PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL



DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA Y DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL CANAL DE RIEGO "LA VICTORIA", DEL CANTÓN ANTONIO ANTE, PROVINCIA DE IMBABURA.

DIRECTORA:

PhD. Ing. PATRICIA GARCÉS ABAD. MSc

AUTOR:

DAVID SEBASTIÁN CALDERÓN BOLAÑOS

QUITO, 2022

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 15

1.1. Planteamiento del problema 15

1.2. Justificación 15

1.3. Objetivos general y específico 16

1.3.1. Objetivo general 16

1.3.2. Objetivos específicos 16

1.4. Alcance 17

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 18

2.1. Sistemas de riego 18

2.1.1. Canales de riego 24

2.1.2. Clasificación de canales de riego 24

2.1.3. Pérdidas por infiltración en canales de riego 25

2.2. Calidad del agua de uso agrícola 29

2.2.1. Definición de calidad 29

2.2.2. Parámetros para considerar en la calidad del agua de riego 30

2.2.3. Otros factores que inciden en la calidad 32

2.2.4. Contaminantes de la calidad del agua 33

2.3. Normativa referente a la calidad del agua de uso agrícola. 33

2.3.1. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente 33

2.3.2. Límites máximos admisibles para agua de uso agrícola o de riego 35

2.3.3. Normativa complementaria (FAO) 37

2.4. Funcionamiento hidráulico de canales abiertos 39

2.4.1. Diseño hidráulico de sistemas de riego 39

2.4.2. Diseño hidráulico de canales principales y sistemas de distribución de agua de riego 40

2.5. Evaluación de infraestructuras hidráulicas existentes 46

2.6. Ciclo Hidrológico 49

2.7. Modelación hidrológica 58

CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE RIEGO DE LA JUNTA DE AGUAS “LA VICTORIA” 62

3.1. Administración de la Junta de Aguas “La Victoria” 62

3.2. Ubicación geográfica 62

3.3. Topografía 63

3.4. Usuarios 65

3.5. Recursos hídricos que aportan al canal.....66

3.6. Área de riego.....67

3.7. Uso del suelo 67

3.8. Identificación de cultivos predominantes de la zona 68

3.9. Características meteorológicas e hidrológicas de la zona.....69

3.9.1. Estaciones meteorológicas cercanas.....70

3.9.2. Parámetros morfológicos de la microcuenca.....70

3.9.3. Precipitación.....75

3.9.4. Caudal.....75

3.9.5. Temperatura.....76

3.9.6. Evapotranspiración potencial 76

CAPÍTULO IV: DIÁGNOSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA 77

4.1. Localización de puntos de descarga 77

4.2. Entrevista a usuarios 79
4.3. Identificación y evaluación de descargas. 81
4.3.1. Descargas domésticas en el canal 81
4.3.2. Descargas de aguas servidas en el río Jatunyacu 84
4.3.3. Descargas de industrias textiles de Fabrinorte Cía. Ltda. en el río Jatunyacu 86
4.4. Muestreo y análisis físico, químico y microbiológico del agua 95
4.5. Comparación de resultados de calidad del agua con estándares vigentes 98
4.5.1. Comparación de resultados 2017 vs 2021 99
CAPÍTULO V: DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DEL CANAL DE RIEGO 105
5.1. Diagnóstico de las condiciones físicas de los componentes de infraestructura del canal de riego 106
5.2. Diagnóstico de las condiciones hidráulicas del canal de riego 116
CAPÍTULO VI: PLANTEAMIENTO Y COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA REDUCIR PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN 126
6.1. Planteamiento de alternativas 126
6.2. Diseño de alternativas 129
6.2.1. Diseño preliminar del canal con tubería PVC 129
6.2.2. Diseño preliminar del canal revestido de hormigón 132
6.3. Comparación de alternativas y selección de mejor alternativa 135
6.3.1. Ventajas del revestimiento de hormigón del canal 135
6.3.2. Ventajas de la colocación de tubería PVC en el canal 136
6.3.3. Análisis de presupuestos referenciales 137

CAPÍTULO VII: PLANTEAMIENTO Y COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA.....140

7.1. Planteamiento de alternativas.....140

7.1.1. Obstrucciones a descargas directas al canal.....140

7.1.2. Concientización a usuarios del canal de riego sobre problemas ocasionados por la contaminación del agua.....140

7.1.3. Trabajo conjunto del GADM-AA y Junta de Aguas “La Victoria” para el cuidado del agua mediante la promulgación de ordenanzas.....141

7.2. Comparación y selección de mejor alternativa.....141

CAPÍTULO VIII: RESULTADOS MODELACIÓN HIDROLÓGICA.....142

8.1. Proceso de modelación hidrológica en HEC – HMS.....142

8.1.1. Modelo de la cuenca.....142

8.1.2. Datos de series de tiempo.....149

8.1.3. Modelo meteorológico.....150

8.1.4. Especificaciones de control y corrida.....150

8.2. Resultados del modelo hidrológico.....151

CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....153

9.1. Conclusiones.....153

9.2. Recomendaciones.....154

BIBLIOGRAFÍA.....156

ANEXOS.....164

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de seguridad alimentaria en Ecuador 18

Tabla 2. Indicadores de sostenibilidad de métodos de riego 23

Tabla 3. Eficiencia de riego. 24

Tabla 4. Pérdidas por infiltración en canales. 27

Tabla 5. Número de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas 28

Tabla 6. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola. 35

Tabla 7. Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego. 36

Tabla 8. Directrices para la interpretación de la calidad del agua para riego. 38

