que para los meses desde mayo hasta noviembre las temperaturas de zona son mayores.

Radiación Solar de la zona de estudio

De igual manera los valores de radiación solar (Tabla 3) fueron proporcionados por el departamento de Riego de la prefectura del Azuay, los cuales corresponden a valores corregidos para la zona de Girón.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Radiación Solar diaria [mm/día]	8.16	11.42	12.65	12.24	12.65	12.24	12.65	12.65	11.02	12.24	12.24	12.65

Tabla 3 Promedios diarios de Radiación Solar. Fuente (Prefectura del Azuay)

Los valores proporcionados por el departamento de riego muestran poca variación mensual de radiación solar. Los meses de marzo, julio, agosto y diciembre presentan mayor radiación solar diaria promedio.

3.3. Topografía y catastro para el proyecto de riego

Se llevó a cabo el levantamiento topográfico empleando el método RTK. Esta metodología fue seleccionada debido a la eficiencia, rapidez y nivel de detalle en la recolección de datos topográficos. Los datos recopilados del levantamiento se procesaron y se analizaron

mediante el empleo del software de información geográfica (SIG) y la aplicación de diseño asistido por computador (CAD) para generar representaciones visuales de la información geográfica.

Criterios en la elaboración del catastro de usuarios

La delimitación de los predios se llevó a cabo mediante dos métodos: primero, utilizando ortofotos de la zona de riego obtenidas a través del software Google Earth. en combinación con reuniones con los usuarios de la comunidad para identificar las áreas correspondientes. Segundo, se empleó un sistema de posicionamiento global (GPS) para establecer puntos de referencia precisos, lo que facilitó la delimitación de los predios mediante el primer método.

Con la información recolectada, se determinaron las coordenadas y las áreas correspondientes a cada predio, así como el área total del sistema de riego en las zonas de Cachi y Rumipamba.

3.4. Demanda hídrica

Coefficiente de cultivo Kc

Para calcular las necesidades de agua de los cultivos, es necesario ajustar la evapotranspiración de referencia mediante un factor específico. Este ajuste se realizó utilizando los coeficientes de cultivo (Kc) propuestos por Allen et al. (2006) en la FAO-56. A través de las encuestas realizadas, se definieron los patrones de cultivo según las distintas fases de crecimiento, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Periodo de siembra de maíz entre septiembre octubre.
- El pasto se siembra en cualquier época del año.
- Siembra de cacao en los meses de enero y junio.
- Siembras menores entre mayo y septiembre.

Se establece los valores de Kc para las tres fases de crecimiento. En la Tabla 4, muestra el tipo de cultivo y los valores de referencia para el coeficiente de cultivo.

Cultivo	K inicial	K med	Kc fin
Maíz	0.40	1.15	0.6 – 0.35
Pasto de pastoreo (rotativo)	0.40	0.85-1.05	0.85
Café	0.90	0.95	0.95
Cítricos. sin cobertura del suelo. 70% cobertura	0.80	1.25	0.85
Banana	1.00	1.20	1.10

Raíces y tubérculos	0.95	1.10	0.95
Café	0.90	0.95	0.90
Hortalizas peñas	0.50	0.95	0.50
Leguminosas	0.40	1.15	0.35

Tabla 4 Coeficiente de cultivo correspondientes a los cultivos de la zona de Cachi y Rumipamba. Fuente (Allen et al., 2006)

Según Rubio Garcia & López Ruiz (2015), para el pasto se considera un valor medio de coeficiente de $K_c=1.0$, mientras que, para plantas y árboles, se considera el valor de coeficiente de cultivo entre $K_c = 0.7$ y $K_c = 0.9$.

Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Para la determinación de la evapotranspiración se utilizó dos métodos con el objetivo de contrastar los resultados. El método de Hargreaves el cual es útil cuando no se dispone de todos los parámetros climatológicos siendo necesario solamente valores de temperatura media, mínima y máxima, y radiación solar.

Evapotranspiración potencial de cultivo

Se consideró que los usuarios cuentan con un sistema de riego sin limitaciones. Esto implica que las necesidades hídricas deben ser evaluadas continuamente para garantizar un riego adecuado durante todas las estaciones. Para determinar la evapotranspiración de cultivo se utilizó los coeficientes de cultivo para cada fase de crecimiento que tiene una relación entre la evapotranspiración de referencia y la evapotranspiración de cultivo. De tal manera se calculó con la ecuación (1).

3.5. Parámetros que intervienen en el caudal del diseño

Área regable

Para determinar el área regable de una parcela, es necesario partir del cálculo del área potencialmente regable de dicha zona. Con el fin de determinar dicha área, se utilizó el software de procesamiento de información geográfica SIG en conjunto con un modelo ráster que contiene la cobertura del uso del suelo (SIGTierras), en el que constan polígonos que contienen el tipo de cultivo que se produce en las distintas zonas del Ecuador. Culminado este proceso, se aplicó los siguientes criterios para posteriormente determinar los valores del área regable:

- Pendiente del terreno: Se evitó áreas con pendientes pronunciadas que dificulten el riego. La pendiente máxima tomada como referencia para el cálculo del área regable es del 20% (Pramanik, 2016).
- Textura del suelo: Durante las visitas de campo, se observó que varias parcelas disponían partes de suelo pedregoso y seco, por lo que estas áreas se desestimaron del cálculo de superficie regable al momento de realizar trabajo en oficina utilizando bases de datos geoespaciales.

Finalmente, para el cálculo del área regable, se restó los valores obtenidos del área potencialmente regable, de los valores obtenidos con los criterios mencionados.

Sectorización de las zonas de riego

Para delimitar una sectorización adecuada, uno de los aspectos principales que se consideró es el requisito de agua de los cultivos. Debido a los distintos sembríos que se producen en las dos comunidades, los sectores se conformaron por parcelas que contienen sembríos similares. Los diferentes cultivos pueden tener diferentes necesidades de agua según sus etapas de crecimiento y según la ubicación de las distintas parcelas (FAO, 1986).

Otro de los aspectos importantes que se consideró es la programación de un horario de riego, ya que, la cantidad de sectores dependen de las horas de riego que tendrán dichas zonas, en conjunto con el número de días a la semana que se regará toda el área de estudio. El área de intervención del proyecto se dividió en 12 zonas, diseñadas para un régimen de irrigación de 12 horas diarias cada zona durante seis días por semana, regando así dos zonas al día.

Además de los aspectos mencionados, también se consideró el tamaño del área de las parcelas, debido a que, los predios de mayor tamaño requieren una mayor cantidad de agua en comparación con predios más pequeños. En cuanto a parcelas de mayor tamaño, se calculó un promedio entre todas estas, para así mantener una distribución equitativa entre los usuarios.

Finalmente, un punto importante que se consideró para la sectorización es la automatización y el control para la gestión precisa de la división de agua, puesto que, se colocó varios componentes hidráulicos como válvulas de control a lo largo de toda la red de conducción.

3.6. Diseño hidráulico del proyecto de riego

La configuración de la red de tuberías para riego de las áreas agrícolas de las comunidades de Cachi y Rumipamba se diseñó utilizando el método de distribución existente como

referencia, obtenida mediante la adquisición de datos topográficos y el posterior procesamiento de datos geoespaciales de la información recopilada. El trazado de la red de distribución se elaboró con la ayuda de la foto aérea que dispone el software AUTOCAD.

Para el diseño del proyecto, se tomaron como principios las especificaciones y requisitos técnicos según el Manual práctico para el diseño de sistemas de riego minirriego (2007):

- Disponibilidad de la fuente de agua: Se detalló la cantidad de agua requerida por los cultivos que varía según la etapa de desarrollo y las condiciones climáticas. Se calculó la demanda de agua entre los distintos cultivos, considerando la evapotranspiración efectiva. También, se programó adecuadamente el calendario de riego para determinar la cantidad de agua necesaria y las fechas de aplicación, con el fin de cubrir las necesidades hídricas de los cultivos de manera eficiente (Catalán et al., 2007).
- Topografía y disposición del terreno: Se consideró principalmente las pendientes bruscas del área de estudio, debido a la topografía accidentada de la zona, teniendo en cuenta las distintas quebradas por las que el canal conducía el agua. Además, se revisó que el diseño de la red se alinee a la disposición y forma de las parcelas debido a la distribución irregular de las áreas parcelarias. También, se tomó en cuenta las zonas en las que por el tipo de suelo el agua se infiltraba, produciendo así pérdidas de caudal.
- Consideraciones de diseño hidráulico: Se dimensionó la abertura de una compuerta plana para la captación de agua para el riego. Se realizó un pre dimensionamiento de la red de tuberías (caudales, diámetros, pendientes, velocidades), se calculó las presiones de agua a lo largo de toda la red de conducción, tomando atención prioritaria a las zonas en las que el terreno era muy accidentado. Realizados los cálculos mencionados con sus respectivas comprobaciones, se dimensionó los diámetros y clases de la tubería para la red matriz y las redes secundarias. También, se realizó el dimensionamiento de la cámara anuladora de presión y su respectiva ubicación a lo largo de la conducción.
- Requisitos operativos y de mantenimiento: Se diseñó la red para facilitar la operación, el monitorio y el mantenimiento. Igualmente, se tomó en cuenta la accesibilidad para la inspección, reparación y sustitución de componentes.

Cumplir con los criterios especificados anteriormente, facilita la optimización de la configuración del sistema de riego para lograr un transporte hídrico eficiente para todas las parcelas agrícolas.

4. Resultados y análisis del proyecto

4.1. Diagnostico actual de la infraestructura actual

En base a los objetivos planteados en el proyecto y con la finalidad de obtener un panorama actual de la situación del sistema de riego en operación, se realizaron encuestas presenciales a los usuarios (Anexo A) para determinar la eficiencia de la línea de conducción y los principales problemas del sistema. Asimismo, mediante reuniones, se obtuvo información detallada acerca de las modalidades y turnos de riego utilizados, lo que permitió identificar tanto las prácticas operativas como los desafíos técnicos y de gestión presentes en el sistema.

El proyecto de riego beneficia a las comunidades de Cachi y Rumipamba, destacadas por su producción agrícola que ofrece empleo en las diferentes actividades productivas y comerciales. Actualmente, la zona regable abarca 25 hectáreas en Cachi, mientras que en Rumipamba se expande a 35 hectáreas. El proyecto involucra a 52 usuarios distribuidos en para las dos zonas con un programa de distribución en horas en específico, con una frecuencia de 15 días.

Debido a la variabilidad climática en la parte sur de Girón. Se observa una diversidad de cultivos. En la zona montañosa de Cachi, el clima templado favorece la siembra en gran parte de maíz, legumbres y pastos. Por otro lado, la comunidad de Rumipamba con su clima tropical cultiva principalmente café, banano, naranja, lima, legumbres y pasto.

Cultivo	% de área
Pasto (rotativo)	22%
Maíz	17%
Frutales Cítricos	23%
Frutales Banana	5%
Raíces y Tubérculos	14%
Café	12%
Hortalizas pequeñas	3%
Leguminosas	4%

Tabla 5. Cultivos representativos de la zona de Cachi-Rumipamba.

Los resultados de las encuestas a los usuarios del proyecto indica que el cultivo con mayor área de riego es para el pasto rotativo con un 22% del área regable. Por otra parte, cultivos menores como hortalizas y leguminosas abarca un menor porcentaje de área.

En cuanto a la infraestructura actual, la captación consta de un azud en mal estado y una compuerta de ingreso. La captación presenta problemas de inundación lo que genera un

mayor ingreso de caudal, excediendo la capacidad de diseño del canal de conducción, el cual no está adecuadamente dimensionado para manejar estos caudales adicionales.

El canal de conducción desde la captación hasta antes de la bifurcación no presenta problemas significativos de infiltración, lo que permite mantener las condiciones actuales del canal sin revestimiento. Sin embargo, a partir desde la ubicación con coordenada UTM 17s 706580 E 9644784 N, se ha detectado la sustracción de agua por parte de personas ajenas al proyecto.

4.2. Levantamiento topográfico

Los datos del levantamiento topográfico capturaron la geometría de la alineación del canal existente, además del reparto de los predios de las comunidades. El canal de riego se orienta principalmente por las limitaciones topográficas del área y los límites de posesión de los predios existentes.



Figura 2. Esquema levantamiento topográfico de la configuración del canal actual

El diseño horizontal del canal comprende en su mayoría un patrón sinuoso, lo que indica un gradiente bajo en varios tramos de la conducción. Se observa también, que la distribución del área de las parcelas muestra un alto grado de irregularidad entre sí.

La captación se encuentra ubicada a una distancia de 2702 metros de la toma del primer usuario del canal de riego, con una diferencia de elevaciones de 36 metros entre sí. En esta locación se encuentra ubicada la comunidad de Cachi, en una altitud promedio de 2515 m.s.n.m. Continuando con la conducción, a una distancia de 1240 metros y con una elevación de 2475 m.s.n.m. el canal se ramifica en dos tramos, los mismos que siguen una dirección tangente a los predios hasta llegar a la comunidad de Rumipamba, cuyo asentamiento se encuentra a 1810 m.s.n.m. Los ramales del canal, en su dirección de diseño cruzan por dos

quebradas (cada ramal), las cuales se ubicaron debidamente en el post-proceso al levantamiento. Además, a lo largo del recorrido del canal, se ubicó las zonas en las que el tipo de suelo no es favorable para una buena conducción de agua, debido a la infiltración producida por la misma.

El área agrícola que abarca la comunidad de Cachi comprende 37 predios para fines de riego. Mientras que, la comunidad vecina de Rumipamba cuenta con un total de 47 predios. Todos los terrenos tienen acceso cercano al canal para dotarse de agua para sus sembríos.

4.3. Determinación de necesidades hídricas del proyecto de riego

Cálculo de evapotranspiración de referencia

Mediante el método de Hargreaves se obtuvo los valores mensuales de la evapotranspiración de referencia (ET_o). Los resultados de los valores diarios se presentan en la Tabla 6, en los que se ha determinado que los mayores valores de evapotranspiración se producen en los meses de junio a noviembre correspondiente a la estación de verano en el país.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Evapotranspiración (mm/día)	1.58	2.30	2.60	2.59	2.89	2.71	3.28	3.41	2.85	3.28	3.23	2.68

Tabla 6 Evapotranspiración de referencia diaria

La mayor evapotranspiración se produce en los meses de julio, agosto y octubre, esto implica un déficit de agua en el suelo, afectando la fase de crecimiento de los cultivos y reduciendo los rendimientos productivos de zona.

Evapotranspiración de cultivo

En base a los datos calculados de evapotranspiración de referencia y valores de coeficiente de cultivo, se determinó la evapotranspiración de cultivo mediante la ecuación (3), como se muestra en la Tabla 7.

Cultivo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pasto	1.58	2.30	2.60	2.59	2.89	2.71	3.28	3.41	2.85	3.28	3.23	2.68
Maíz	1.18	2.64	2.99	1.30	1.45	0.00	0.00	0.00	0.00	1.31	1.29	2.01
Frutales Cítricos	1.26	1.84	2.08	2.20	2.46	3.38	4.10	2.73	2.28	2.62	2.59	2.15
Frutales Banana	0.00	2.30	2.60	2.59	3.47	3.25	3.93	3.75	3.13	3.60	0.00	0.00
Raíces y Tubérculos	0.00	1.15	1.30	2.85	3.18	2.98	3.61	3.24	2.71	0.00	0.00	0.00
Café	1.42	2.07	2.34	2.33	2.60	2.57	2.95	3.07	2.56	2.95	2.91	2.41
Hortalizas peñas	0.00	0.00	1.30	2.20	2.60	2.44	3.11	3.24	2.71	3.11	2.59	2.15
Leguminosas	0.00	0.00	1.04	1.04	3.32	3.11	1.15	1.19	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 7. Evapotranspiración de cultivo para los cultivos de la zona [mm/día]

Se ha determinado los mayores valores de evapotranspiración de cultivo en los meses de junio, julio y agosto que guarda una relación con la fase de desarrollo y fase final de los cultivos como también con la época de verano.

Determinación de la precipitación efectiva

A partir de los datos de precipitación mensual de la estación pluviométrica Girón M0419, valores que se encuentran en el Anexo (C). Se ha establecido una precipitación de ocurrencia de garantía mediante el método de Weibull con una probabilidad de excedencia del 75 %. La precipitación efectiva se ha determinado con la ecuación (4), en base al método de porcentaje fijo estimado en función de las características climatológicas que presenta cada zona, con un valor estimado de $a = 0.7$.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P _{efectiva} [mm/mes]	57.9	94.2	134.5	74.9	18.5	2.9	4.1	2.0	6.9	22.7	20.4	61.8
P _{efectiva} [mm/día]	1.9	3.4	4.3	2.5	0.6	0.1	0.1	0.1	0.2	0.7	0.7	2.0

Tabla 8 Resultado de precipitación efectiva [mm/día].

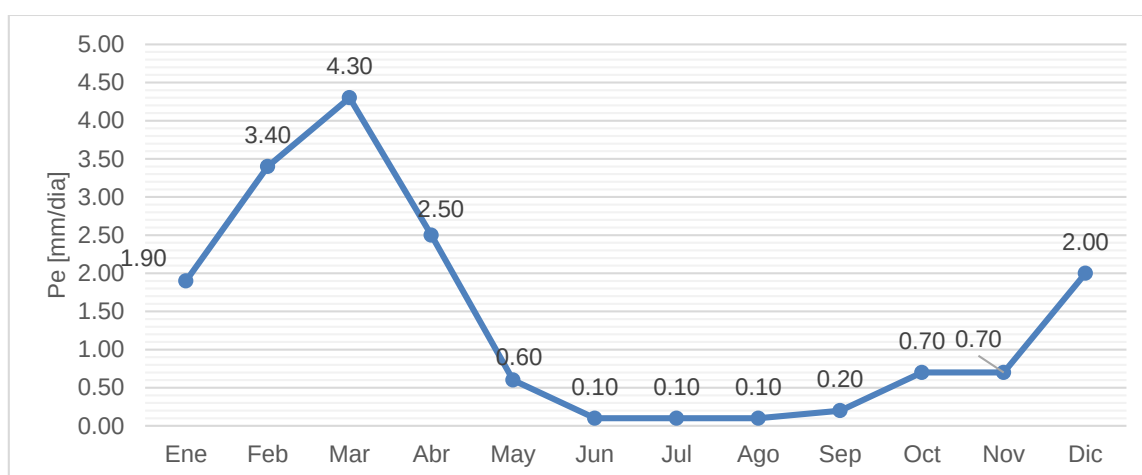


Figura 3 Precipitación efectiva de la zona.

Los meses que cuentan con mayor precipitación corresponde a diciembre, enero, febrero, marzo y abril, Sin embargo, los meses de junio a agosto presentan valores de precipitación muy bajos, lo que genera una situación crítica durante ese periodo y agrava el déficit hídrico.

Área regable

Con la capa ráster de la cobertura del uso del suelo (SIGTierras) y con el catastro delimitado, se realizó la intersección de estas dos capas de información mediante el empleo del software de información geográfica y se obtuvo el área de los tipos de vegetaciones que se encuentran dentro de cada parcela.

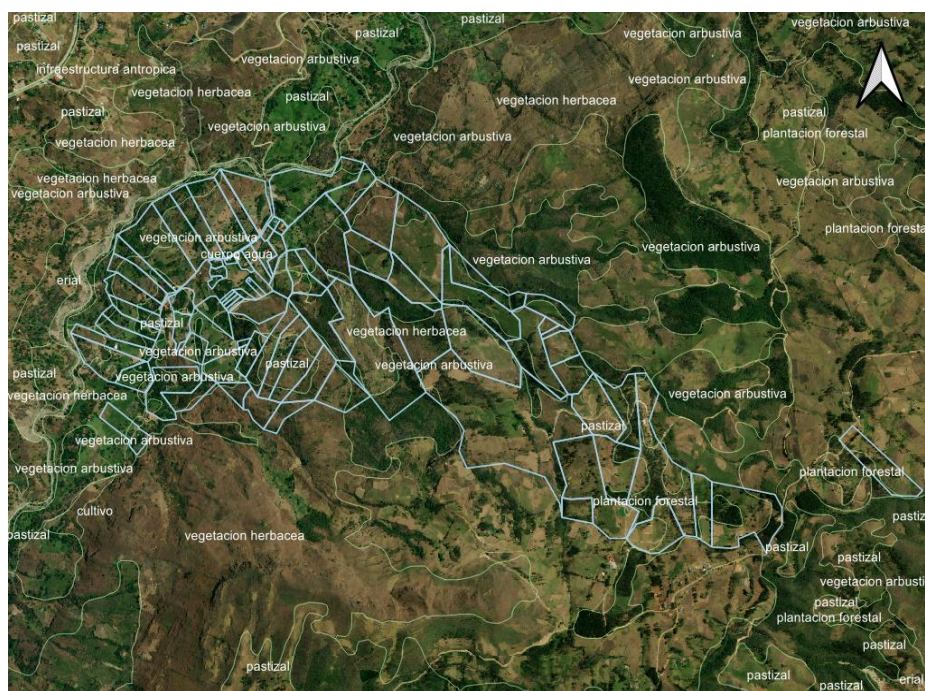


Figura 4. Capa ráster y esquema catastro de cobertura de uso de suelo de las comunidades Cachi y Rumipamba

Se observa a mediana vista los tipos de vegetación (con su respectiva delimitación) que se cultivan en la zona de estudio. Los cultivos forman parte de varias parcelas, las mismas de las que se obtuvo el área correspondiente.

Se obtuvo una tabla de datos en la que, consta del nombre del usuario del predio, el tipo de cobertura de uso de suelo y el área potencialmente regable perteneciente a cada parcela. En el Anexo (I) se detalla esta tabla mencionada.

Para obtener los valores de las áreas regables de cada predio, se utilizó los resultados de la tabla del Anexo (I) mencionado anteriormente. Estos datos se calcularon restando las áreas potencialmente regables que se obtuvieron anteriormente de los valores de los resultados que se consiguieron al aplicar los criterios para el cálculo del área regable mencionado en el apartado 3.5 (parámetros que intervienen en el caudal de diseño). Los valores del área regable de las parcelas se detallan también en el Anexo (D).

Estimación de eficiencias para los diferentes sistemas de aplicación

Se optó por utilizar las eficiencias presentadas por (Pacheco & Carrillo, 2022), en base al tipo de cultivo, necesidad hídrica, economía del proyecto y disponibilidad de mano de obra para el riego superficial. Las eficiencias de aplicación típicas según el método de riego son:

Cultivo	Ea*	Método de riego
Pasto	0.85	Aspersión
Maíz	0.65	Surco
Frutales Cítricos	0.85	Aspersión

Frutales Banana	0.85	Aspersión
Raíces y Tubérculos	0.85	Aspersión
Café	0.90	Goteo
Hortalizas	0.85	Aspersión
Leguminosas	0.85	Aspersión

Tabla 9 Eficiencias de riego para cada cultivo.

En base a los cultivos más comunes de zona, se considera que únicamente para el cultivo de maíz el método de riego apropiado es por surco con una eficiencia de 65%, mientras que para el cultivo de café el método por goteo genera un mejor rendimiento productivo. En el resto de cultivos es adecuado el riego por aspersión con una eficiencia de 85%.

Determinación de la necesidad de riego para el proyecto

Una vez determinado los parámetros de evapotranspiración de cultivo, precipitación efectiva y eficiencia de riego, se estableció la necesidad neta y bruta de riego para cada cultivo (Anexo D) mediante la ecuación (5) y (6). Finalmente, se consideró la suma de la necesidad bruta de cada tipo de cultivo como se muestra en la Tabla10.

Mes	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
NR_{bruta} Total	92.2	2451.1	2861.9	3307.5	2975.9	2276.5	1925.5	1751.9	294.3

Tabla 10 Necesidad bruta del proyecto mensual [m³/día]

El requerimiento bruto total para el proyecto es de 3307.5 para el mes de Julio considerado el mes crítico. El cual coincide con el periodo de mayores temperaturas y menores precipitaciones de la zona de estudio. Además, implica una mayor demanda del recurso hídrico e infraestructura. En los meses de enero, febrero y marzo no existe un déficit hídrico.

Para el proyecto se ha seleccionado la norma bruta del mes de julio que corresponde al mes crítico el cual requiere la mayor necesidad de riego con 3307.5 m³/día.

A partir de lo calculado, el caudal continuo equivalente es de 51 l/s para 24 horas continuas de riego y caudal característico de 0.50 l/s/ha para un área potencialmente regable de 103 hectáreas.

4.4. Alternativas de horarios para la distribución del proyecto de riego

Se evaluaron cuatro alternativas para la distribución del sistema de riego. Estas alternativas difieren según el número de horas de riego, limitando el área regable. En el Anexo (F) se detalla los factores de reducción de área aplicados en cada alternativa, que satisface con el caudal dispuesto por la concesión.

En tres alternativas, se configuró dos zonas por día y un riego paralelo entre las zonas. Para la cuarta alternativa, el horario de riego es desfasado para cada zona y rotativo semanalmente. Como se muestra en la Tabla 11.

Turno	Unidades	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4 (rotativo*)
Horas	[h]	16	18	20	12
Volumen en 7 días	[m3/ha]	299.71	299.71	299.71	299.71
Caudal fictivo	[l/s/ha]	6.94	5.2	4.63	4.16
Área	[ha]	58.8	64.3	73.3	88.3
% Área Regada	%	54.6	59.8	68.1	82.1

Tabla 11. Alternativas de horario para la distribución del proyecto

Entre las diferentes propuestas, la opción 4 es la que mayor porcentaje de área riega. Mientras que las otras 3 opciones las áreas incrementa conforme el número de horas de riego aumenta.

4.5. Planificación de la distribución de las zonas de riego

La planificación de distribución espacial y temporal de los grupos de usuarios se presenta en el Anexo (E). El sistema de irrigación se implementó para que cumpla un esquema de rotación bidiurna, con períodos de aplicación hídrica de 12 horas por unidad operativa, permitiendo la cobertura de dos zonas por ciclo diario.

Riego a la semana	Zonas	Área potencialmente regable	Factor de reducción	Área Regable	Caudal Continuo
		ha	%	ha	l/s
Lunes	Zona 1	8.73	0.85	7.42	51.1
	Zona 7	9.59	0.78	7.48	51.1
Martes	Zona 2	7.86	0.94	7.39	51.3
	Zona 8	9.17	0.81	7.43	51.1
Miércoles	Zona 3	8.18	0.90	7.36	51.1
	Zona 9	9.86	0.75	7.40	51.3
Jueves	Zona 4	8.21	0.90	7.39	51.3
	Zona 10	9.35	0.79	7.39	51.3
Viernes	Zona 5	8.40	0.88	7.39	51.3
	Zona 11	10.33	0.72	7.44	51.2
Sábado	Zona 6	8.15	0.91	7.42	51.1
	Zona 12	9.78	0.76	7.43	51.3

Tabla 12. Configuración zonal para el calendario de riego

Los porcentajes que se emplearon para el factor de reducción son definitivos para el diseño y se calculó en función del área de las parcelas de riego de cada zona, debido a la alta irregularidad que presentan entre sí, además de esta consideración, también se iteró meticulosamente sin altas variaciones hasta que el gasto continuo sea igual o similar a los 51.33 l/s que es el caudal de concesión.

En los días de riego, uno de los dos canales debe ser restringido el paso del caudal, para así cumplir con la entrega de la distribución del agua para las distintas parcelas.

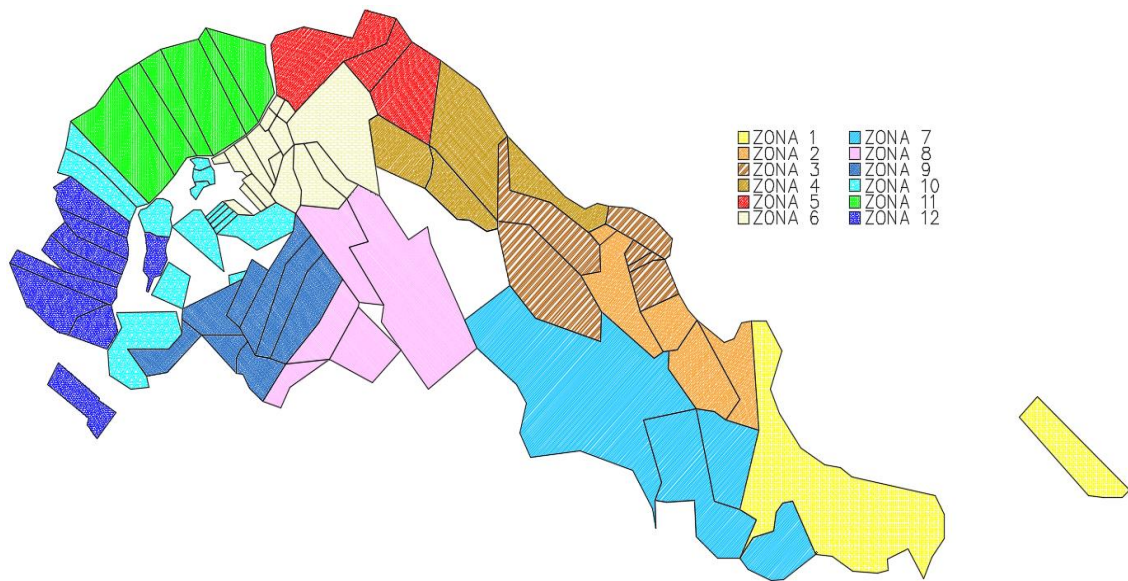


Figura 5. Sectorización de las parcelas de las comunidades Cachi y Rumipamba

La esquematización de las distintas zonas de riego se realizó de manera ordenada, tal que, el flujo del caudal por los ramales se alterna a altitudes similares, debido a la topografía del sitio de estudio.

4.6. Diseño Hidráulico de la captación

Para la captación se eligió una compuerta plana deslizante, que consiste en una placa móvil que al levantarse permite controlar o graduar el caudal que va a pasar por la misma.

El caudal que pasa bajo una compuerta deslizante viene expresado por la ecuación (7) (Sotelo, 1999).

$$Q = \frac{C_c C_v b a}{\sqrt{1 + \frac{C_c a}{y_1}}} \sqrt{2gy_1} \quad (7)$$

donde:

Q : Caudal de diseño [m^3/s]

C_v : Coeficiente de velocidad

C_c : Coeficiente de contracción

b : Ancho de la compuerta [m]

a : Abertura de la compuerta [m]

y_1 : Cota aguas arriba [m]

Para garantizar que en el canal ingrese un caudal de 51.33 l/s, se inició el diseño aguas abajo de la compuerta. En los cálculos realizados, se utilizó los siguientes valores del cálculo preliminar.

Parámetro	Descripción	Valor
a	Abertura compuerta [m]	0.150
b	Ancho compuerta [m]	0.500
S	Pendiente canal [m/m]	0.002
n	Coefficiente de rugosidad	0.014

Tabla 13. Información preliminar utilizada para el diseño

Con los datos mencionados, y empleando las ecuaciones planteadas, se calculó los valores de los tirantes que intervienen en el diseño hidráulico.

Parámetro	Descripción	Valor
y_n	Tirante normal del canal [m]	0.154
y_1	Tirante vena contraída [m]	0.093
y_2	Tirante aguas abajo resalto [m]	0.112
y_{comp}	Altura agua antes compuerta [m]	0.258

Tabla 14. Valores de los tirantes de agua de diseño para la compuerta

Obtenidos los valores reportados en la tabla anterior, se comprobó que el resalto debe ser ahogado ($y_2 < y_n$) para que el valor de la abertura de la compuerta permita el paso del caudal en concesión.

4.7. Diseño hidráulico: Trazado de la matriz y las redes secundarias

El trazado de la red matriz y redes secundarias para la tubería se realizó en función de la distribución del canal abierto de tierra existente, teniendo en cuenta los puntos de toma de cada predio que funcionan en la actualidad. Se inició al trazo en la ubicación donde vecinos de comunidades aledañas se sustraían ilegalmente el agua en las coordenadas 706577.207 m E, 9644772.214 m S, en la elevación 2547.851 m.s.n.m. Además, se propuso nuevos trazos en tramos determinados donde se observó que el agua podría fluir de manera más directa entre dos puntos.

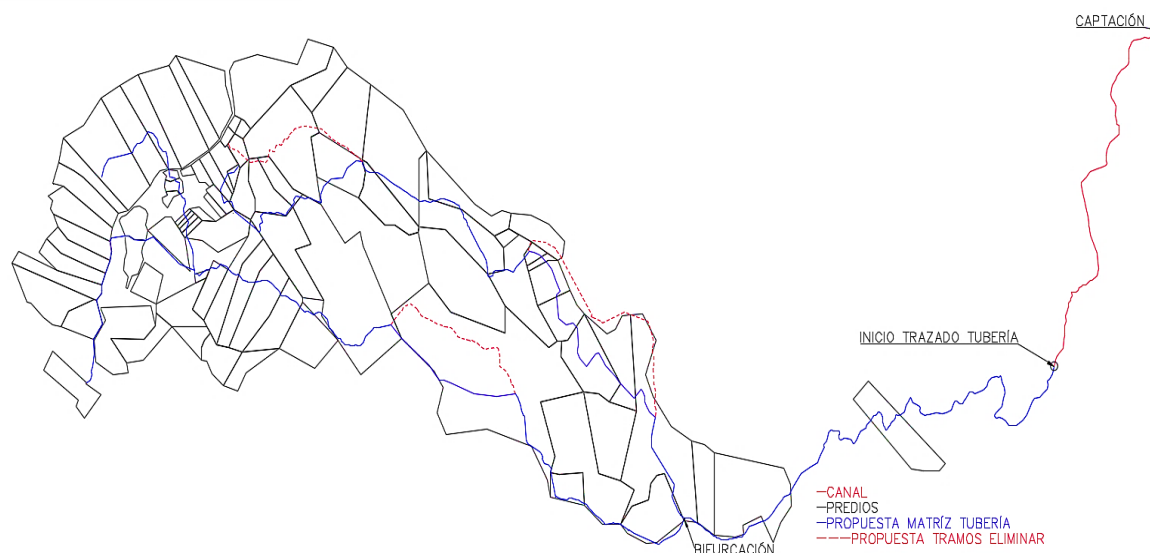


Figura 6. Esquema trazo de tubería para el canal de riego

El trazo de la tubería matriz en su mayoría, sigue la dirección del canal abierto existente, pero para una mejor distribución del caudal a los predios, se procedió a eliminar los tramos mostrados, tomando así en la matriz las nuevas configuraciones en dicha ubicación.

Se muestra en el Anexo (G) un plano completo con la disposición de la tubería matriz y tuberías secundarias.

4.8. Diseño hidráulico: Dimensionamiento de la red matriz y secundaria

Dimensionamiento de la red matriz

Para el diseño, se tomó en cuenta el dimensionamiento entre los nodos propuestos y los tanques anuladores de presión. De acuerdo, a la distribución de turnos y la configuración de las zonas, el caudal de matriz en la matriz de conducción es de 51 L/s.