Tabla 9. Pendientes máximas recomendadas de acuerdo con el material. 42

Tabla 10. Velocidades media máximas admisibles del agua en canales 43

Tabla 11. Coeficientes de rugosidad (Ecuación de Manning) 45

Tabla 12. Resumen de patologías en obras hidráulicas 47

Tabla 13. Puntos referenciales de inicio y final del canal de riego “La Victoria” 62

Tabla 14. Catastro de usuarios 2020 66

Tabla 15. Balance hídrico 69

Tabla 16. Estaciones meteorológicas cercanas 70

Tabla 17. Promedio mensual de precipitaciones 75

Tabla 18. Precipitación total diaria 75

Tabla 19. Caudal medio diario. 76

Tabla 20. Promedio mensual de temperatura. 76

Tabla 21. Evapotranspiración Potencial Mensual 76

Tabla 22. Coordenadas de inicio y fin del tramo crítico 77

Tabla 23. Levantamiento de puntos descargas contaminantes....78

Tabla 24. Inversión de planta de tratamiento de Fabrinorte Cía. Ltda. 87

Tabla 25. Técnicas generales para la conservación de muestras. 96

Tabla 26. Coordenadas UTM de las muestras....97

Tabla 27. Comparación de resultados actuales con estándares TULSMA....98

Tabla 28. Coordenadas de muestras 2017 100

Tabla 29. Comparación de muestras tomadas en 2017 vs 2021....100

Tabla 30. Clasificación de sistemas de riego....106

Tabla 31. Tipos y longitud de red conducción. 108

Tabla 32. Materiales empleados en la red de conducción de riego 109

Tabla 33. Dimensiones captación “La Victoria”....112

Tabla 34. Estructuras hidráulicas del sistema de riego “La Victoria”....114

Tabla 35. Pendiente de la solera del canal....119

Tabla 36. Valores del coeficiente de rugosidad (η) 120

Tabla 37. Asignación de coeficiente (η) de Manning según material de revestimiento 121

Tabla 38. Sección transversal del canal.....122

Tabla 39. Cálculo de parámetros hidráulicos relacionados a la sección del canal..122

Tabla 40. Cálculo de velocidad – Ecuación de. Manning.....123

Tabla 41. Cálculo de velocidad y pérdidas de carga. 124

Tabla 42. Tramos por revestir en los primeros 5 km.....126

Tabla 43. Aforo de caudales para cálculo de infiltración.....127

Tabla 44. Aforo de caudales del canal “La Victoria”.....128

Tabla 45. Datos para el diseño preliminar del canal con tubería PVC.....129

Tabla 46. Datos para el diseño preliminar del canal con revestimiento de hormigón132

Tabla 47. Presupuesto referencial colocación de tubería de PVC Di: 1000 mm. ...137

Tabla 48. Presupuesto referencial revestimiento de hormigón f´c=210 kg/cm2; S=1.00 m x 1.00 m; e:10 cm.....138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso para el diseño de un sistema de riego 39

Figura 2. Ejemplo de sección hidráulica óptima (trapezoidal).....41

Figura 3. Geometría de la sección transversal mojada 42

Figura 4. Bordo libre para las márgenes del canal y para superficies duras, membranas enterradas y revestimientos de tierra. 46

Figura 5. Esquema del ciclo hidrológico.....50

Figura 6. Curva de masas de precipitación.....52

Figura 7. Hietograma de precipitación. 52

Figura 8. Hidrograma 55

Figura 9. Hietograma de precipitación neta o efectiva. 56

Figura 10. Análisis conjunto de un hietograma e hidrograma. 56

Figura 11. Aporte de escorrentía.....58

Figura 12. Canal de riego “La Victoria”.....63

Figura 13. Curvas de nivel cada 5m en QGIS. 64

Figura 14. Búsqueda de modelo de elevación digital 64

Figura 15. Modelo de elevación digital de un polígono donde se encuentra el canal 65

Figura 16. Uso de suelo del cantón Antonio Ante. 68

Figura 17. Selección del polígono 72

Figura 18. Ubicación aproximada del canal de riego dentro del polígono 72

Figura 19. Pasos que seguir para la descarga de modelo de elevación digital 73

Figura 20. Modelo de elevación digital 73

Figura 21. Modelo de elevación digital de estudios previos 74

Figura 22. Tramo crítico – Sector San Roque, Imbabura. 78

Figura 23. Plano de localización de descargas contaminantes 79

Figura 24. Percepción de la contaminación del agua del canal “La Victoria” 80

Figura 25. Esquema de tratamiento de aguas residuales de Fabrinorte Cía. Ltda. 89

Figura 26. Esquema de ubicación de potenciales contaminantes del canal.....95

Figura 27. Esquema de localización de puntos de muestreo 97

Figura 28. Comparación de pH 2017 vs 2021. 101

Figura 29. Comparación de Sólidos Disueltos Totales 2017 vs 2021. 101

Figura 30. Comparación de Demanda bioquímica de Oxígeno 2017 vs 2021. 102

Figura 31. Comparación de Coliformes totales 2017 vs 2021.....102

Figura 32. Comparación de Coliformes Fecales 2017 vs 2022 103

Figura 33. Comparación de Turbiedad 2017 vs 2021.....103

Figura 34. Esquema de distribucuión de material de revestimiento 109

Figura 35. Estado de la red de conducción principal.....111

Figura 36. Esquema de la captación del sistema de riego “La Victoria”.....112

Figura 37. Curvas de nivel canal principal “La Victoria” 118

Figura 38. Perfil topográfico terreno natural 119

Figura 39. Tipos de revestimiento del canal.....121

Figura 40. Tipos de sección del canal.....123

Figura 41. Gradiente hidráulico y de energía del canal. 125

Figura 42. Simulación para un caudal de diseño de 1000 l/s y tubería PVC de diámetro 1000 mm 131

Figura 43. Simulación para un caudal de diseño de 710 l/s y tubería PVC de diámetro 1000 mm 132

Figura 44. Simulación para un caudal de diseño de 1000 l/s y S=1.00 m x 1.00 m.134

Figura 45. Simulación para un caudal de diseño de 710 l/s y S=1.00 m x 1.00 m...135

Figura 46. Esquema de excavación para instalación de tubería 138

Figura 47. Esquema de dimensiones del revestimiento de hormigón de canal 139

Figura 48. Modelo de la microcuenca que contiene al canal de riego “La Victoria”143

Figura 49. Corrección de valores anormales en elevación del modelo 144

Figura 50. Dirección de flujo.....145

Figura 51. Acumulación de flujo.....146

Figura 52. Identificación de corrientes y puntos de quiebre.....147

Figura 53. Delimitación de microcuenca.....148

Figura 54. Hietograma generado al ingresar datos de precipitación.....150

Figura 55. Resumen global de todos los elementos de la cuenca. 151

Figura 56. Resumen de la Microcuenca - 1 151

Figura 57. Hietograma e Hidrograma resultantes de la Microcuenca – 1. 152

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Descargas contaminantes al canal. 82

Imagen 2. Descargas contaminantes al canal. 83

Imagen 3. Descargas contaminantes al canal. 83

Imagen 4. Visita a la PTAR “La Fuente de la Salud” 85

Imagen 5. Limpieza de desarenadores PTAR “La Fuente de la Salud”.....86

Imagen 6. Tintorería de Fabrinorte Cía. Ltda.....86

Imagen 7. Planta de tratamiento biológica de Fabrinorte Cía. Ltda.....88

Imagen 8. Sistema de cribado de Fabrinorte Cía. Ltda. 90

Imagen 9. Tanque de homogenización de Fabrinorte Cía. Ltda. 90

Imagen 10. Tanque de oxidación de Fabrinorte Cía. Ltda. 91

Imagen 11. Filtro prensa de Fabrinorte Cía. Ltda. 92

Imagen 12. Laboratorio de calidad de agua en Fabrinorte Cía. Ltda. 93

Imagen 13. Colocación de tubería en el canal de riego “La Victoria” 107

Imagen 14. Conducción por tubería del canal de riego “La Victoria” 108

Imagen 15. Captación sistema de riego “La Victoria” 113

Imagen 16. Captación sistema de riego “La Victoria” 113

Imagen 17. Azud en la captación de “La Victoria”.....114

Imagen 18. Vehículo para el mantenimiento de “La Victoria” 115

Imagen 19. Fotografía representativa de la altura de excavación en relación con las cotas del terreno natural de la abscisa 3+221 a 4+038 117

Imagen 20. Fotografía representativa de la altura de excavación en relación con las cotas del terreno natural de la abscisa 6+277 a 7+209 118

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Este estudio permitirá tener una visión clara sobre las circunstancias en las que se encuentra operando el canal de riego “La Victoria”. Se pretende realizar un estudio físico, químico y microbiológico del agua con muestras recolectadas en el tramo más crítico del canal de riego. Como parte de la investigación se definirá los puntos donde se realizan las descargas contaminantes y de que tipo son estas. Adicionalmente, se registrará las condiciones en las que se encuentra la infraestructura del canal de riego, los tramos que se encuentren con revestimiento, tubería o sin ningún tipo de impermeabilización para determinar las pérdidas por infiltración. A partir de esta investigación se podrá solventar las siguientes problemáticas: ¿Por qué se encuentra contaminada el agua del canal de riego “La Victoria”? ¿Cuál es el verdadero grado de contaminación del agua del canal de riego? ¿En qué condiciones hidráulicas se encuentra funcionando el canal? ¿Cuál es la situación de la infraestructura de riego del canal de riego?

1.2. Justificación

Después de asistir a reuniones con la directiva de la Junta de Aguas del canal de riego “La Victoria”, se evidenció la preocupación de los usuarios frente a los niveles de contaminación perceptibles en el agua del canal de riego y sobre la disponibilidad del recurso. Lamentablemente la Junta de Aguas no dispone de la información necesaria ya que no existe un registro actualizado de las razones de la probable contaminación y de los tramos revestidos. Asimismo, la directiva del canal de riego pudo manifestar la importancia de un estudio técnico que permita planificar el trabajo para los próximos años, tomando en cuenta los factores que han afectado y puedan incidir en su funcionamiento a futuro. Por tal motivo, se plantea la presente investigación para conocer la situación actual del principal canal de riego del cantón

Antonio Ante, “La Victoria”. Su uso beneficia aproximadamente a 2000 personas y sus familias, usuarias del canal.

A lo largo de los 23 km que comprenden la línea principal de conducción del canal de riego “La Victoria” se presentan varios puntos de posible contaminación debido a que el canal atraviesa centros poblados, en especial comunidades indígenas, que poseen tuberías directas de descarga de aguas servidas y desechos, producto de actividades artesanales de tinturación de textiles, que estarían afectando la calidad del agua. Además, existen tramos sin revestimiento o la impermeabilización correspondiente lo que da lugar a pérdidas del recurso por fenómenos como: infiltración y evaporación.