Tramo Tubería		Cotas		Datos hidráulicos			
Nodo Inicial	Nodo Final	Cota inicio	Cota final	Longitud Tubería "L"	Ø nominal	Velocidad "v"	Clase
		m.s.n.m	m.s.n.m				
1	TRM1	2547.85	2505.10	1805.00	250.00	1.23	1.00
TRM1	BF1.1	2505.10	2471.78	607.00	200.00	1.92	1.00
BF1.2	Q1.1	2470.24	2423.49	137.00	160.00	3.00	1.00
Q1.2	TRC1	2367.82	2325.00	312.00	160.00	3.00	1.00
TRC1	TRC2	2325.00	2275.00	402.00	160.00	3.00	1.00
TRC2	TRC3	2275.00	2205.00	384.00	160.00	3.00	1.00
TRC3	Q2.1	2205.00	2193.63	124.00	160.00	3.00	1.00
Q2.2	TRC4	2176.08	2112.50	318.00	160.00	3.00	1.00
TRC4	TRC5	2112.50	2080.00	142.00	160.00	3.00	1.00
TRC5	TRC6	2080.00	2026.00	312.00	160.00	3.00	1.00

TRC6	TRC7	2026.00	2001.00	46.00	160.00	3.00	1.00
TRC7	NC10	2001.00	1991.00	42.00	160.00	3.00	1.00
NC11	TRC8	1906.00	1880.00	382.00	160.00	3.00	1.00
TRC8	TRC9	1880.00	1856.00	111.00	160.00	3.00	1.00

Tabla 15 Diámetros de tubería de la matriz correspondiente al canal de Cachi

El código Q corresponde a la ubicación de las quebradas por las que pasa el canal. El código BF corresponde a la ubicación de las bifurcaciones. TR indica la ubicación de un tanque anulador de presión. NC señala la ubicación de un nodo. El dimensionamiento de los diámetros de la matriz se basa principalmente entre la diferencia de cotas entre los tanques anuladores de presión. Además, se ha comprobado que las velocidades sean mayores a 0.6 m/s y menores a 5 m/s, en la matriz de conducción la velocidad se encuentra entre 1.23 m/s y 3.00 m/s antes de la bifurcación. Luego de la misma, las velocidades son de 3 m/s.

Tramo de tubería		Cotas		Datos hidráulicos			
Nodo Inicial	Nodo Final	Cota inicio	Cota final	Longitud "L"	Diámetro nominal	Velocidad "v"	Clase
		m.s.n.m	m.s.n.m	m	mm	m/s	MPa
NR1	T_regu	2471.7	2451.8	248.2	160	2.8	0.63
T_regu	QR1.1	2451.1	2381.5	313.7	160	3.0	1.00
QR1.2	TR1	2360.9	2288.5	246.8	160	3.0	1.00
TR1	TR2	2288.5	2212.3	448.8	160	3.0	1.00
TR2	TR3	2212.3	2135.0	342.6	160	3.0	1.00
TR3	TR4	2135.0	2057.9	248.7	160	3.0	1.00
TR4	TR5	2057.9	1977.9	299.1	160	3.0	1.00
TR5	TR6	1977.9	1903.7	293.1	160	3.0	1.00
TR6	BIF2	1903.7	1874.2	85.0	160	3.0	1.00
BIF2	TR9	1874.2	1842.0	179.0	160	1.5	0.63
TR9	NR10	1842.0	1809.0	305.0	160	1.5	1.00
BIF2	TR7	1874.2	1870.0	21.0	160	3.0	0.63
TR7	TR8	1870.0	1822.0	256.0	160	3.0	0.63
TR8	NR9	1822.0	1803.0	58.0	160	3.0	0.63

Tabla 16. Diámetros de tubería de la matriz correspondiente al ramal de Rumipamba

El código QR1.2* corresponde a la ubicación de la capación de la quebrada. TR indica la ubicación de un tanque anulador de presión. BIF2 corresponde a la bifurcación del canal de Rumipamba. T_regu corresponde al tanque de entrada del reservorio de Cachi. El dimensionamiento de los diámetros de la matriz se basa principalmente entre la diferencia de cotas entre los tanques anuladores de presión. Además, se ha comprobado que las velocidades sean mayores a 0.6 m/s y menores a 5.00 m/s, en la matriz de conducción la velocidad se encuentra en 1.50 m/s y 3.00 m/s luego de la segunda bifurcación.

Dimensionamiento líneas secundarias

Para el diseño, se empleó los valores de caudales para cada zona planteada.

Zonas	Datos hidráulicos				
	Longitud Tubería "L"	Caudal "Q"	Diámetro nominal	Velocidad "v"	Clase
	M	l/s	mm	m/s	MPa
Zona 1	185.28	36.9	160	2.1	0.63
Zona 2	220.47	39.2	160	2.2	0.63
Zona 3	165.78	17.4	90	3.1	0.63
	0.87	33.7	110	4	0.63
Zona 4	22.60	20.8	110	2.5	0.63
Zona 5	245.8	51.3	160	2.9	0.63
Zona 6	90.85	17.8	110	2.1	0.63
	99.23	2.2	50	1.3	0.63
	57.87	12.9	110	1.5	0.63
	177.08	5.4	50	3.1	0.63
	138.99	3.2	50	1.9	0.63
Zona 7	482.66	37.9	160	2.0	0.50
Zona 8	141.14	37.0	110	4.3	0.63
	29.62	13.9	110	1.6	0.50
Zona 9	460.15	51.3	160	2.8	0.63
Zona 10	63.75	7.8	90	1.4	0.50
	115.30	25.9	110	3.0	0.50
	197.35	11.9	110	1.4	0.50
	244.40	5.6	75	1.4	0.50
Zona 11	228.35	23.9	160	1.3	0.50
	156.85	27.0	160	1.5	0.50
Zona 12	263.55	47.5	160	2.6	0.50

Tabla 17 Dimensionamiento de los diámetros de las líneas secundarias

4.9. Modelización de la red hidráulica en EPANET 2.0

Para establecer un diseño óptimo de la matriz, se contempló que los rangos de presión se encuentren entre 30 y 80 m.c.a. para las líneas secundarias, el rango de presión se ha establecido entre 30 y 40 m.c.a. En la modelación, se utilizaron principalmente diámetros de 160 y 250 mm para la conducción de la matriz desde la captación hasta la bifurcación de los ramales. Para las líneas secundarias, los diámetros varían entre 50 mm y 160 mm. El método escogido para la simulación de las pérdidas por fricción es el de Darcy-Weisbach con un valor de coeficiente de rugosidad de 150.

Se verificó que las velocidades del flujo se encuentren en un rango de 0.6 a 5 m/s, velocidades bajas generan sedimentación de sólidos y velocidades altas provocan daños en la tubería tal como menciona (Carrazón, 2007). Además, se respetó las presiones establecidas en los hidrantes. Según (De Plaza, 2017) la simulación de los tanques anuladores de presión se realiza mediante válvulas reductoras de presión, configuradas con una presión asignada de

cero. Esto se debe a que cumplen una función similar a la de un tanque anulador de presión, reduciendo la presión a cero en la conducción.

La simulación, se realizó mediante válvulas reductoras de presión configuradas con una presión asignada de cero, ya que cumplen una función análoga a la de los tanques anuladores de presión al reducir la presión a cero en la conducción. Se ha considerado la instalación de estas estructuras en tramos de la conducción principal donde el desnivel supere los 80 m.c.a. y en las líneas secundarias en tramos donde el desnivel supere los 40 m.c.a.

En base a las consideraciones anteriores, se ha obtenido la modelización de la zona 12 correspondiente a la Matriz de Rumipamba en el que se verificó los parámetros de presión y velocidad se encuentre dentro del rango establecido como se muestra en la 9. La modelación de las 11 zonas restantes se encuentra en Anexo (H).

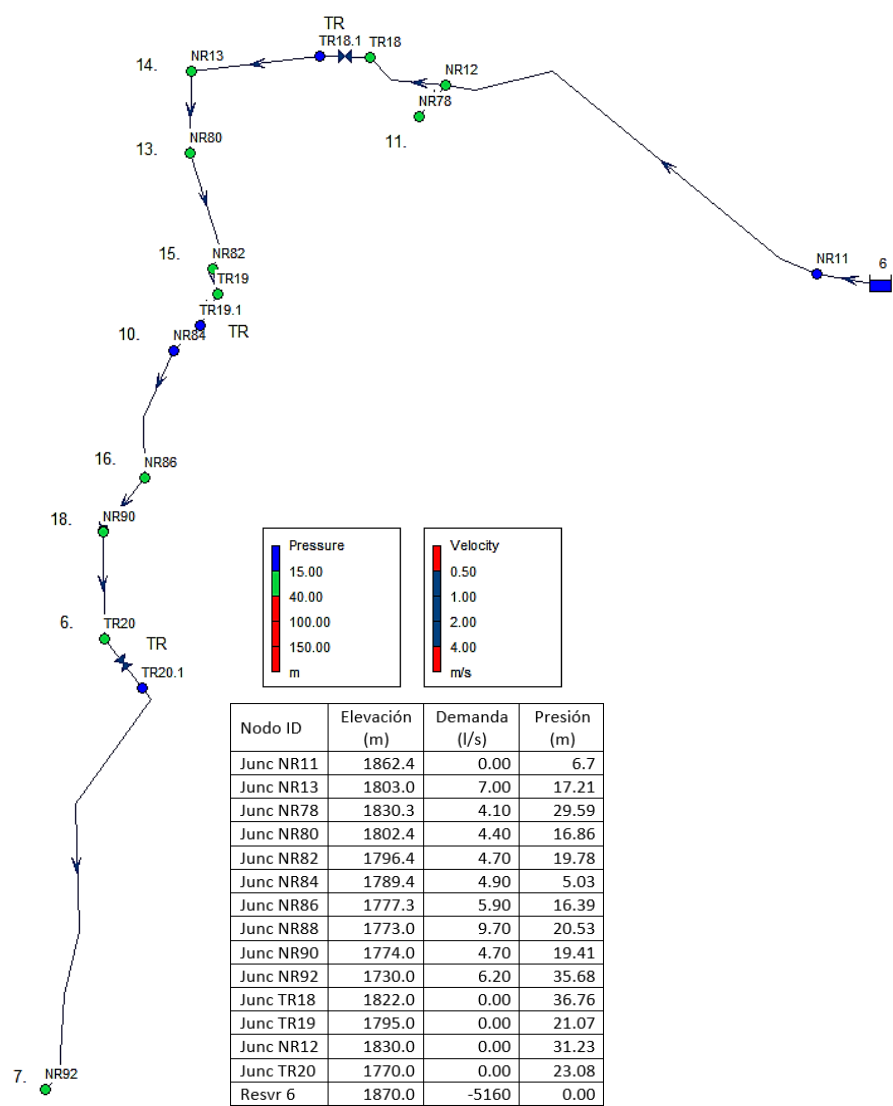


Figura 7. Modelización de la zona 12 en EPANET 2.2.

En la modelización de la matriz de conducción y líneas secundarias de distribución, los parámetros de presión y velocidad se verificó que se encuentre dentro del rango recomendable para una adecuada distribución de los caudales y eficiencia de los diferentes métodos de riego. Se ha establecido colocar tanques anuladores de presión en la matriz de conducción con un máximo de presión estática de 80 m.c.a. y 40 m.c.a para las líneas secundarias. En cada nodo se consideró un rango de presión dinámica de 20 a 40 m.ca. Por otra parte, en las tuberías las velocidades se encuentran en un rango de 0.5 m/s a 5 m/s.

4.10. Diseño de tanque anulador de presión

El dimensionamiento hidráulico y la configuración de la cámara rompe presión se realizó atendiendo a las pautas y procedimientos delineados por Agüero P. (1997). Se seleccionó el modelo de diseño de una cámara anuladora de presión tipo 6. En la fase de diseño preliminar, se procedió con la determinación de la carga requerida (h_0) para facilitar el transporte del caudal de salida a través del conducto. Este valor se determinó mediante la siguiente ecuación experimental de Bernoulli.

$$h_0 = 1.56 \frac{V^2}{2g} \quad (8)$$

donde:

h_0 : Carga de agua [m]

V: Velocidad del flujo [m/s]

g: Aceleración de la gravedad [9.81 m/s²]

Según Agüero P., (1997), para la determinación de la dimensión vertical de la cámara rompe presión se emplea la siguiente expresión.

$$H_T = A + h_0 + BL \quad (9)$$

donde:

H_T : Altura total de la cámara rompe presión

A: Altura mínima [0.1 m]

h_0 : Carga de agua [m]

BL: Borde libre mínimo [0.4 m]

En el diseño de una cámara rompe presión, dimensionar la tubería de limpieza es una consideración importante. Este dimensionamiento se logra empleando la ecuación de Hazen-Williams en función del diámetro.

$$Q = 0.2785 \times C \times D^{2.63} \times S^{0.54} \quad (10)$$

donde:

Q: Caudal [m^3/s]

C: Coeficiente de rugosidad del material

D: Diámetro interior de la tubería [m]

S: Pendiente [m/m]

Con las ecuaciones mencionadas, se obtuvo la siguiente tabla de resultados.

Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Altura de carga de agua necesaria (m)	H agua asumido (m)	H _T (m)
184.6	51.33	2.07	0.34	0.40	0.95

Tabla 18 Dimensión de la altura interior de la cámara anuladora de presión

Se calculó el diámetro de la tubería para rebose, obteniendo un diámetro de 250 milímetros.

4.11. Válvulas de seguridad

Las válvulas que se emplearon en el diseño de la red de conducción son:

Válvulas de purga

Las válvulas de purga se ubicaron estratégicamente en puntos bajos a lo largo de las tuberías de riego, las cuales permitirán el lavado y purga periódicos de los materiales acumulados (Arocha, 1979).

Válvulas de aire

Las válvulas de aire se ubicaron estratégicamente en puntos altos para facilitar la liberación y admisión controlada de aire. Estas válvulas están diseñadas para expulsar automáticamente el aire acumulado durante el funcionamiento normal y permitir que el aire vuelva a ingresar a las tuberías durante los procesos de drenaje o vaciado (Arocha, 1979).

4.12. Mantenimiento

Van Zyl (2014) señala actividades que se deben cumplir para el mantenimiento y óptima utilización de un proyecto de riego:

- Es necesario realizar la limpieza de las tuberías de manera regular para asegurar la remoción de los sedimentos que se han acumulado.
- Las fallas de componentes reportadas o descubiertas deben repararse lo antes posible.
- Se debe realizar una detección activa de fugas en las tuberías.

El Código Ecuatoriano de la Construcción Parte IX Obras Sanitarias (1992) señala varias actividades complementarias para el mantenimiento de un proyecto de riego:

- Al inicio de cada tramo de la tubería, se colocaron válvulas de compuerta. Estas válvulas facilitarán el mantenimiento, las reparaciones y el llenado de la tubería por tramos.
- Se instalaron válvulas de aire en la parte superior de los tramos de mantenimiento, las cuales pueden operarse manualmente.
- El agua empleada para la limpieza de la tubería debe ser descargada en una corriente de agua o quebrada más cercana.

4.13. Presupuestos

Mediante un análisis de precios unitarios, se estableció un presupuesto referencial para la alternativa de diseño. Se consideró únicamente costos directos los cuales se encuentran disponibles en el mercado.

La cantidad y costos de cada una de los materiales se detalla en las siguientes tablas.

Presupuesto de tuberías y accesorios

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1. SUMINISTROS INSTALACIÓN TUBERÍAS				
TUBO PVC PRESIÓN E/C 250 MM X 6 MTS 1.00 MPA (145 LBS)	u	300.00	252.25	75902.03
TUBO PVC PRESION E/C 200 MM X 6 MTS 1.00 MPA (145 LBS)	u	101.00	147.2	14896.64
TUBO PVC PRESION E/C 160 MM X 6 MTS 1.00 MPA (145 LBS)	u	1024.00	102.12	104611.73
TUBO PVC PRESION E/C 160 MM X 6 MTS 0.63 MPA (91 LBS)	u	374.00	65	24310.00
TUBO PVC PRESION E/C 110 MM X 6 MTS 0.63 MPA (91 LBS)	u	109.00	33.2	3628.76
TUBO PVC PRESION E/C 90 MM X 6 MTS 0.63 MPA (91 LBS)	u	38.00	20.64	790.51
TUBO PVC PRESION E/C 75 MM X 6 MTS 0.63 MPA (91 LBS)	u	40.00	17.2	703.48
TUBERÍA DE POLIETILENO DE 50 MM PEBD EN 91 PSI 0.63 MPA	u	425.00	2.78	1181.50
2. SUMINISTROS ACCESORIOS PARA TUBERÍAS				
CODO PVC PRESION U/R L/R 250 MM X 11.25 G.	u	4.00	70.82	283.28
CODO PVC PRESION U/R L/R 250 MM X 22.5 G.	u	47.00	115.34	5420.98
CODO PVC PRESION U/R L/R 250 MM X 45 G.	u	39.00	130	5070.00
CODO PVC PRESION U/R L/R 250 MM X 90 G.	u	5.00	214.99	1074.95
CODO PVC PRESION U/R L/R 200 MM X 11.25 G.	u	18.00	55.13	992.34

CODO PVC PRESION U/R L/R 200 MM X 22.5 G.	u	13.00	72.09	937.17
CODO PVC DE PRESION E/C 45 G. X 200 MM	u	1.00	51.81	51.81
CODO PVC PRESION U/R L/R 160 MM X 11.25 G.	u	58.00	33.08	1918.64
CODO PVC PRESION U/R L/R 160 MM X 22.5 G.	u	77.00	46.39	3572.03
CODO PVC DE PRESION E/C 45 G. X 160 MM	u	68.00	27.81	1891.08
CODO PVC DE PRESION E/C 90 G. X 160 MM	u	14.00	34.88	488.32
CODO PVC PRESION U/R L/R 110 MM X 11.25 G.	u	7.00	17.39	121.73
CODO PVC PRESION U/R L/R 110 MM X 22.5 G.	u	16.00	21.94	351.04
CODO PVC DE PRESION E/C 45 G. X 110 MM	u	9.00	8.58	77.22
CODO PVC DE PRESION E/C 90 G. X 110 MM	u	6.00	11.77	70.62
CODO PVC PRESION U/R L/R 90 MM X 11.25 G.	u	3.00	8.00	24.00
CODO PVC PRESION U/R L/R 90 MM X 22.5 G.	u	2.00	11.29	22.58
CODO PVC DE PRESION E/C 45 G. X 90 MM	u	1.00	5.27	5.27
CODO PVC PRESION U/R L/R 50 MM X 11.25 G.	u	6.00	4.48	26.88
CODO PVC PRESION U/R L/R 50 MM X 22.5 G.	u	3.00	8.14	24.42
CODO PVC DE PRESION E/C 45 G. X 50 MM	u	8.00	1.39	11.12
CODO PVC DE PRESION E/C 90 G. X 50 MM	u	3.00	1.69	5.07
TEE PVC DE PRESION E/C 160 MM	u	12.00	45.72	548.64
TEE PVC DE PRESION E/C 110 MM	u	3.00	16.41	49.23
TEE PVC DE PRESION E/C 200 MM X 160 MM	u	1.00	78.53	78.53
TEE PVC DE PRESION E/C 160 MM X 110 MM	u	5.00	35.40	177.00
REDUCTOR PVC DE PRESION E/C 160 MM A 90 MM	u	3.00	11.72	35.16
REDUCTOR PVC DE PRESION E/C 90 MM A 50 MM	u	3.00	3.33	9.99
REDUCTOR PVC DE PRESION E/C 110 MM A 50 MM	u	1.00	5.64	5.64
3. VÁLVULAS EN LA CONDUCCIÓN				
VÁLVULA DE COMPUERTA PVC C/UNIÓN UNIVERSAL E/C 250MM	u	1	400.15	400.15
VÁLVULA DE BOLA PVC C/UNIÓN UNIVERSAL E/C 160MM	u	7	35.26	246.82
VÁLVULA DE BOLA PVC C/UNIÓN UNIVERSAL E/C 110MM	u	8	26.26	210.08
VÁLVULA DE BOLA PVC C/UNIÓN UNIVERSAL E/C 90MM	u	2	18.91	37.82
VÁLVULA DE BOLA PVC C/UNIÓN UNIVERSAL E/C 75MM	u	1	13.66	13.66
VÁLVULA DE BOLA PVC C/UNIÓN UNIVERSAL E/C 50MM	u	2	10.51	21.02
VÁLVULA DE AIRE TRIPLE ACCIÓN DG-10 NYLON REFORZADO 3/4"	u	5	215.56	1077.8
VÁLVULA DE AIRE TRIPLE ACCIÓN DG-10 NYLON REFORZADO 1/2"	u	3	167.56	502.68
VÁLVULA DE DESAGÜE 6"	u	3	115.36	346.08
VÁLVULA DE DESAGÜE 6"	u	3	115.36	346.08
			TOTAL	253051.90

Tabla 19. Presupuesto referencial para la implementación de matriz de conducción y líneas secundarias de distribución.