Ante la necesidad de argumentos técnicos para la planificación de proyectos de la Junta de Aguas y la constante preocupación tanto de los usuarios como de la directiva, por la disponibilidad de caudal para riego, se pretende analizar las condiciones hidrológicas de una microcuenca en donde se encuentra la acequia y además que sea representativa para sistemas de riego similares, muy comunes en la zona. Asimismo, existe incertidumbre en la directiva sobre los puntos a mejorar en el sistema de riego y se estima que, a través del modelo hidrológico propuesto, se pueda priorizar los recursos y esfuerzos en la solución de las problemáticas más urgentes en el canal de riego “La Victoria”.

1.3. Objetivos general y específico

1.3.1. Objetivo general

- Evaluación de la infraestructura del sistema de riego “La Victoria” del cantón Antonio Ante y diagnóstico de la calidad del agua para proponer mejoras en el sistema.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica sobre sistemas de riego, calidad del agua de uso agrícola, normativa referente a la calidad del agua de uso agrícola,

funcionamiento hidráulico de canales abiertos y evaluación de infraestructuras hidráulicas existentes.

- Describir el sistema de riego “La Victoria” y las características del recurso hídrico que fluye a través del canal.
- Realizar un diagnóstico de la calidad del agua del sistema de riego “La Victoria”.
- Realizar la evaluación hidráulica del sistema de riego.
- Propuesta de mejoras del canal de riego y de la calidad del agua.

1.4. Alcance

Mediante esta investigación se determinará la contaminación que existe en el canal de riego “La Victoria”, los puntos de descargas contaminantes, la procedencia de dichas descargas, dentro de un tramo crítico comprendido en el cantón Antonio Ante. Se evaluará la calidad del recurso hídrico a través de una investigación cualitativa para entrevistas y análisis de por lo menos 6 muestras en laboratorio para determinar la calidad física, química y microbiológica de agua, cuyos resultados serán contrastados con los criterios admisibles de calidad de agua de uso agrícola según la Norma TULSMA Libro VI Anexo 1. Además, se realizará la propuesta de mejoras tanto de la infraestructura del canal como de la calidad del agua de riego.

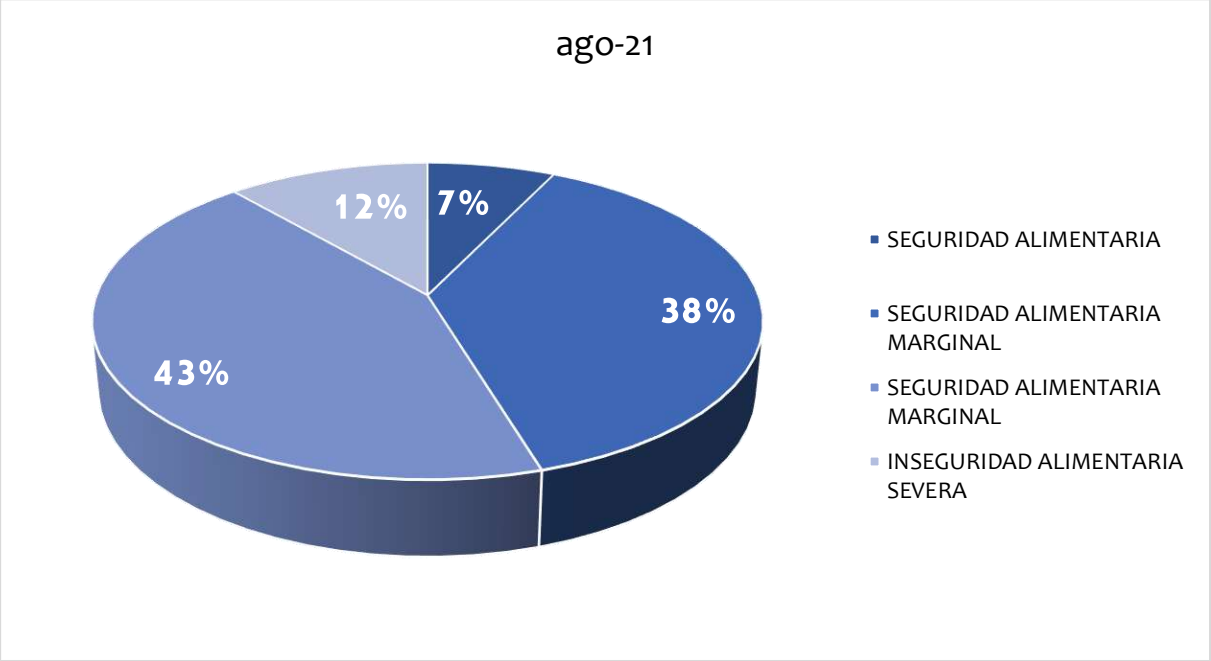
CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Sistemas de riego

En 2015, la ONU aprobó su agenda para el 2030 con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, entre ellos existen metas como Hambre Cero, Producción y Consumo Responsables, y más (ONU, 2021). Objetivos como: Poner fin al hambre y Agua Limpia y Saneamiento, van estrechamente ligados al concepto de seguridad alimentaria, es decir, garantizar que todas las personas tengan acceso a suficiente alimento, seguro y nutritivo, para satisfacer sus necesidades. Al contrario, por inseguridad alimentaria se puede entender la insuficiente ingestión de alimentos (FAO F. , 2015).

Con el objetivo de estimar la situación de la seguridad alimentaria en Ecuador, el Programa Mundial de Alimentos (WFP), publicó el Informe de Seguridad Alimentaria Evaluación Remota Ecuador (4ta Ronda – agosto 2021) con los siguientes resultados:

Tabla 1. Niveles de seguridad alimentaria en Ecuador



Nota. Adaptado de "Informe de Seguridad Alimentaria Evaluación Remota Ecuador (4ta Ronda – AGOSTO 2021)", por Programa Mundial de Alimentos (WPF), 2021.