Presupuesto de la estructura de captación

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Excavación a mano para cimientos	m3	2.40	5.83	13.99
Mejoramiento con piedra bola para plinto en edificaciones	m3	0.73	29.91	21.83
Acero de refuerzo en barras $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg	150.19	2.05	307.89
Hormigón simple en replantillo $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$; $e = 6 \text{ cm}$	m2	2.23	9.47	21.12
Hormigón simple en estructura para compuerta $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ inc. encofrado	m3	0.14	200.97	28.14
Suministros e instalación de compuerta plana con volante	u	1.00	200.00	200.00
Hormigón simple en canal $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	m3	0.97	200.97	194.94
			TOTAL	787.91

Tabla 20. Presupuesto referencial para la construcción de una captación tipo compuerta plana.

Presupuesto de un tanque anulador de presión tipo seis.

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1. Materiales				
Excavación para zanjas y estructuras menores a mano en suelo sin clasificar	m3	0.32	7.03	2.25
Encofrado de madera recto	m2	7.48	12.82	95.90
Acero de refuerzo estructural en varillas corrugadas $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg	49.85	1.85	92.22
Hormigón simple $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ + incluye transporte	m3	0.576	120.10	69.23
2. Accesorios y válvulas				
Válvula variable PVC 200 mm	u	1.00	65.10	65.1
Codo PVC 90 Ø 200 mm	u	5.00	32.35	161.75
Canastilla de PVC Ø 200mm	u	1.00	68.25	68.25
Cono de rebose PVC Ø 200mm	u	1.00	1.02	1.02
Unión Universal PVC 200mm	u	1.00	12.50	12.50
Tapón PVC perforado Ø 200mm	u	1.00	1.45	1.45
			TOTAL	569.61

Tabla 21. Presupuesto de un anulador de presión estándar tipo seis.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Se ha realizado el estudio de ingeniería de riego para las comunidades de Cachi y Rumipamba pertenecientes al canto de Girón. Mediante el estudio se ha planteado un diseño tecnificado para la conducción y distribución secundaria de agua de riego.

Conforme a la variabilidad climatológica de la zona de estudio, se ha determinado valores de precipitación diaria aportante entre 0.22 a 2.07 mm/día en los meses de mayo y noviembre.

Para el estudio se ha determinado valores de evapotranspiración mediante el método de Hargreaves, los cuales se encuentran en un rango de 1.58 a 3.41 mm/día, que corresponden a un ecosistema de montaña. En el mes de junio se ha determinado el valor máximo de evapotranspiración el cual está relacionado con la época de sequía de la zona que de la misma forma se asemeja a los valores obtenidos en el estudio de caracterización del austro ecuatoriano.

Mediante la caracterización de la zona se establece un área potencialmente regable de 107 hectáreas y área regable neta de 88 hectáreas para un caudal de 51.3 l/s dada por la concesión.

Las condiciones topográficas y la ubicación del área de estudio para el proyecto de riego representaron un reto significativo debido a la presencia de varias zonas accidentadas con pendientes pronunciadas y de difícil acceso. Por lo tanto, se requirió un diseño cuidadoso para asegurar un correcto funcionamiento. Además, se debe considerar el cuidado de los caminos colindantes a la red de conducción con el fin de facilitar las labores de operación y mantenimiento en dichas zonas.

Se ha evaluado cuatro alternativas de entrega de agua para determinar el turno de riego. Estas opciones difieren en varios parámetros, como el número de horas, el caudal distribuido a cada zona y el área regable real. De acuerdo a las necesidades del proyecto se estableció una frecuencia de riego semanal y se configuró un turno de riego rotativo de 12 horas desfasado para cada zona, en el que se alcanza a regar 88 hectáreas (82% del área total). Este enfoque permite una distribución eficiente del recurso hídrico y garantiza una cobertura adecuada para la una mayor área cultivo.

En época de estiaje de la zona el proyecto no logra satisfacer las necesidades de riego, por lo que es necesario aumentar la eficiencia de riego mediante la implementación de diferentes métodos de riego y de esta manera aprovechar todo el recurso hídrico captado. De igual manera el área potencialmente regable se reduce aproximadamente a 63 hectáreas y un área regable real de 52 hectáreas para un caudal de 31 l/s captado en la época de sequía de la zona.

Para el dimensionamiento hidráulico de la matriz, se ha determinado un diámetro de 250mm para el tramo inicial, que abarca una longitud de 1.15 km desde el inicio de la conducción hasta la derivación del primer usuario. Posteriormente, el diámetro requerido para el tramo

restante de la matriz, correspondiente a los ramales de Cachi y Rumipamba, es de 160mm. Finalmente, desde la bifurcación de la matriz en el ramal de Rumipamba, el diámetro necesario se reduce a 110mm.

En cuanto al dimensionamiento hidráulico de las líneas secundarias, se han requerido diámetros nominales de 50, 90, 110 y 160mm. Se verificó que las velocidades en las tuberías se encuentran dentro de un rango de velocidades de 0.5 a 5 m/s, con una velocidad mínima de 1.30 m/s y una máxima de 1.40 m/s. Las velocidades elevadas se deben a los grandes desniveles que existe desde la matriz hasta la cabecera de algunos de los predios.

Dadas las condiciones topográficas del proyecto de riego, se ha requerido implementar tanques anuladores de presión en la matriz de conducción y en las líneas secundarias de distribución, Esta medida se ha tomado para prevenir el fenómeno de sobrepresión que puede causar el colapso de las tuberías, además de reducir la presión estática para mantener la presión en cada predio dentro de un rango de 20 a 40 m.c.a.

La implementación del proyecto de riego mejorado permitirá servir a 56 beneficiarios directos. De estos beneficiarios, 4 son nuevos usuarios que previamente no tenían acceso a proyectos de riego confiables. Es importante destacar que el aumento en el número de beneficiarios se ha logrado sin comprometer la disponibilidad de agua para los usuarios existentes, gracias a las mejoras en la eficiencia del proyecto de riego. En cuanto al diagnóstico actual, la eficiencia en la conducción rondaba el valor del 50%, mientras que, con el diseño planteado, para el proyecto de riego se proyecta una eficiencia del 80%.

En el análisis de la infraestructura actual ha permitido identificar la existencia de una captación deficiente, la cual obliga a una reubicación y diseño de la misma.

Debido a que el caudal disponible se presentó como una limitante durante el diseño del proyecto, se debería implementar un plan de capacitación por parte del GAD Municipal para garantizar que las eficiencias de riego proyectadas en las hipótesis de diseño se alcancen en la práctica. El plan de capacitación debe estar orientado a proporcionar conocimientos y habilidades prácticas a los usuarios que impliquen la importancia de cumplir la programación de riego para cada parcela, estar atentos a las necesidades de agua de sus cultivos y realizar un mantenimiento oportuno de las instalaciones.

La valoración del proyecto de riego tecnificado que incluye las obras estructurales y materiales necesarios para la matriz de conducción y las líneas de distribución, tiene un costo aproximado de 270,789.81 dólares. La inversión inicial, genera beneficios a largo plazo. El cual garantiza una mejor gestión del agua que de forma directa incrementa la productividad

agrícola, lo que justifica la tecnificación del proyecto para las comunidades de Cachi y Rumipamba.

Referencias

- Agüero, R. (1997). *AGUA POTABLE PARA POBLACIONES RURALES: Sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento*. Lima: Asociacion ServiciosEducativos Rurales (SER).
- Aidarov, I. P., Mamaev, M. G., & Golovanov, A. I. (1985). *El Riego*. Mosú: Editorial Mir.
- Allen, R. G. (2006). *Evapotranspiración de cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma.
- Arocha, S. (1979). Abastecimientos de Agua: Teoría y diseño. En S. Arocha, *Abastecimientos de Agua: Teoría y diseño*. Caracas.
- Banco Mundial, G. (14 de Julio de 2021). *Grupo Banco Mundial*. Obtenido de Grupo Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/home>
- Carrazón, j. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego . En *Progrma espeecial para la seguridad alimentaria (PESA), Organuizacion de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentacion (FAO)*. Honduras 15-104.
- Catalán, V. E., Sánchez, C. I., Villa, C. M., Inzunza, I. M., & Mendoza, M. S. (2007). El riego, la Importancia de su Programación y los Parámetros de Humedad en el Suelo. *Intagri*.
- Cisnero Espinosa, F., & Rojas, R. C. (1999). *Agua, suelo, tecnologias*. Cuenca: REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA anales.
- De Plaza, J. S. (2017). Ejercicios practicos en EPANET. Universidad piloto de Colombia.
- FAO. (1986). *Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs*. Roma: FAO.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultuvos, Estudio FAO riego y drenaje 56*. Roma.
- FAO. (2013). *CAPTACION Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. FAO.
- Gaybor, A. (2018). Análisis exploratorio hacia la comprensión de evolución tecnológica del riego en el Ecuador. *Revista Economía*, 33-51.
- Mafia, E. D., Cabezas, D., & Carrasco, F. (2002). *La produccion, el riego y el mercado*. CAMAREN.
- Ortiz, R., Pazmiño, J., & Chile, M. (2021). Eficiencias en el sistema de riego Tumbaco, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 1-10.
- Pacheco, E. (2022). Necesidades Hidricas de un proyecto de riego. *Notas de curso: Principios de Riego & Drenaje*. Universidad de Cuenca.

Pacheco, E. A., & Carrillo, V. (2018). Elementos de ingeniería de Riego, Notas de Curso. Cuenca: Univesidad de Cuenca.

Pacheco, E., & Carrillo, V. (2022). Metodo de Reigo: Generalidades y elementos de diseño. *Notas del Curso: Principios de Riego & Drenaje*. Cuenca: Universidad de Cuenca.

Pramanik, M. (2016). Site suitability analysis for agricultural land use of Darjeeling district using AHP and GIS techniques. *Modeling Earth Systems adn Environment*, 1-22.

Rossmann, L. (2002). EPANET 2.2. vE Software para simulaciones de comportamiento hidráulico desarrollado por EPA. Agencia Ambiental de EEUU.

Rubio Garcia, J. R., & López Ruiz, M. J. (2015). *Agrojardinería y composiciones florales* (Vol. Volumen 1). SINTESIS, S. A.

Sotelo, G. (1999). *Hidráulica General*. México, D.F.: Limusa.

Anexos

Anexo A. Encuestas Tabuladas correspondiente a los usuarios de Cachi y Rumipamba

	CODIGO (*)	NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS	TECNICO						
			A. Total (ha)	A. Regable (ha)	A. Regada (ha)	Periodo Riego (días)	Tiempo Riego (horas)	Fuente (**)	Riego Parcelario (***)
Rumipamba	2	Ángel María Zhiñin	3.5	3.5	3	Cada 8 días	5h 40min	CT	I
	2	Ángel María Zhiñin	1.5	1.5	1	Cada 8 días	5h 40min	CT	AS
	3	Manuel Vicente Zhiñin	1.5	2	0.5	Cada 8 días	2h 15min	CT	I
	3	Manuel Vicente Zhiñin	2	2	0.5	Cada 15 días	5h 30min	CT	I
	5	Leticia del Socorro Montenegro	3.91			Cada 9 días	12 h 00min	CT	I y AS
	6	José Vicente Pacheco Pacheco	1.5	1.4	0.5	Cada 19 días	13h 00min	CT	I
	7	Torrin Mac Brauch	6	2	5.5	Cada 8 días	4h 00min	CT	I y As
	9	Sra. Dolores Pacheco	2	2	0.5	Cada 8 días	3h 00min	CT	I
	9	Sra. Dolores Pacheco	1	1	0.25	Cada 8 días	1h 00min	CT	I
	9	Sra. Dolores Pacheco	0.5	0.5	0.25	Cada 8 días	1h 00min	CT	I
	10	María Dolores Mendía Remache	3	5.5	2	Cada 15 días	12h 00min	CT	I y AS
	10	María Dolores Mendía Remache	2	1	1	Cada 12 días	3h 00min	CT	I y AS
	10	María Emilia Mendía Remache	10	10	10	Cada 3 días	16h 00min	TU	As
	11	Blanca María Lazo Arévalo	0.08	0.04	0.04	Cada 8 días	4h 30min	CT	I y AS
	12	José Humberto Pintado Querido	8	8	4	Cada 9 días	25 h00	CT	Go, As
	13	María Florinda Carchi Coronel	2	1.5	1.5	Cada 18 días	10 h 00min	CT	I
	14	Luís German Zhizhpón Arévalo			Todo	Cada 19 días	2h 00min	TU	AS
	14	Luís German Zhizhpón Arévalo			Mitad	Cada 19 días	2h 00min	CT	I
	16	Iván Genaro Abad Montenegro	1.2	1	0.5	Cada 8 días	4h 00min	CT	I
	17	Miguel Ángel Pacheco	2	7	0.75	Cada 19 días	20h 00min	CT	I
	17	Miguel Ángel Pacheco				Cada 8 días	1h 20min	CT	I
	18	José Roberto Inga Lazo	15.5	11.5	2	Cada 9 días	6h 00min	CT	I y As
	19	Blanca Guzmán Pacheco				Cada 16	2h 00min		AS
	21	Carmen de Jesús Chapa	1	1	1	Cada 7 días	2h 00min	CT	I
	24	Ángel Benigno Campoverde Matute	0.5	0.5	0.5	Cada 7 días	24h 00min	TU	AS
	24	Ángel Benigno Campoverde	0.5	0.5	0.5	Todos los días	9h 00min	CT	As
	25	Sr. Pompilio Guzmán	0.075		Todo	Cada 8 días	0h 30v	CT	I
	25	Sr. Pompilio Guzmán			Todo	Todos los días	1h 30min	TU	AS
	26	Blanca Rocío Zhiñin Arévalo	4	4	1	Cada 8 días	5h 00min	CT	As
	27	María Flor Pacheco Pacheco (Representante)	2		1	Cada 10 días	15h 00min	CT	Go, As
	28	María Evangelina Panamá	7	5	3	Cada 9 días	6h 00min	CT	AS
	29	Luisa Carmelina Pacheco Chica	1.5	1.2	0.7	Cada 8 días	3h 00min	CT	I
	30	Ángel Modesto Carchi Pañi	0.25	0.25	0.25	Todos los días	1h 00min	TU	As
C	36	Eloy de Jesús Delgado Coronel	4	4	4	Cada 15 días	6h 00min	CT	I

37	Mesías Morocho	3	3	3	Cada 8 días	5h 00min	CT	I
38	Miguel Oswaldo Coronel Delgado	4	3.5	3.5	Cada 8 días	8h 00min	CT	I
39	José Gerardo Zhizhpón Lalvay	2	2	1	Todos los días	1h 30min	CT	I
40	Luis Alejandro Narváez	2	0.5	0.5	Cada 15 días	3h 20min	CT	I
41	Herederos de Rosa Coronel	3	1	1	Cada 15 días	1h 00min	CT	I
41	Herederos de Rosa Coronel	0.5	0.5	0.5	Cada 15 días	1h 00min	CT	I
43	Manuel Vicente Erraez Rivas	5	3	2	Cada 8 días	5h 00min	CT	I
44	Griselda María Morocho Castro	8	4	2	Cada 15 días	14h 00min	CT	NO
44	Griselda María Morocho Castro	4	2	2	Cada 15 días	6h 00min	CT	NO
50	José Roberto Ramon Sanmartín	6	5	2	Cada 8 días	12h 00min	CT	AS y I
50	José Roberto Ramon Sanmartín	1	1	1	Cada 8 días	4h 00min	CT	AS
54	José Rafael Zhizhpón	5	2	1	Cada 7 días	6h 00min	CT	I
54	José Rafael Zhizhpón Sanmartín	2	2	2	Todos los días	3h 30min	CT	I
Nuevo	José Luis Zhizhpón Lalvay	2	2	1	Todos los días	2h 00min	CT	I
Nuevo	Cesar Amable Zhizhpón Arévalo	2	2	2	Todos los días	1h 30min	CT	I

Anexo B. Catastro de las comunidades de Cachi y Rumipamba

Catastro comunidad de Cachi			Catastro comunidad de Rumipamba		
Código Usuario	Usuario	Área total	Código Usuario	Usuario	Área total
1	José Sanmartín Coronel	13.25	32	Ignacio Brito	0.20
2	Ángel María Zhiñin	3.05	33	Hered. Cesar Zhiñin	0.25
	Ángel María Zhiñin 2	3.45	34	Humberto Carchi	4.85
	Ángel María Zhiñin 3	2.50		Humberto Carchi 2	2.00
	Ángel María Zhiñin 4	1.15	35	Cornelio Cruz	7.15
	Ángel María Zhiñin 5	1.70	36	Eloy Delgado	3.00
3	Manuel Vicente Zhiñin	2.70	37	Mesías Morocho	2.60
	Manuel Vicente Zhiñin 2	1.30	38	Miguel Oswaldo Coronel	2.00
4	Porfirio Mendía	3.10		Miguel Oswaldo Coronel	4.80
	Porfilio Mendía 2	2.10	39	Gerardo Zhizhpón Lalvay	4.15
5	Leticia del Socorro Montenegro	3.70		Gerardo Zhizhpón 2	4.65
6	José Vicente Pacheco Pacheco	1.50		Gerardo Zhizhpón 3	0.60
7	Torrin Mac Bauch	2.00	40	Alejandro Narváez	1.80
8	Blanca Quinde	1.60		Alejandro Narváez 2	0.40
9	Dolores Pacheco	1.65	41	Hered. Rosas Coronel	3.20
10	María Dolores Mendía	1.20	42	Rosario Carchi	0.90
	María Dolores Mendía 2	0.15	43	Vicente Erraez	4.25
	María Dolores Mendía 3	2.10	44	José Manuel Sanmartín	7.55
	María Dolores Mendía 3	1.55		José Manuel Sanmartín 2	7.85
11	Blanca Lazo	1.00	45	Segundo Coronel Delgado	10.20
12	Humberto Pintado	1.10		Segundo Coronel Delgado 2	2.05
	Humberto Pintado 2	6.15		Segundo Coronel Delgado 3	0.30

13	María Florinda Carchi Coronel	1.40
14	Luis Zhizhpón	0.95
	Luis Zhizhpón 2	2.60
	Luis Zhizhpón 3	2.20
15	José Chimbo	1.50
16	Iván Genaro Abad Montenegro	1.85
17	Miguel Ángel Pacheco	2.20
	Miguel Ángel Pacheco	1.50
18	José Roberto Inga Lazo	3.15
19	Blanca Ibelia Pacheco	0.20
20	Inés Quezada Brito	0.15
21	Luis Gerardo Maita	0.20
22	Lilian Quezada Brito	0.17
	Lilian Quezada Brito 2	0.20
23	Juan Quezada Brito	0.15
	Juan Quezada Brito 2	0.35
24	Ángel Benigno Campoverde	0.45
25	Pompilio Guzmán	0.25
	Pompilio Guzmán 2	0.22
26	Blanca Rocío Zhiñin Arévalo	2.50
27	María Flor Pacheco Pacheco	3.40
28	María Angelina Panamá Castillo	4.80
29	Luisa Carmelina Pacheco	2.10
30	Ángel Modesto Carchi	0.15
31	Antonio Pañi Cabrera	4.05

	Segundo Coronel Delgado 4	24.65
46	Gustavo Coronel	7.35
47	Manuel Coronel	3.15
48	Otilia Ramon Sanmartín	2.45
49	Carlos Ramon Sanmartín	3.60
50	José Ramon Sanmartín	6.20
	José Ramon	1.15
51	Rosa Ramon Sanmartín	1.95
52	Mercedes Ramon Sanmartín	1.30
53	Rosalina Currillo	0.25
54	Rafael Zhizhpón	4.00
	Rafael Zhizhpón	7.25
	Rafael Zhizhpón	0.85
55	José Luis Zhizhpón Lalvay	0.48
56	Cesar Amable Zhizhpón Arévalo	0.25

Anexo C. Precipitación mensual en el periodo del año 1990 hasta 2013

PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES (mm)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	47.7	123.9	64.5	109	45.9	16.1	6.19	0.5	15.19	134.5	54	41.7
1991	62.5	41.4	192.4	74.9	36	24.9	4.8	5.2	17.3	20.1	20.4	76.4
1992	57.9	94.2	134.5	96.1	49.3	2.9	6.19	2.3	49.5	18.8	32.6	58.8
1993	80.2	226.5	266.4	214	64.6	0.8	8.5	6.2	23	28.5	25.6	141.3
1994	85.7	147.4	192.4	118.1	57.1	8.9	6.4	6.7	5.2	6.5	46	133.9
1995	95.8	38.7	84.3	48.4	69.2	1.4	10.1	0	11.9	22.7	83.1	95.8
1996	179.2	172	203.1	101.1	46.3	14.5	0.6	0.8	6.9	89.2	29.3	0.1
1997	100.6	114.7	135	88.7	18.3	48.2	4.1	4.56	36	61.8	173.7	140.3
1998	67.6	49.8	193.4	166.9	18.5	1	1.7	10.4	0.6	51.4	20.4	28.5
1999	134.8	151.3	273.1	147.6	87.4	106.8	7	2	25.7	2	0.9	176.5
2000	37.9	123.4	332	121.4	44.4	1.8	6.19	1.7	88	0.8	2.3	61.8
2001	97.88	108.2	224.7	98.7	84.8	0.8	1.3	4.56	9.1	45.4	89.1	50
2002	51	48.5	131.5	125.6	33.3	11.6	6.19	4.56	15.19	45.4	60.8	90.6
2003	48.2	114.2	169.44	128.1	39.2	102.7	5.4	4.56	9.3	45.4	60.3	79.9
2004	97.9	184	185.2	211.6	14.9	20.5	3	8.2	9.7	31.5	60.9	110.1
2005	25.3	144.1	258.4	40.6	32.6	8.7	6.19	4.56	15.6	31.6	12.5	70.5
2006	97.9	184	185.2	211.6	14.9	20.5	3	8.2	9.7	31.5	60.9	110.1
2007	86.2	32.3	144.4	113.19	74.1	21.2	8.5	3.3	3.3	51.5	83.3	100.8
2008	142.7	145.9	281.9	63.9	44.5	38.8	10.3	14.6	17.2	48.8	168.5	108.1
2009	195.1	178.3	187.8	161.8	49	21.4	6.19	3.8	15.19	45.4	60.3	100
2010	138.3	109.8	313.9	56.9	52.6	88.6	86.6	5.4	15.19	45.4	176	193.7
2011	313.6	120.5	117.7	210.8	2.5	78.5	30	44.4	0	39.4	73.8	117.8
2012	364.9	372.8	189.9	222.3	32.9	26.5	7.2	9.1	9.3	108.3	93.7	84.7
2013	146.8	127.6	80.8	11.9	0	61.3	26	0	0	60.9	4.7	76

Anexo D. Necesidad de Riego de cada cultivo y total del proyecto de riego

Cultivo		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pasto	NR _{bruta} [m³/día]	0.0	0.0	0.0	25.8	611.5	695.7	838.5	891.0	698.4	678.3	680.4	183.6
Maíz		0.0	0.0	0.0	0.0	228.6	0.0	0.0	0.0	0.0	155.8	165.1	4.9
Frutales Cítricos		0.0	0.0	0.0	0.0	518.5	915.8	1105.0	741.6	571.3	526.5	531.1	42.5
Frutales Banana		0.0	0.0	0.0	5.9	174.0	190.9	230.3	223.1	176.0	174.0	0.0	0.0
Raíces y Tubérculos		0.0	0.0	0.0	60.4	438.2	488.6	589.2	538.1	420.2	0.0	0.0	0.0
Café		0.0	0.0	0.0	0.0	275.3	339.8	386.9	412.2	320.6	304.4	306.1	57.8
Hortalizas peñas		0.0	0.0	0.0	0.0	72.9	85.0	108.4	115.3	90.1	86.5	69.3	5.5
Leguminosas		0.0	0.0	0.0	0.0	132.2	146.2	49.2	54.7	0.0	0.0	0.0	0.0
NR _{bruta} Total		0.0	0.0	0.0	92.2	2451.1	2861.9	3307.5	2975.9	2276.5	1925.5	1751.9	294.3

Anexo E. Distribución espacial

Ramal	Zonas	Horario Apertura	Horario cierre	Código Usuario	Usuario	Área regable	Caudal de riego
						ha	l/s
Cachi	Zona 1	Lunes 07h00	Lunes 19h00	39	Gerardo Zhizhpón Lalvay	2.10	14.57
				44	José Manuel Sanmartín	2.04	14.16
				48	Otilia Ramon Sanmartín	1.24	8.61
				45	Segundo Coronel Delgado	2.04	14.16
Rumipamba	Zona 7	Lunes 19h00	Martes 07h00	49	Carlos Ramon Sanmartín	1.65	11.44
				44	José Manuel Sanmartín 2	1.85	12.83
				43	Vicente Erraez	1.96	13.63
				45	Segundo Coronel Delgado 4	1.93	13.36
CACHI	Zona 2	Martes 07h00	Martes 19h00	41	Hered. Rosas Coronel	1.82	12.66
				54	Rafael Zhizhpón	2.28	15.82
				45	Segundo Coronel Delgado 2	1.17	8.11
				39	Gerardo Zhizhpón 2	2.19	15.23
Rumipamba	Zona 8	Martes 19h00	Miércoles 07h00	1	José Sanmartín Coronel	2.00	13.88
				2	Ángel María Zhiñin	1.39	9.66
				31	Antonio Pañi Cabrera	1.94	13.49
				14	Luis Zhizhpón	1.24	8.61
				10	Dolores Mendía	0.76	5.27
CACHI	Zona 3	Miércoles 07h00	Miércoles 19h00	40	Alejandro Narváez	0.95	6.62
				45	Segundo Coronel Delgado 3	0.20	1.37
				40	Alejandro Narváez 2	0.29	2.00
				38	Miguel Oswaldo Coronel	1.06	7.37
				46	Gustavo Coronel	2.70	18.74
				38	Miguel Oswaldo Coronel	2.16	14.99
Rumipamba	Zona 9	Miércoles 19h00	Jueves 07h00	8	Blanca Quinde	0.71	4.94
				2	Ángel María Zhiñin 2	1.50	10.41
				3	Manuel Vicente Zhiñin	1.20	8.33
				2	Ángel María Zhiñin 3	1.13	7.81
				3	Manuel Vicente Zhiñin 2	0.67	4.63
				42	Rosario Carchi	0.54	3.75
				4	Porfilio Mendía 2	0.92	6.40
				9	Dolores Pacheco	0.73	5.05
CACHI	Zona 4	Jueves 07h00	Jueves 19h00	36	Eloy Delgado	1.60	11.12
				37	Mesías Morocho	1.40	9.68
				54	Rafael Zhizhpón	2.70	18.74
				47	Manuel Coronel	1.69	11.74
Rumipamba				17	Miguel Ángel Pacheco	1.04	7.24

Danny Javier Guamán Llivichuzhca – Juan Carlos Guanuchi Mendieta

				13	María Florinda Carchi Coronel	0.64	4.43
				15	José Chimbo	0.68	4.69
				10	María Dolores Mendía	0.71	4.91
				16	Iván Genaro Abad Montenegro	0.84	5.85
				18	José Roberto Inga Lazo	1.39	9.65
				6	José Vicente Pacheco Pacheco	0.68	4.75
				7	Torrin Mac Bauch	0.90	6.22

Anexo F. Alternativas horarias de distribución

Alternativa 1

Turno	Opción 1
Horas (h)	16
Volumen en 7 días	299,71
Caudal ficticio	6,94
Área (ha)	58,8
%Área regada	54,6

Riego a la semana	Zonas	Área potencialmente regable	Factor de reducción	Área Regable	Caudal Continuo	Caudal Cachi o Rumi
		ha	%	ha	l/s	l/s
Lunes	Zona 1	8,73	0,55	4,8	25,0	51,3
	Zona 7	9,59	0,53	5,1	26,4	
Martes	Zona 2	7,86	0,58	4,6	23,7	51,3
	Zona 8	9,17	0,58	5,3	27,7	
Miércoles	Zona 3	8,18	0,55	4,5	23,4	51,1
	Zona 9	9,86	0,54	5,3	27,7	
Jueves	Zona 4	8,21	0,52	4,3	22,2	51,2
	Zona 10	9,353	0,6	5,6	29,2	
Viernes	Zona 5	8,4	0,5	4,2	21,9	51,3
	Zona 11	10,33	0,55	5,7	29,6	
Sábado	Zona 6	8,15	0,55	4,5	23,3	51,3
	Zona 12	9,78	0,55	5,4	28,0	

Alternativa 2

Turno	Opción 2
Horas (h)	18
Volumen en 7 días	299,71
Caudal ficticio	5,2
Área (ha)	64,3
%Área regada	59,8

Riego a la semana	Zonas	Área potencialmente regable	Factor de reducción	Área Regable	Caudal Continuo	Caudal Cachi o Rumi
		ha	%	ha	l/s	l/s
Lunes	Zona 1	8,73	0,6	5,2	24,2	51,3
	Zona 7	9,59	0,61	5,8	27,1	
Martes	Zona 2	7,86	0,65	5,1	23,6	51,2
	Zona 8	9,17	0,65	6,0	27,6	
Miércoles	Zona 3	8,18	0,63	5,2	23,8	51,2
	Zona 9	9,86	0,6	5,9	27,4	
Jueves	Zona 4	8,21	0,61	5,0	23,2	51,3
	Zona 10	9,353	0,65	6,1	28,1	
Viernes	Zona 5	8,4	0,6	5,0	23,3	51,2
	Zona 11	10,33	0,58	6,0	27,7	
Sábado	Zona 6	8,15	0,6	4,9	22,6	51,1
	Zona 12	9,78	0,63	6,2	28,5	

Alternativa 3

Turno	Opción 3
Horas (h)	20
Volumen en 7 días	299,71
Caudal ficticio	4,63
Área (ha)	73,3
%Área Regada	68,1

Riego a la semana	ZONAS	Área potencialmente regable	Factor de reducción	Área Regable	Caudal Continuo	Caudal Cachi o Rumi
		ha	%	ha	l/s	l/s
Lunes	Zona 1	8,73	0,64	5,6	23,3	51,2
	Zona 7	9,59	0,7	6,7	27,9	
Martes	Zona 2	7,86	0,7	5,5	22,9	51,1
	Zona 8	9,17	0,74	6,8	28,2	

Miércoles	Zona 3	8,18	0,65	5,3	22,1	51,3
	Zona 9	9,86	0,71	7,0	29,1	
Jueves	Zona 4	8,21	0,7	5,7	23,9	51,2
	Zona 10	9,353	0,7	6,5	27,3	
Viernes	Zona 5	8,4	0,65	5,5	22,7	51,1
	Zona 11	10,33	0,66	6,8	28,4	
Sábado	Zona 6	8,15	0,65	5,3	22,1	51,4
	Zona 12	9,78	0,72	7,0	29,3	

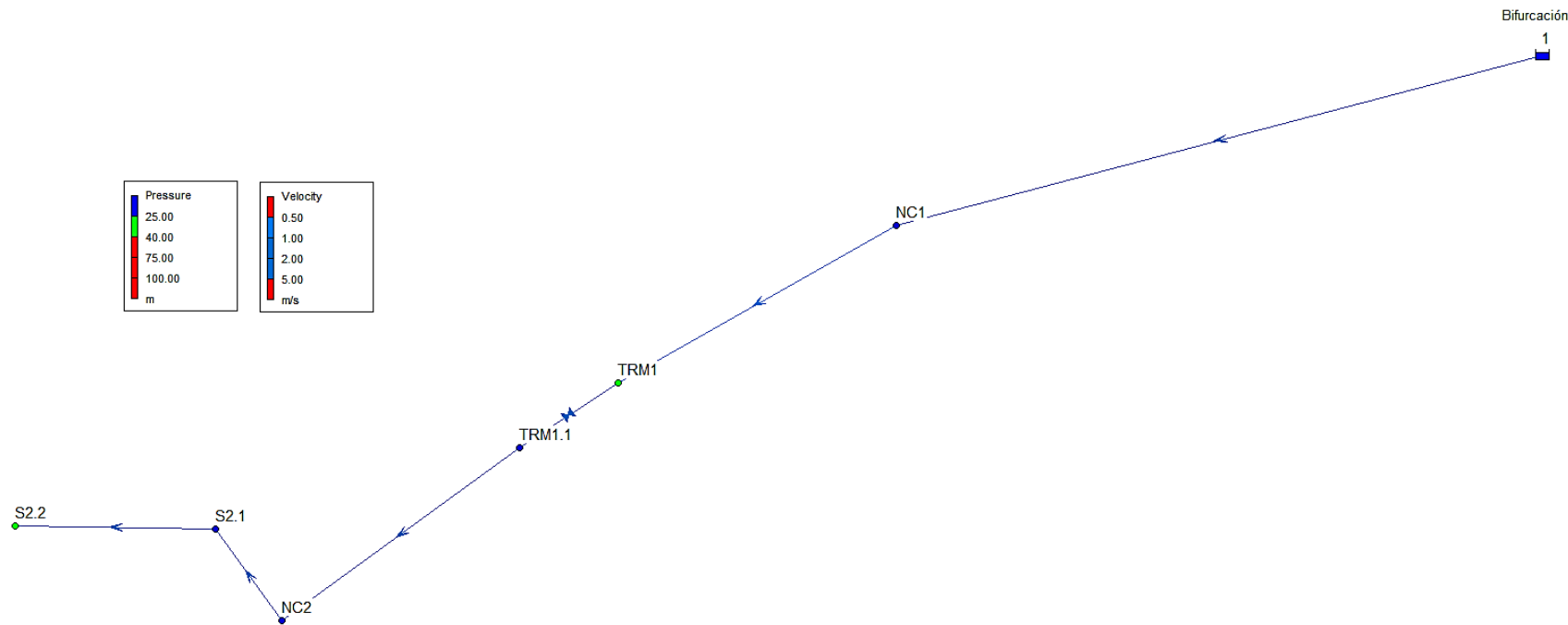
Alternativa 4

Turno	Opción 1 rotativo
Horas (h)	12
Volumen en 7 días	299,71
Caudal ficticio	4,16
Área (ha)	88,3
%Área Regada	82,1