Los datos muestran niveles preocupantes de inseguridad alimentaria severa, con un 11.4% de los ecuatorianos atravesando esta grave situación, lo cual representa un estimado de 1´996.213 personas según la WFP (2021). Por este motivo, se han juntado esfuerzos por parte del Gobierno y organizaciones como WFP para responder a estas necesidades. Tomando en cuenta que la agricultura familiar garantiza el 60% de la producción de alimentos a nivel nacional, una de las acciones estratégicas planteadas en el Informe Anual de País 2021 Ecuador de la WFP se concentra en apoyar a los pequeños agricultores para mejorar su productividad, ingresar a mercados públicos y privados y fortalecer su capacidad en términos de logística y marketing (WFP P. , 2021).

Así también, se requiere prestar especial atención a las prácticas agrícolas efectuadas en los cultivos. Un componente fundamental dentro de estas prácticas es el sistema de conducción y suministro de agua. Según el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF, 2015), los mayores esfuerzos se deben focalizar en:

- Mejorar la operación de los sistemas de riego
- Reducir la evaporación de agua
- Disminuir la filtración, la escorrentía y la lixiviación
- Minimizar la contaminación del agua y salinización de los suelos
- Promover el reciclaje y la reutilización del agua

De esta manera, se podrá combatir fenómenos meteorológicos extremos como las sequías y otros, que podrían afectar a la productividad de los campos y por ende amenazan la seguridad alimentaria de la población. Pues cuando el agua, suministrada a través de la precipitación a los cultivos, se vuelve escasa, es necesario recurrir a técnicas como el riego (Holzapfel, Pannunzio, Lorite, Silva de Oliveira, & Farkas, 2009). No obstante, la importancia del riego va más allá de únicamente suplir la carencia de agua para los cultivos.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), para

conocer el potencial de riego de un país es necesario considerar factores económicos, ambientales, estimaciones de los recursos de tierras y aguas, entre otros (FAO, 2011, pág. 59)

Si bien Ecuador es un país con un gran potencial de riego, 3'136.000 ha, considerando los factores mencionados anteriormente, apenas de 989.637,67 ha. cuentan con riego, tal superficie regada representa el 31.56% de la superficie que podría ser regada (INEC, 2016). Esto significa que menos de la tercera parte de la superficie potencial a regar es aprovechada en el país. Considero que, dada la importancia de la agricultura para el Ecuador, resultaría beneficioso el avanzar en el desarrollo de sistemas de riego de una manera sostenible para la comunidad, con el objetivo de aumentar la productividad del área agrícola disponible a nivel nacional.

El aprovechamiento del potencial de riego dependerá en gran medida de cómo se adapte un adecuado sistema de riego a las particularidades de cada sector, de acuerdo con su especialidad en el cultivo. Es así como, el MAGAP (2011), en el "Plan Nacional de Riego y Drenaje" señala que los sistemas comunitarios en la Sierra aprovechan la pendiente y la ubicación de las fuentes de agua en zonas altas como páramos, para conducir mediante acequias, generalmente en tierra, hasta cada una de las parcelas. Éste es un método de baja inversión porque se conduce y se aplica por gravedad. Ha sido manejado milenariamente en algunos sistemas con una alta destreza, es dinámico y funcional al colectivo de usuarios. Sin embargo, hay serios inconvenientes debido a las pérdidas de agua por la precaria infraestructura, lo que no permite regar a toda la parcela o parcelas, por la irregularidad topográfica especialmente en la sierra, que demandan un fuerte control y porque están sujetos a la disponibilidad de mano de obra para el mantenimiento, entre los principales. A escala nacional se estima que el método por inundación y/o surcos cubriría el 77.8% de la superficie sembrada del país.

Mientras que, el riego a presión, por aspersión y goteo, al requerir una inversión apreciable, un manejo más especializado y la excesiva parcelación de la tierra, sobre todo en la Sierra ecuatoriana constituyen una fuerte limitante (MAGAP, 2011). En la Costa, se ha desarrollado

en mayor medida para cultivos de exportación como banano, flores, hortalizas y frutales, donde la alta rentabilidad de esta actividad ha inducido a los agricultores a realizar inversiones en las instalaciones (INEC, 2016). Esta situación se ve reflejada en el 22.2% que constituye el riego presurizado en el país (MAGAP, 2011).

A menudo existe una confusión conceptual entre tipo de sistema de riego y método de riego. Como sugiere Losada (1997) en "Ingeniería del agua", los sistemas de riego son un conjunto organizado de obras e instalaciones, que permiten desviar y aplicar a los campos de cultivo el agua que conviene a su producción. Mientras que el método de riego corresponde específicamente al modo de aplicación del agua a los cultivos.

Varios métodos de riego están disponibles, y la selección de uno depende de varios factores como: la disponibilidad de agua, tipo cultivo, características del suelo, topografía del terreno, costo, entre otros. Por ejemplo, el suministro de agua y de donde ésta procede, influye de gran manera en el método de riego a seleccionarse, principalmente por el caudal disponible. El agua que se utilizará en un cultivo puede proceder de un canal, una acequia de propiedad privada al desviar el agua de una corriente, un embalse, o de un pozo artesiano a través de un sistema de bombeo. Cuando el suministro es limitado, un adecuado método de riego permitirá aprovechar al máximo el caudal y evitar interrupciones en el regadío.