Riego a la semana	Zonas	Área potencialmente regable	Factor de reducción	Área Regable	Caudal Continuo
		ha	%	ha	l/s
Lunes	Zona 1	8,73	0,85	7,4	51,1
	Zona 7	9,59	0,78	7,5	51,1
Martes	Zona 2	7,86	0,94	7,4	51,3
	Zona 8	9,17	0,81	7,4	51,1
Miércoles	Zona 3	8,18	0,9	7,4	51,1
	Zona 9	9,86	0,75	7,4	51,3
Jueves	Zona 4	8,21	0,9	7,4	51,3
	Zona 10	9,353	0,79	7,4	51,3
Viernes	Zona 5	8,4	0,88	7,4	51,3
	Zona 11	10,33	0,72	7,4	51,2
Sábado	Zona 6	8,15	0,91	7,4	51,1
	Zona 12	9,78	0,76	7,4	51,3

Anexo G. Rango de presiones en los nodos y velocidades obtenidos de la simulación en EPANET 2.2

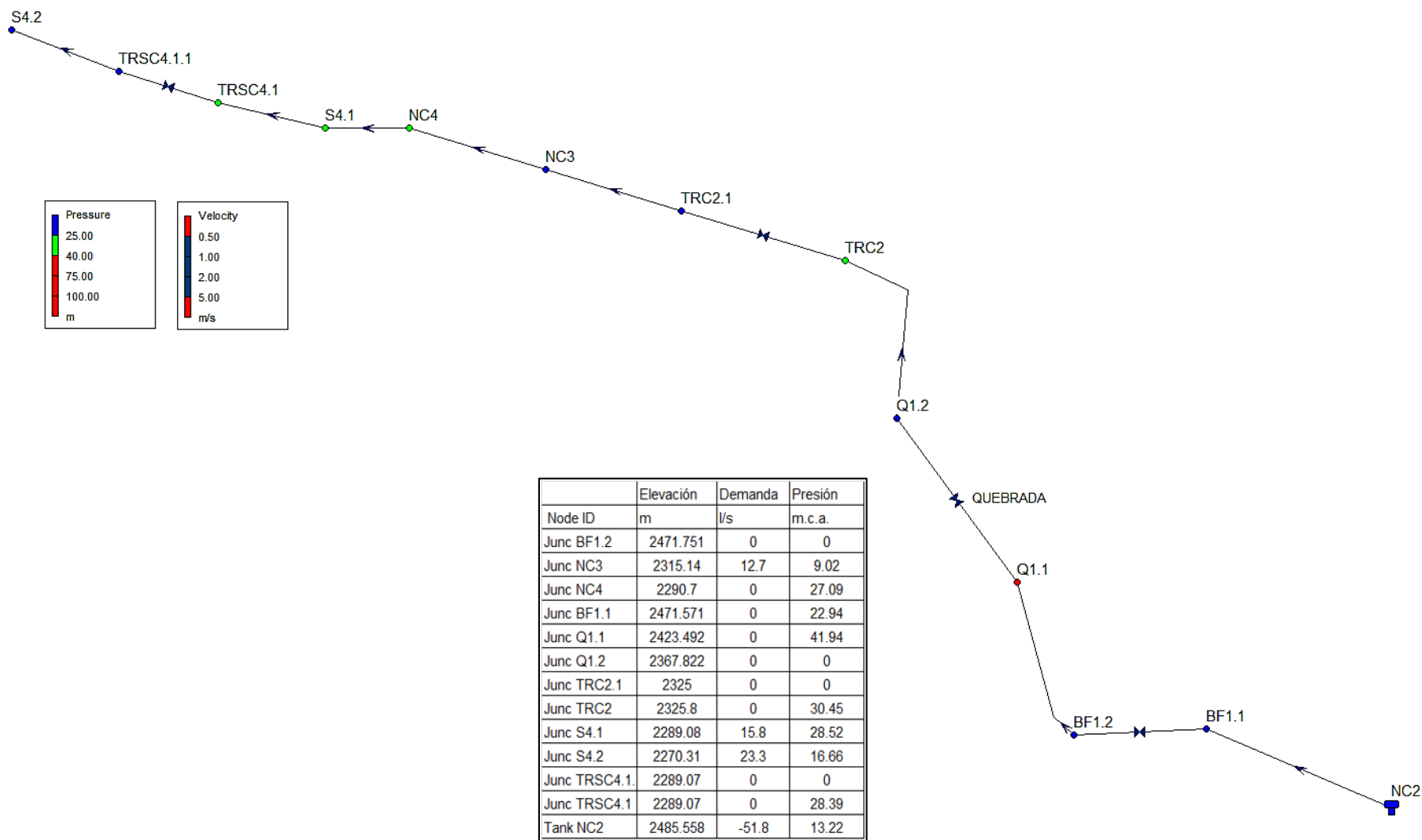
Ramal Inicio Diseño desde donde empieza tubería: Zona 1



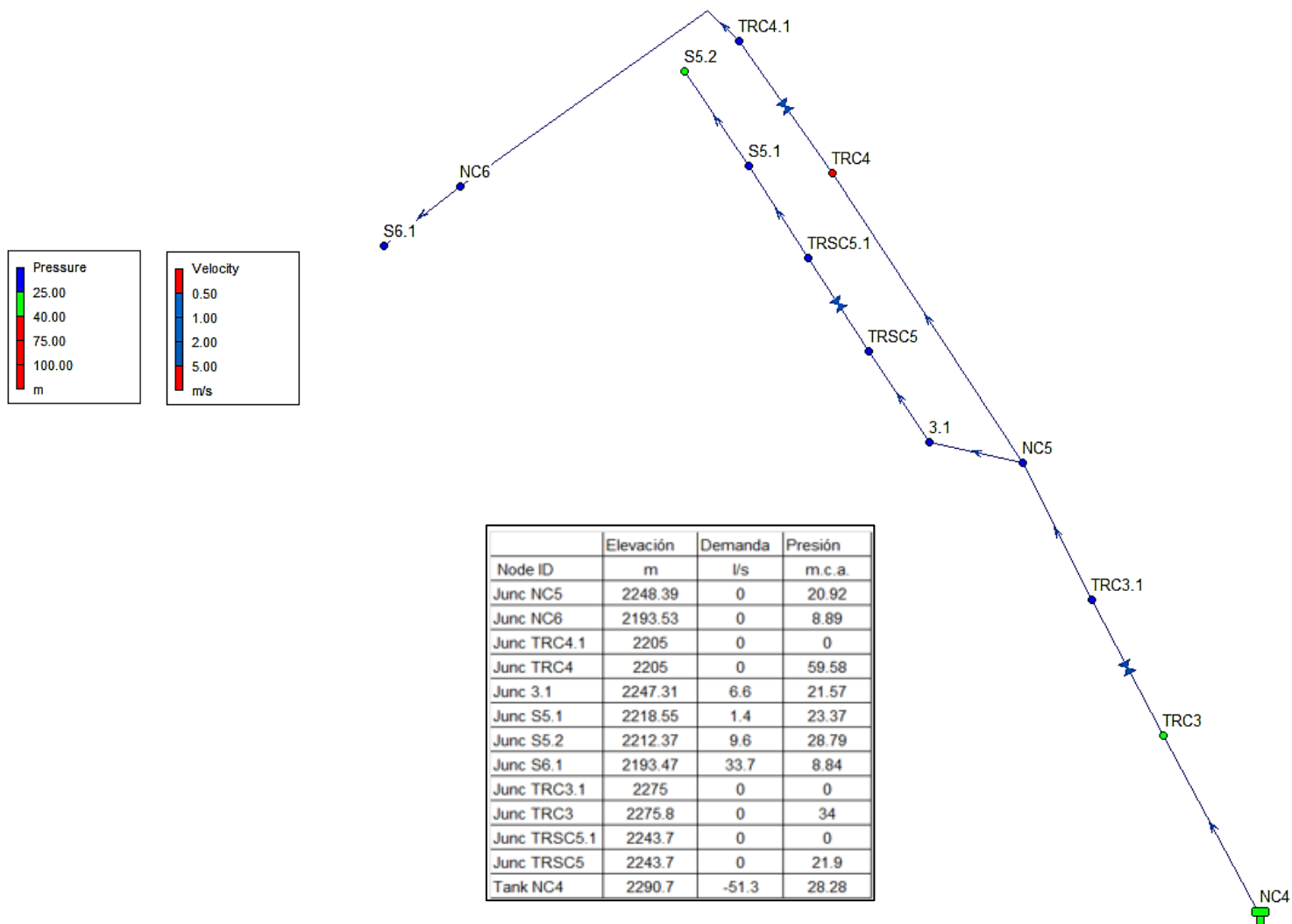
	Elevación	Demanda	Presión
Node ID	m	l/s	m.c.a.
Junc NC1	2531.964	14.6	9.65
Junc NC2	2485.558	0	16.67
Junc TRM1.1	2505	0	0
Junc TRM1	2505.8	0	34.02
Junc S2.1	2478.1	14.2	23.33
Junc S2.2	2471.44	22.8	28.7
Resvr 1	2547.851	-51.6	0

	Longitud	Velocidad
Link ID	m	m/s
Pipe T1	1202	1.23
Pipe T2	637	0.88
Pipe 36	37.5	2.03
Pipe 37	147.9	1.25
Pipe T3	333	1.38

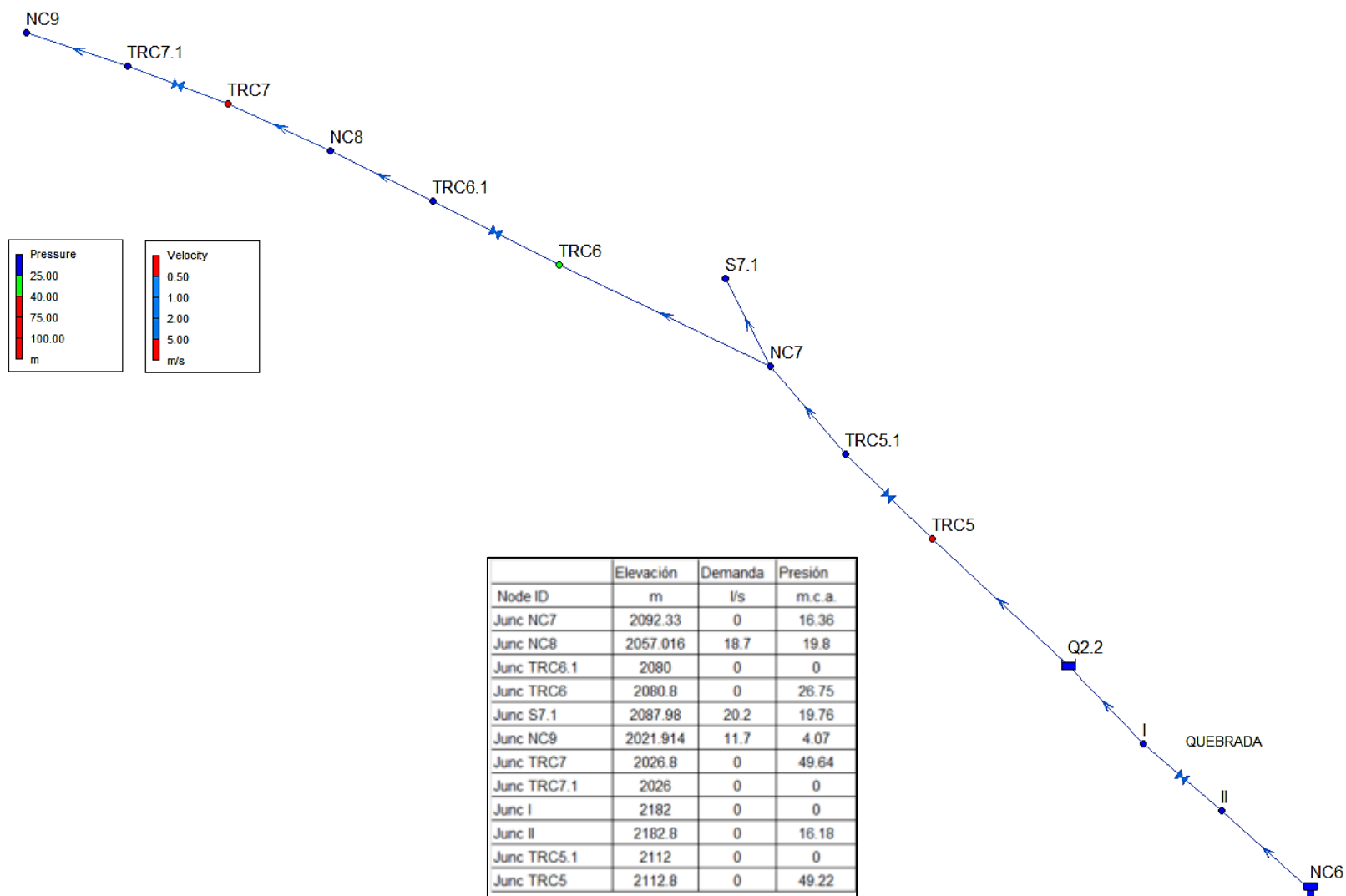
Tramo hasta antes de bifurcación, luego ramal de Cachi: Zona 2