Los métodos más utilizados por los agricultores para aplicar el riego a sus cultivos se agrupan en dos categorías: riego por gravedad y riego a presión (MAGAP, 2011). El riego a gravedad aprovecha la energía que genera la diferencia de altura entre la captación y los cultivos para que el agua pueda llegar al punto que se desea. Mientras que, en el riego a presión, debido a que el nivel del agua está por debajo del nivel del área de regadío o a una altura insuficiente para distribuirse, es necesario un sistema de bombeo para transportar y repartir el agua captada (FAO, 2008).

Para el riego a gravedad comúnmente se utilizan surcos e inundación. El riego por surcos se

basa en pequeños canales por donde el agua avanza y se distribuye, de un sitio más alto a otro más bajo, es decir desde la cabecera hasta el pie (Demin, 2014). En casos en los que se requiere regar una extensión mayor, es aplicable el riego por inundación. Este se caracteriza por regar parcelas de gran tamaño sin una pendiente considerable y rodeadas por un dique. Es cuestionable la eficiencia que puede llegar a tener el riego por gravedad. Pues, tanto la utilización del riego por surcos como por inundación puede resultar dañina para los cultivos en casos de aplicar una dosis mayor a la que requieren las plantas. Así también, el medio ambiente se puede ver afectado con este exceso de agua de riego, pudiendo llegar a contaminar las aguas superficiales y subterráneas con importantes cantidades de sales, fertilizantes y agroquímicos utilizadas en los cultivos (Sánchez García , García Navarro, & Playán Jubillar, 2002).

Debido al limitado control en la dosis de agua otorgada a los cultivos, los problemas de escasez de agua e irregularidad topográfica, las demandas de riego presurizado tienen una proyección interesante como un método alternativo para mejorar la eficiencia de esta actividad, sea a través de aspersión o goteo.

El riego por aspersión permite aplicar el agua de manera similar a como la precipitación cae sobre la planta. El agua es conducida por tuberías a presión y al llegar al aspersor el chorro se rompe en muchas gotas que caen sobre el suelo. Es un método de riego que sirve en casos en que el viento no es importante ya que puede causar muchas pérdidas. Además, debe considerarse que, al cubrir gran parte del suelo, se producen muchas pérdidas por evaporación. Es un sistema que utiliza mucha energía eléctrica por necesitar una elevada presión para su funcionamiento. Se debe tener la precaución de que la velocidad a la que se aplica la lámina de riego, o sea la velocidad a la que cae la lluvia, sea igual o menor a la velocidad de infiltración del suelo para evitar escurrimiento (Demin, 2014).

El método de riego por goteo consiste en llevar agua el agua al campo a través de tuberías, por lo general de plástico y de diámetros pequeños, que se colocan en un lugar próximo a las plantas

para entregarla en forma lenta, pero frecuente al sistema radicular, por medio de dispositivos llamados goteros o emisores (Blair, 1979). La instalación del sistema es relativamente costosa. Su aplicación es muy eficiente en el aprovechamiento del agua. En general, produce más altos rendimientos, más uniformidad y precocidad en las cosechas y mejor calidad de frutos.

En resumen, se presenta una comparación del comportamiento de los métodos de riego analizados según algunos indicadores de sostenibilidad:

Tabla 2. Indicadores de sostenibilidad de métodos de riego

INDICADORES DE SOTENIBILIDAD	**MÉTODO DE RIEGO**		
	GRAVEDAD	**ASPERSIÓN**	**GOTEO**
Inversión inicial	Baja	Mediana	Alta
Utilización de mano de obra en la operación	Alta	Mediana	Baja
Riesgo de erosión zonas de laderas	Alta	Mediana	Baja
Necesidad de energía para distribuir el agua	Baja	Alta	Mediana
Consumo de agua	Alta	Mediana	Baja
Control de consumo de agua	Alta	Baja	Baja
Transmisión de enfermedades	Alta	Alta	Baja
Posibilidad de generar conflicto por el agua	Alta	Mediana	Baja
Riesgo de ineficiencia energética	Alta	Mediana	Baja
Posibilidades de consumo de plaguicidas	Alta	Alta	Baja

Nota. Adaptado de "Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado", por FAO, 2008, p. 35.

Otro parámetro importante que se debe considerar en la comparación de métodos de riego es la eficiencia de cada uno y se define como relación del agua benéficamente utilizada en los cultivos y el total del agua utilizada en la práctica del riego (FAO, 2008).

Tabla 3. Eficiencia de riego.

	MÉTODO DE RIEGO		
	GRAVEDAD	**ASPERSIÓN**	**GOTEO**
EFICIENCIA	40% - 65%	80% - 85%	90% - 95%

Nota. Adaptado de "Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado", por FAO, 2008, p. 32.

2.1.1. Canales de riego

Los canales de riego son conductos que facilitan el transporte de agua, desde el punto de captación del agua hasta uno o varios puntos de entrega para poder distribuir el agua a lo largo de la parcela y permitir que los cultivos accedan al agua (Ecuador Documents, 2015).

2.1.2. Clasificación de canales de riego

Existen diversos criterios para la clasificación de canales. Según Ven Te Chow (1994, pág. 20), en la práctica de la ingeniería, los canales abiertos artificiales se pueden dividir en:

- Canal artificial: por lo general es un canal largo con pendiente suave construido sobre el suelo, que puede ser no revestido o revestido con piedras, concreto, cemento, madera o materiales bituminosos.
- Canaleta: es un canal de madera, metal, concreto, o mampostería, a menudo soportado en o sobre la superficie del terreno para conducir el agua a través de una depresión.
- Rápida: es un canal que tiene altas pendientes.
- Caída: es similar a una rápida, a diferencia que se efectúa en una distancia corta.
- Túnel: con flujo a superficie libre es un canal abierto, utilizado para conducir el agua a través de una colina o cualquier obstrucción del terreno.