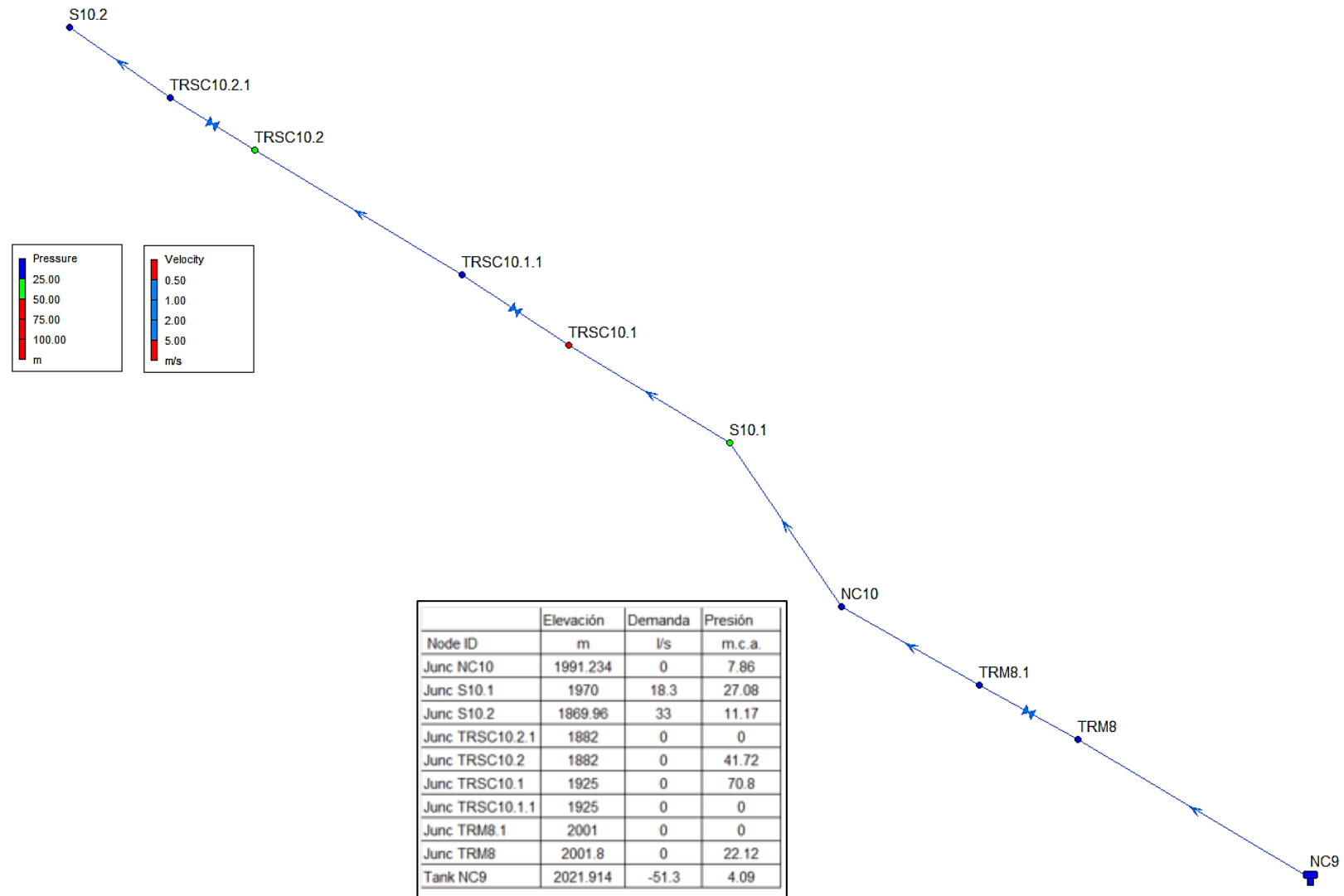
Ramal de Cachi: Zona 3



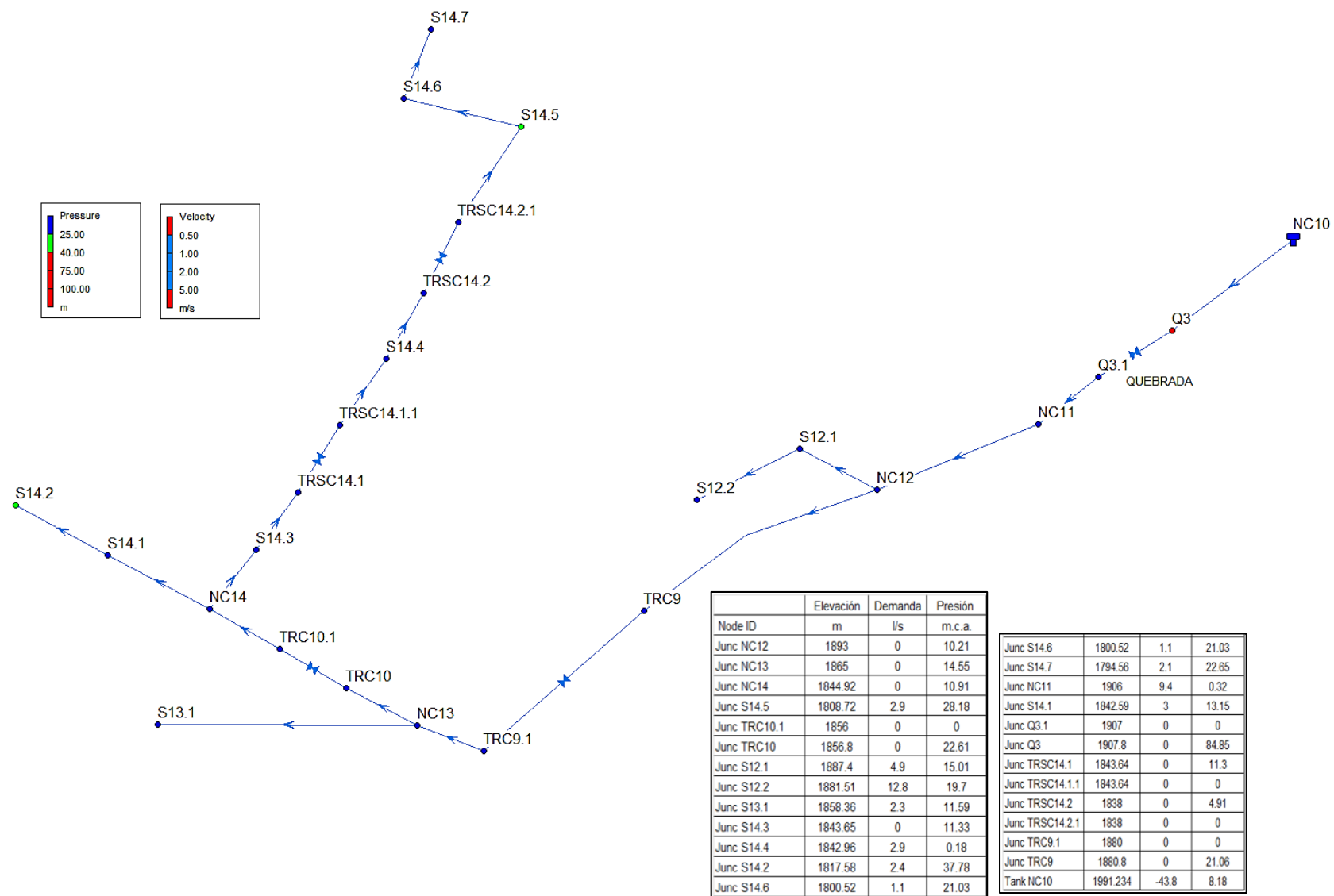
Ramal de Cachi: Zona 4



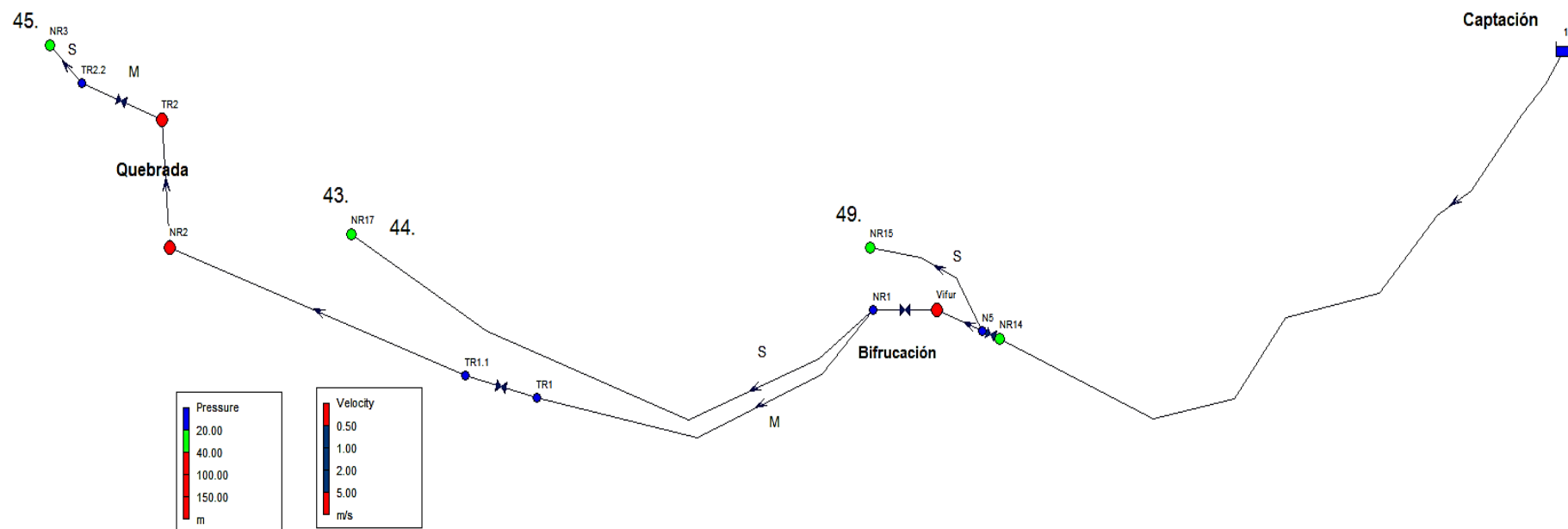
Ramal de Cachi: Zona 5



Ramal de Cachi: Zona 6

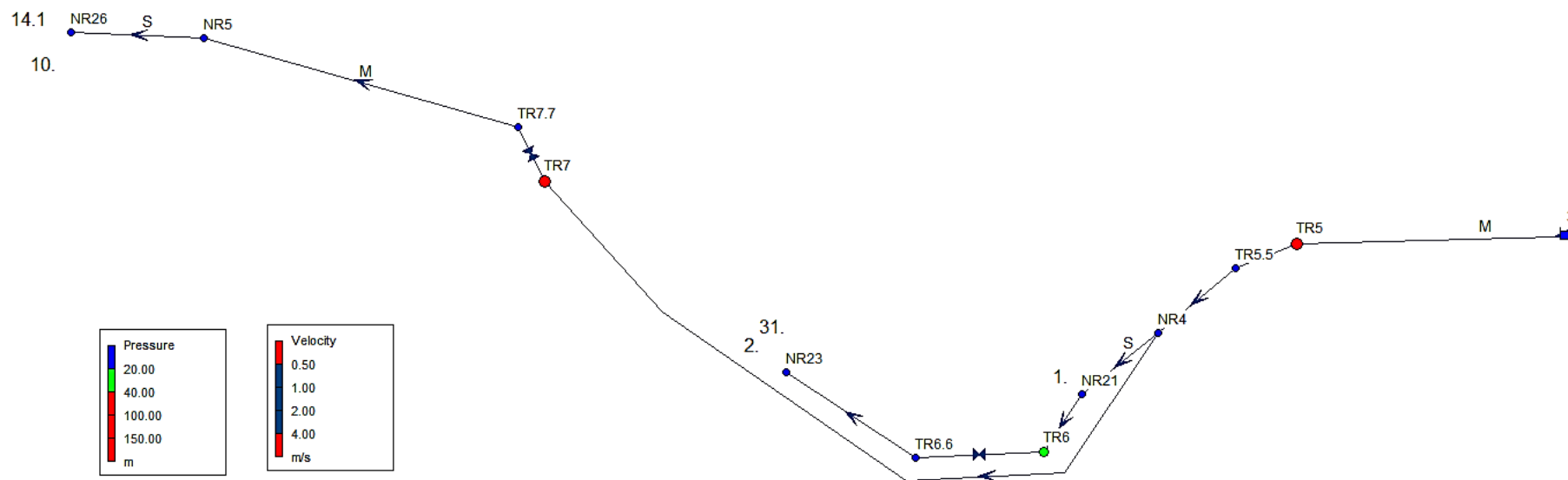


Ramal de Rumipamba: Zona 7



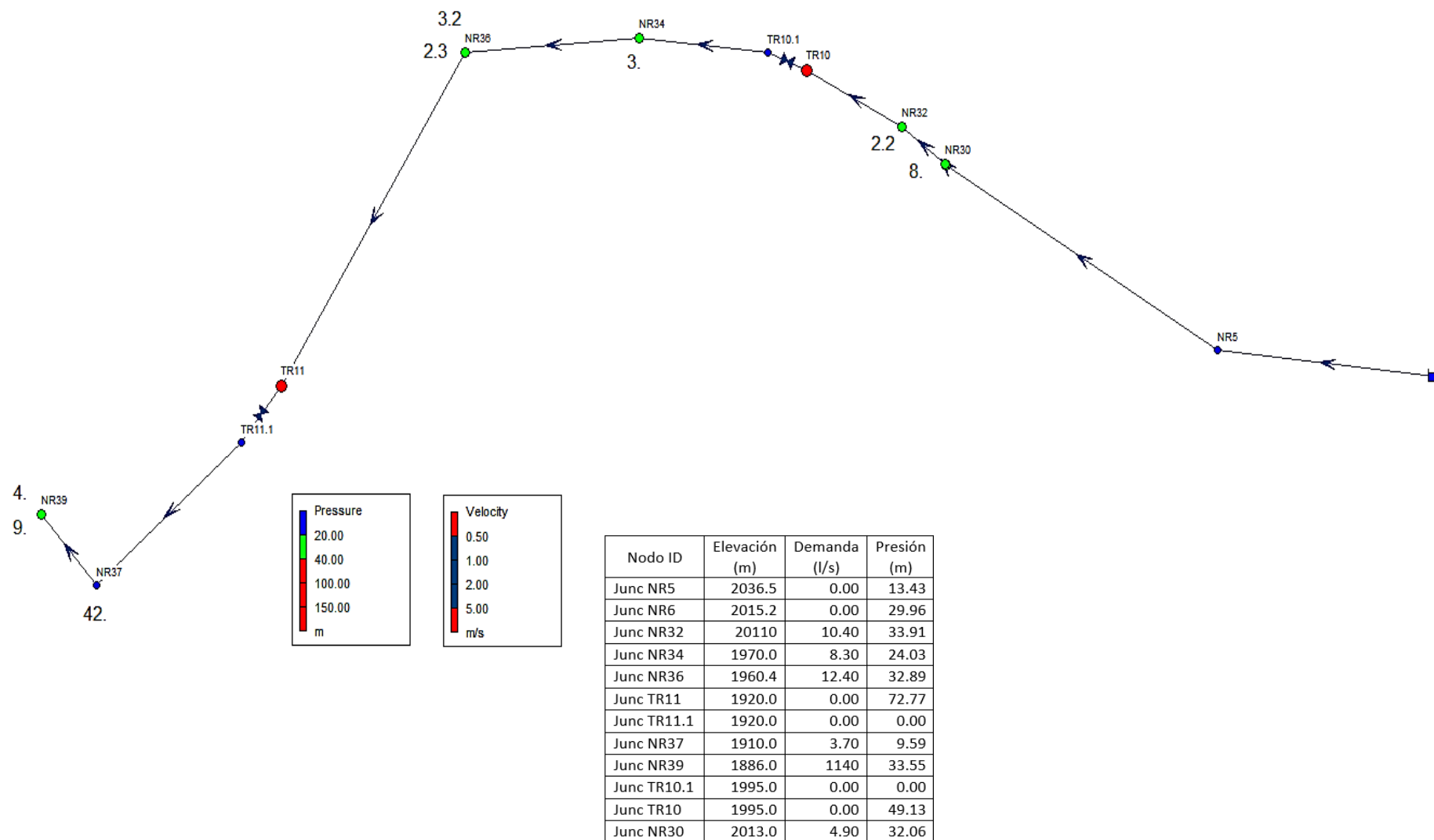
Nodo ID	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Presión (m)
Junc TR1	2451.80	0.00	19.31
Junc TR1.1	2451.80	0.00	0.00
Junc NR2	2400.23	0.00	50.97
Junc TR2	2400.00	0.00	51.19
Junc TR2.2	2360.28	0.00	0.00
Junc NR3	2322.03	13.40	37.76
Junc NR1	2472.00	0.00	0.00
Junc Vifur	2472.00	0.00	43.65
Junc NR14	2500.64	0.00	17.84
Junc NR15	2472.88	11.40	19.85
Junc NR17	2441.91	26.40	26.01
Junc N4	2493.00	0.00	25.47
Junc N5	2493.00	0.00	0.00
Resvr 1	2547.87	-51.20	0.00

Ramal de Rumipamba: Zona 8

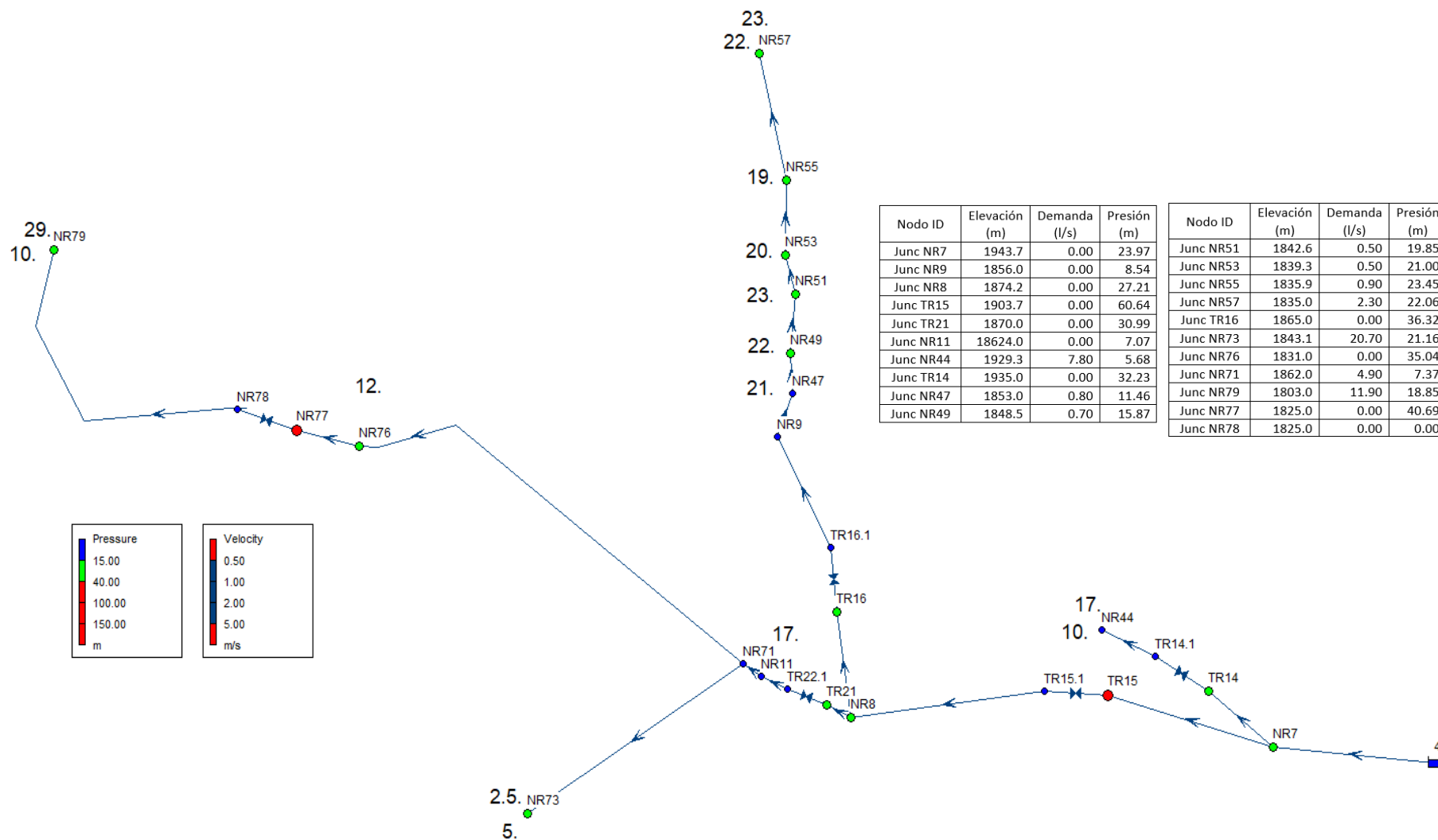


Nodo ID	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Presión (m)
Junc NR4	2129.0	0.00	5.46
Junc NR5	2036.5	0.00	17.12
Junc TR5.5	2135.0	0.00	0.00
Junc TR5	2135.0	0.00	65.18
Junc TR7.7	2054.0	0.00	0.00
Junc TR7	2055.0	0.00	78.67
Junc NR23	2090.7	23.2	14.16
Junc NR26	2036.0	13.9	16.99
Junc TR6.6	2105.0	0.00	0.00
Junc TR6	2105.0	0.00	27.89
Junc NR21	2129.9	13.9	3.52
Resvr 3	2212.3	-51	0.00