2.1.3. Pérdidas por infiltración en canales de riego

Se denomina infiltración al proceso mediante el cual el agua penetra un medio, que puede ser el suelo o el lecho del canal. Según Monsalve (1999), existen parámetros mediante los cuales este fenómeno puede ser expresado como: capacidad de infiltración o tasa de infiltración y velocidad de infiltración.

"La tasa de infiltración es la capacidad máxima con que un suelo, en una condición dada, puede absorber agua. Se denota como *f* y se expresa normalmente en (mm/hr). A la capacidad de infiltración sólo se llega cuando existe exceso de precipitación. Caso contrario la capacidad de absorción de agua del suelo no es máxima" (Monsalve, 1999, pág. 134). "La tasa de infiltración es una de las características del suelo más importantes para el diseño, operación y evaluación de sistemas de riego, de ahí que sea absolutamente necesario obtener información confiable sobre esta propiedad" (Carrazón, 2007, pág. 60).

La velocidad de infiltración es la rapidez media con la cual el agua atraviesa el suelo o el caudal divido por el área de la zona de escurrimiento. Por sí solo este no es un buen parámetro ya que depende de la permeabilidad y gradiente hidráulico. (Monsalve, 1999)

Generalmente los canales de riego no cuentan con un revestimiento por razones de costos. A pesar de que los materiales de revestimiento disponibles no brindan una total impermeabilidad, disminuyen considerablemente las pérdidas por infiltración en relación con canales sin revestimiento. Estas pérdidas afectan la eficiencia del canal, disminuyendo el caudal y corriendo el riesgo de no lograr abastecer las demandas de agua de los cultivos (Ecuador Documents, 2015).

Dentro de los factores que Ecuador Documents (2015) establece que influyen en su publicación "Pérdidas por infiltración", se tienen:

- Permeabilidad del lecho del canal: es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el

agua. Mientras más permeable sea el suelo, mayor será la infiltración.

- Edad del canal: generalmente las pérdidas son máximas inmediatamente después de construidos. Después, disminuye gradualmente con el tiempo a medida que el fango cubre el fondo y las paredes laterales del canal.
- Caudal: las pérdidas son proporcionalmente menores en los canales con un mayor caudal que en los que transportan un pequeño caudal.
- Longitud del canal: las pérdidas son directamente proporcionales a la longitud del canal de conducción.

En el mismo estudio se muestran varios métodos para determinar las pérdidas por infiltración. Pueden ser a través de mediciones directas en el campo o correlaciones empíricas, y se resumen las principales a continuación:

1. Método de entrada y salida

Como su nombre lo indica, consiste en determinar el caudal que se infiltra estableciendo la diferencia de los caudales que entran y salen en un tramo del canal.

Para el aforo de los caudales se pueden usar molinetes, vertederos o el aforador de Parshall. La exactitud del método depende de la exactitud del aforo. La gran ventaja de este método es que no interfiere en el funcionamiento normal del canal y tiene costos bajos (Ecuador Documents, 2015).

2. Tramo Aislado de un canal

En un canal ya construido, revestido o no, se pueden aislar volúmenes de agua por medio de barreras u obstáculos en el punto de inicio y fin de un tramo que se defina previamente. Tanto el volumen inicial de agua como el final serán conocidos y la diferencia representará el volumen de agua infiltrado. A pesar de que el método resulta bastante simple, tiene la desventaja de tener un costo más elevado e interrumpir el servicio del canal durante la medición. Para el caso de un

canal por construir, se pueden hacer tramos de prueba y usar el Método de Entradas y Salidas. (French, 1988)

3. Etcheverry y Harding (1933)

French (1988) sugiere otro método simple y confiable, desarrollado originalmente por Etcheverry y Harding, basado en mediciones históricas. Los valores en la *Tabla 4* son el resultado de muchas mediciones de campo. A pesar de ser razonablemente precisas, se recomienda que se usen solo como una guía para el diseño.

Tabla 4. Pérdidas por infiltración en canales.

MATERIAL PERIMETRAL	**PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN PARA PERÍODO DE 24 HRS.** [ft3/día]
Franco arcilloso impermeable	0.25-0.35
Arcillas debajo de tepetates a una profundidad menos a 2-3 pies bajo el fondo	0.35-0.50
Franco arcilloso suelo fino, o ceniza de lava	0.50-0.75
Franco arcillo gravoso o franco arcillo arenoso, grava cementada, arena, y arcilla	0.75-1.00
Franco arenoso	1.00-1.50
Suelos arenosos sueltos	1.50-1.75
Suelos gravo-arenosos	2.00-2.50
Suelos porosos con gravas	2.50-3.00
Suelos con mucha grava	3.00-6.00

Nota. Adaptado de "Hidráulica de canales abiertos", por R. French, 1998, p. 317.

4. Método del SCS para Abstracciones

El "Soil Conservation Service" de los Estados Unidos de América, desarrolló un método, también conocido como número de curva de escorrentía CN, para calcular las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración propiamente dicha.

El método del número de curva de escorrentía fue desarrollado basando en datos de precipitación y escorrentía de 24 horas. Esto mismo limita el cálculo de la profundidad de escorrentía, y no toma explícitamente en consideración las variaciones temporales de intensidad de lluvia (Monsalve, 1999).

Para determinar el número de curva de escorrentía CN se utilizan cuadros para varias coberturas hidrológicas del suelo, condiciones hidrológicas y condiciones de humedad antecedente. A continuación, el cuadro usado para determinar el número de curva de tierras agrícolas cultivadas.