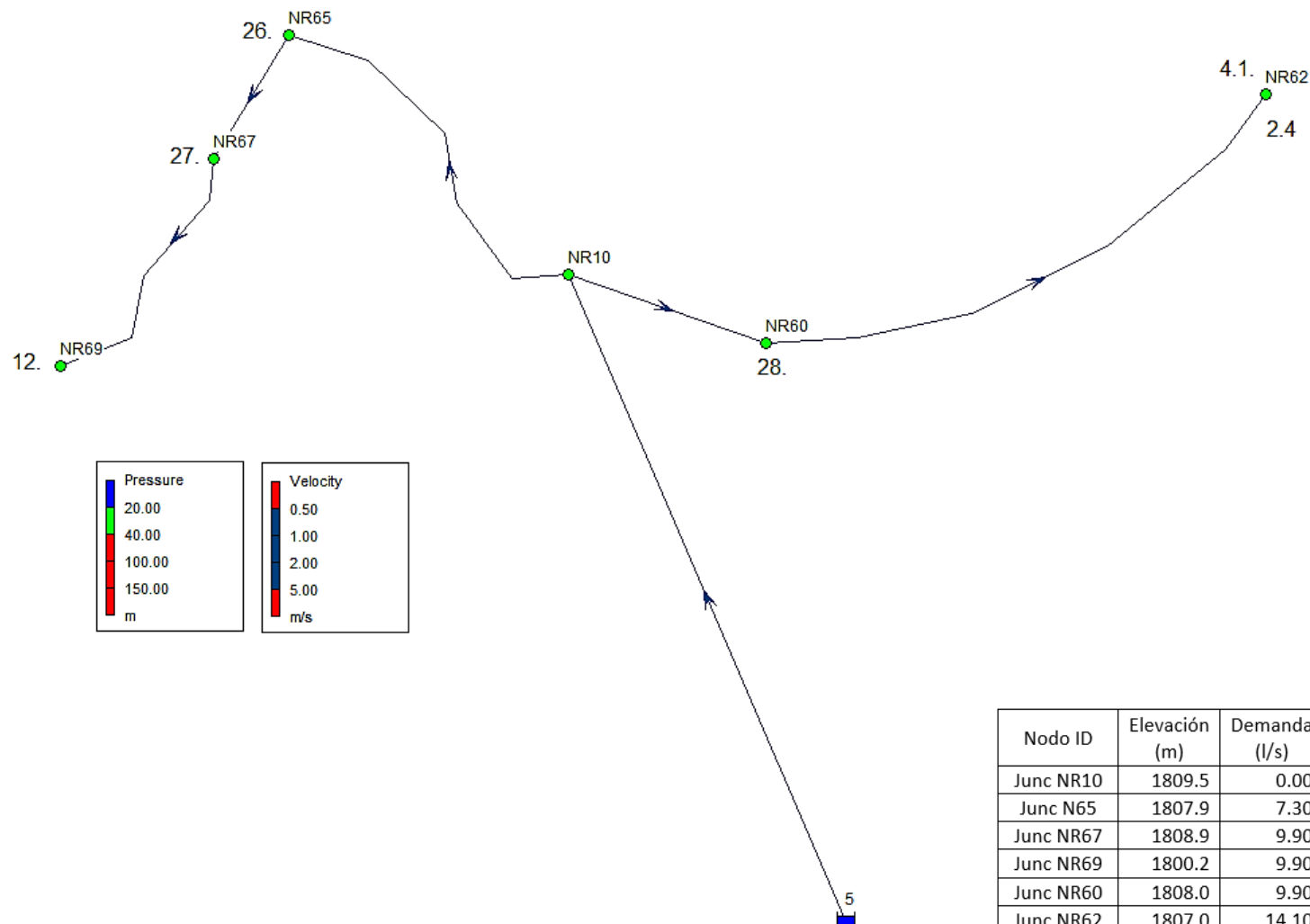
Ramal de Rumipamba: Zona 9



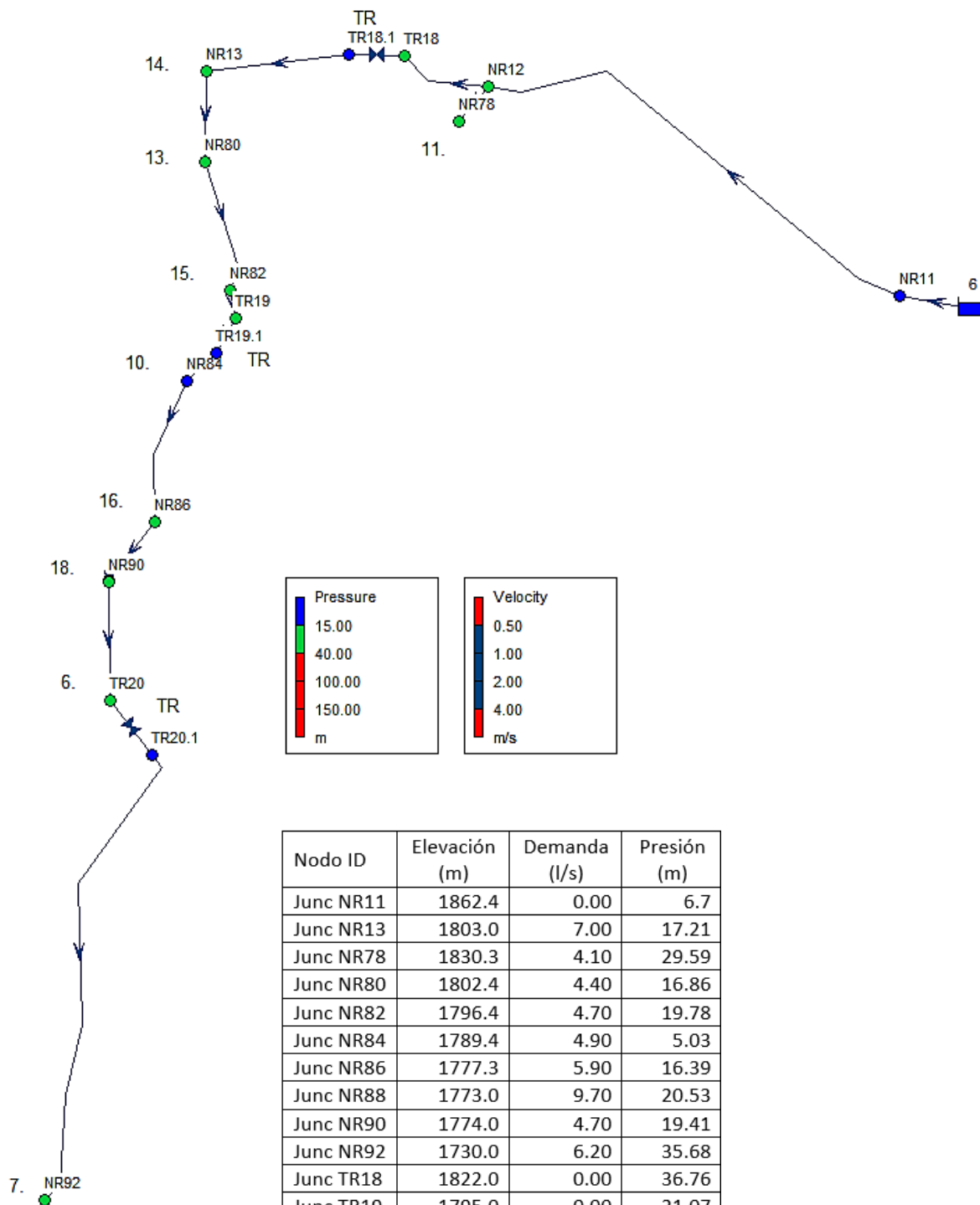
Ramal de Rumipamba: Zona 10



Ramal de Rumipamba: Zona 11



Ramal de Rumipamba: Zona 12



Anexo I. Tabla resultados áreas regables y no regables

Usuario	Cobertura	Tipo	Área Parcial (ha)
José Sanmartín Coronel	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	7.22
José Sanmartín Coronel	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	3.78
José Sanmartín Coronel	pastizal	pasto cultivado	2.24
Antonio Pañi Cabrera	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.25
Antonio Pañi Cabrera	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.26
Antonio Pañi Cabrera	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	3.55
José Ramón Sanmartín	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.08
José Ramón Sanmartín	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.50
José Ramón Sanmartín	pastizal	pasto cultivado	0.56
Cornelio Cruz	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.34
Cornelio Cruz	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.38
Cornelio Cruz	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	2.61
Cornelio Cruz	pastizal	pasto cultivado	0.01
Cornelio Cruz	pastizal	pasto cultivado	3.78
No uso	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.05
No uso	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	4.24
No uso	pastizal	pasto cultivado	4.37
Segundo Coronel Delgado	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.34
Segundo Coronel Delgado	plantación forestal	eucalipto	1.20
Segundo Coronel Delgado	pastizal	pasto cultivado	23.11
Ángel María Zhiñin	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.41
Ángel María Zhiñin	pastizal	pasto cultivado	0.72
Manuel Vicente Zhiñin	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	1.10
Manuel Vicente Zhiñin	pastizal	pasto cultivado	0.15
Manuel Vicente Zhiñin	pastizal	pasto cultivado	0.03
Porfirio Mendía	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.09
Porfirio Mendía	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.28
Porfirio Mendía	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.27
Porfirio Mendía	pastizal	pasto cultivado	1.43
María Dolores Mendía	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.15
Ángel María Zhiñin	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.90

Ángel María Zhiñin	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.59
Ángel María Zhiñin	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.09
Ángel María Zhiñin	pastizal	pasto cultivado	0.92
Leticia del Socorro Montenegro	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	2.75
Leticia del Socorro Montenegro	pastizal	pasto cultivado	0.91
Dolores Pacheco	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.18
Dolores Pacheco	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	1.44
José Vicente Pacheco Pacheco	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.53
José Vicente Pacheco Pacheco	pastizal	pasto cultivado	0.98
José Roberto Inga Lazo	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	1.23
José Roberto Inga Lazo	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.03
José Roberto Inga Lazo	pastizal	pasto cultivado	1.81
José Roberto Inga Lazo	cuerpo agua vegetación	rio	0.07
Iván Genaro Abad Montenegro	herbácea vegetación	vegetación herbácea húmeda	0.68
Iván Genaro Abad Montenegro	arbustiva vegetación	vegetación arbustiva húmeda	0.17
Iván Genaro Abad Montenegro	arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.02
Iván Genaro Abad Montenegro	pastizal	pasto cultivado	0.98
Torrin Mac Bauch	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.03
Torrin Mac Bauch	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.87
Torrin Mac Bauch	pastizal	pasto cultivado	1.08
Luisa Carmelina Pacheco	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.44
Luisa Carmelina Pacheco	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.60
Luisa Carmelina Pacheco	pastizal	pasto cultivado	0.50
Luisa Carmelina Pacheco	cuerpo agua vegetación	rio	0.03
María Dolores Mendía	arbustiva vegetación	vegetación arbustiva húmeda	0.28
María Dolores Mendía	arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.35
María Dolores Mendía	pastizal	pasto cultivado	1.46
Luis Germán Zhizhpón Arévalo	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.40
Luis Germán Zhizhpón Arévalo	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.26
Luis Germán Zhizhpón Arévalo	pastizal	pasto cultivado	1.54
María Dolores Mendía	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.21
María Dolores Mendía	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.15
María Dolores Mendía	pastizal	pasto cultivado	1.19
José Chimbo	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.51

José Chimbo	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.20
José Chimbo	pastizal	pasto cultivado	0.79
Humberto Pintado	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.27
Humberto Pintado	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	2.99
Humberto Pintado	pastizal	pasto cultivado	2.85
Humberto Pintado	cuerpo agua	rio	0.01
María Flor Pacheco Pacheco	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.62
María Flor Pacheco Pacheco	pastizal	pasto cultivado	2.74
María Florinda Carchi Coronel	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.33
María Florinda Carchi Coronel	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.11
María Florinda Carchi Coronel	pastizal	pasto cultivado	0.97
Miguel Ángel Pacheco Pacheco	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.61
Miguel Ángel Pacheco Pacheco	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.01
Miguel Ángel Pacheco Pacheco	pastizal	pasto cultivado	0.86
Luis Gerardo Maita	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.04
Luis Gerardo Maita	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.02
Luis Gerardo Maita	pastizal	pasto cultivado	0.12
Lilian Quezada Brito	pastizal	pasto cultivado	0.16
Juan Quezada Brito	pastizal	pasto cultivado	0.13
Inés Quezada Brito	pastizal	pasto cultivado	0.11
Pompilio Guzmán	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.00
Pompilio Guzmán	pastizal	pasto cultivado	0.22
Miguel Ángel Pacheco Pacheco	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	2.15
Miguel Ángel Pacheco Pacheco	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.01
Miguel Ángel Pacheco Pacheco	pastizal	pasto cultivado	0.04
Ángel Modesto Carchi Pañi	pastizal	pasto cultivado	0.14
Ángel Benigno Campoverde	pastizal	pasto cultivado	0.41
Rafael Zhizhpón Sanmartín	pastizal	pasto cultivado	0.83
María Angelina Panamá Castillo	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.81
María Angelina Panamá Castillo	pastizal	pasto cultivado	3.99
Blanca Rocío Zhiñin Arévalo	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.52
Blanca Rocío Zhiñin Arévalo	pastizal	pasto cultivado	1.94
Ángel María Zhiñin	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.14
Ángel María Zhiñin	pastizal	pasto cultivado	1.56
Mercedes Ramón Sanmartín	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.90
Mercedes Ramón Sanmartín	pastizal	pasto cultivado	0.38

Rosa Ramón Sanmartín	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.75
Rosa Ramón Sanmartín	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.50
Rosa Ramón Sanmartín	pastizal	pasto cultivado	0.69
Luis Germán Zhizhpón Arévalo	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	1.91
Luis Germán Zhizhpón Arévalo	pastizal	pasto cultivado	0.69
Ángel María Zhiñin	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	1.27
Ángel María Zhiñin	pastizal	pasto cultivado	2.15
Manuel Vicente Zhiñin	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	1.05
Manuel Vicente Zhiñin	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.00
Manuel Vicente Zhiñin	pastizal	pasto cultivado	1.63
Ignacio Brito	pastizal	pasto cultivado	0.19
José Ramón Sanmartín	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.55
José Ramón Sanmartín	pastizal	pasto cultivado	5.51
José Ramón Sanmartín	cuerpo agua	rio	0.13
Herederos Cesar Zhiñin	pastizal	pasto cultivado	0.25
Rosalina Curillo	pastizal	pasto cultivado	0.22
José Gerardo Zhizhpón Lavay	pastizal	pasto cultivado	0.84
Humberto Carchi	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.28
Humberto Carchi	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.06
Humberto Carchi	pastizal	pasto cultivado	1.62
Humberto Carchi	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	1.49
Humberto Carchi	pastizal	pasto cultivado	3.34
Humberto Carchi	pastizal	pasto cultivado	0.02
Manuel Coronel	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.73
Manuel Coronel	pastizal	pasto cultivado	2.41
Miguel Oswaldo Coronel	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.20
Miguel Oswaldo Coronel	plantacion forestal	eucalipto	0.71
Miguel Oswaldo Coronel	pastizal	pasto cultivado	3.90
Eloy Delgado	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.99
Eloy Delgado	pastizal	pasto cultivado	1.98
José Gerardo Zhizhpón Lavay	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.05
José Gerardo Zhizhpón Lavay	plantacion forestal	eucalipto	1.41
José Gerardo Zhizhpón Lavay	pastizal	pasto cultivado	3.16
Miguel Oswaldo Coronel	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.92
Miguel Oswaldo Coronel	pastizal	pasto cultivado	1.06
Gustavo Coronel	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.07
Gustavo Coronel	plantacion forestal	eucalipto	0.67
Gustavo Coronel	pastizal	pasto cultivado	6.61
José Rafael Zhizhpón Sanmartín	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	1.18

José Rafael Zhizhpón Sanmartín	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.01
José Rafael Zhizhpón Sanmartín	pastizal	pasto cultivado	6.05
Segundo Coronel Delgado	pastizal	pasto cultivado	0.28
Alejandro Narváez	pastizal	pasto cultivado	0.40
	pastizal	pasto cultivado	0.00
	pastizal	pasto cultivado	0.00
Luis Germán Zhizhpón Arévalo	pastizal	pasto cultivado	0.92
Alejandro Narváez	plantacion forestal	eucalipto	0.02
Alejandro Narváez	pastizal	pasto cultivado	1.75
Segundo Coronel Delgado	plantacion forestal	eucalipto	0.47
Segundo Coronel Delgado	pastizal	pasto cultivado	1.58
Herederos Rosa Coronel	plantacion forestal	eucalipto	1.83
Herederos Rosa Coronel	pastizal	pasto cultivado	1.38
José Rafael Zhizhpón Lalvay	plantacion forestal	eucalipto	0.06
José Rafael Zhizhpón Lalvay	pastizal	pasto cultivado	3.94
	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.00
Segundo Coronel Delgado	plantacion forestal	eucalipto	5.66
Segundo Coronel Delgado	pastizal	pasto cultivado	4.55
Vicente Erráez	plantacion forestal	eucalipto	1.25
Vicente Erráez	pastizal	pasto cultivado	3.01
Sin derecho	pastizal	pasto cultivado	1.39
José Manuel Sanmartín	plantacion forestal	eucalipto	0.13
José Manuel Sanmartín	pastizal	pasto cultivado	7.70
Otilia Ramón Sanmartín	plantacion forestal	eucalipto	0.81
Otilia Ramón Sanmartín	pastizal	pasto cultivado	1.62
	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	1.62
José Manuel Sanmartín	plantacion forestal	eucalipto	1.42
José Manuel Sanmartín	pastizal	pasto cultivado	4.52
Carlos Ramón Sanmartín	plantacion forestal	eucalipto	1.72
Carlos Ramón Sanmartín	pastizal	pasto cultivado	1.86
	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.27
Mesías Morocho	pastizal	pasto cultivado	2.32
José Gerardo Zhizhpón Lalvay	plantacion forestal	eucalipto	0.70
José Gerardo Zhizhpón Lalvay	pastizal	pasto cultivado	3.41
	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	1.19
María Dolores Mendía	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	1.58
Blanca Quinde	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.74
Rosario Carchi	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.16
Rosario Carchi	pastizal	pasto cultivado	0.25
Pompilio Guzmán	pastizal	pasto cultivado	0.00
	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.00
Porfirio Mendía	pastizal	pasto cultivado	3.07
Porfirio Mendía	pastizal	pasto cultivado	0.00
Lilian Quezada Brito	pastizal	pasto cultivado	0.20

Juan Quezada Brito	pastizal	pasto cultivado	0.31
Blanca Ibelia Pacheco	pastizal	pasto cultivado	0.20
Blanco Lazo	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.01
Blanco Lazo	pastizal	pasto cultivado	0.97
Humberto Pintado	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.75
Humberto Pintado	pastizal	pasto cultivado	0.32
	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.00
	pastizal	pasto cultivado	0.00
	plantacion forestal	eucalipto	0.00
	plantacion forestal	eucalipto	0.00
	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	0.00
Ángel María Zhiñin	vegetación herbácea	vegetación herbácea húmeda	2.11
Ángel María Zhiñin	vegetación arbustiva	vegetación arbustiva húmeda	0.80

Estos valores fueron obtenidos al realizar la intersección de la capa ráster “Cobertura y Uso del Suelo” con la capa shape obtenida con el catastro realizado.