Tabla 5. Número de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas

COBERTURA			**GRUPO DE SUELOS**			
USO DE TIERRA	**TRATAMIENTO O PRÁCTICA**	**CONDICIÓN HIDROLÓGICA**	**A**	**B**	**C**	**D**
			NÚMERO DE CURVA			
Rastrojo	Hileras rectas	-	77	86	91	94
Cultivos en hileras	Hileras rectas	Mala	71	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
Cultivos en hileras estrechas	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
Leguminosas en hileras estrechas o forraje en rotación	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	84
	Curvas de nivel	Mala	64	75	83	80
		Buena	55	69	78	88
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80
Pastos de pastoreo		Mala	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	Mala	47	67	81	88
		Regular	25	59	75	83

		Buena	6	35	70	79
Pastos de corte		Buena	30	58	71	78
Bosque		Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Patios		-	59	74	82	86
Caminos de tierra		-	72	82	87	89
Pavimentos		-	74	84	90	92

Nota. Adaptado de "Hidrología en la Ingeniería", por G. Monsalve, 1999, p. 35.

2.2.Calidad del agua de uso agrícola

"La concentración y composición de los componentes disueltos en el agua determina la calidad para el riego. La calidad del agua es una consideración importante en cualquier evaluación de las condiciones de salinidad o alcalinidad en un área irrigada" (Castellón , Bernal, & Hernández, 2014).

Además, Quinteros, y otros (2019) en "Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Togllahuayco" menciona que, el agua utilizada para riego con fines agrícolas tiene efectos considerables sobre el deterioro químico del suelo y la producción de cultivos". Así también, señala que, en las aguas naturales, de las cuales se toma para riego, pueden presentarse contaminantes de naturaleza inorgánica, especialmente fertilizantes y metales pesados, los cuales tienen importancia por su toxicidad para los organismos vivos.

2.2.1. Definición de calidad

"La calidad del agua es un término usado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua. La calidad del agua dependerá principalmente del uso que se le va a dar" (U.S. Geological Survey, 2017).

2.2.2. Parámetros para considerar en la calidad del agua de riego

"La calidad de agua para riego ha sido objeto de innumerables investigaciones orientadas hacia la evaluación y definición de parámetros para calificar sus características físicas y químicas, lo cual ha conducido a la proposición de varios sistemas para su clasificación" (PROAIN, 2020).

Existen varias guías que regulan ciertos parámetros de acuerdo con las condiciones donde se vayan a aplicar, como el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente del Ministerio de Ambiente en Ecuador (TULSMA) o "Water quality for agriculture" de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) en Estados Unidos. Se proponen actualizaciones y alternativas constantemente a cada uno de ellos.

Los problemas del suelo que se encuentran con mayor frecuencia y se utilizan como base para evaluar la calidad del agua son relacionados con la salinidad, la tasa de infiltración del agua, la toxicidad y otros como indica (Ayers & Wescott, 1994) en "Water quality for agriculture" para la FAO y se detalla cada uno de ellos a continuación:

Uno de los principales factores que tienen en común varias normas para determinar la idoneidad del agua de riego es la cantidad de sales disueltas, originadas a partir de la meteorización de las rocas y el suelo. La calidad del agua de uso agrícola no solo dependerá de la cantidad total de sal presente sino también por el tipo de sal. A medida que el contenido de sal aumenta, surgen problemas como una pérdida de rendimiento cuando la sal se acumula en la raíz. (Ayers & Wescott, 1994)

Otro de los parámetros relacionados con la calidad del agua será la tasa de infiltración. La velocidad de penetración del agua aplicada en el suelo se reduce debido a dos factores de calidad del agua, como son la salinidad del agua y su contenido de sodio en relación con el contenido de calcio y magnesio. El agua permanece en la superficie por demasiado tiempo y no permite al cultivo absorber lo necesario para un rendimiento aceptable. Además, existen problemas

secundarios relacionados a una baja tasa de infiltración del agua y la calidad del agua como problemas de vectores de enfermedades. (Ayers & Wescott, 1994)

Por otro lado, la presencia de iones específicos podría afectar los cultivos. Cuando la planta absorbe ciertos componentes de manera directa o a través de sus hojas mojadas, en una determinada concentración es posible que se genere toxicidad (Ayers & Wescott, 1994). Según el TULSMA (2015), algunos de estos iones son: aluminio, arsénico, bario, berilio, boro, cadmio, cianuro, cobalto, cobalto, cobre, cromo hexavalente, fluor, hierro, litio, manganeso, molibdeno, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, vanadio, zinc. No obstante, la FAO (2011) hace énfasis en que los iones de principal preocupación son el sodio y el boro; pueden llegar a producir problemas de toxicidad incluso en concentraciones bajas. La toxicidad a menudo acompaña y complica un problema de salinidad o infiltración de agua.

Ayers & Wescott, (1994), en "Water quality for agriculture" recomiendan realizar una serie de análisis de aguas completo previo a diseñar el sistema y durante su funcionamiento para controlar la calidad del agua, ya que podrán existir fluctuaciones en los niveles de calidad. En el caso del agua superficial, se debe prestar especial atención a las siguientes pruebas, ya que los principales problemas suelen deberse a materiales en suspensión o depósitos químicos:

- Principales sales inorgánicas
- Dureza
- Sólidos en suspensión
- Sólidos disueltos totales

Sin embargo, se recomienda incluir pruebas como verificación, especialmente si se sospecha que hay aguas residuales en el suministro de agua:

- DBO
- DQO

- Materia orgánica
- Microorganismos

2.2.3. Otros factores que inciden en la calidad

En la publicación de Ayers & Wescott (1994), denominada “Water quality for agriculture”, se añade que no solo el tipo y concentración de las sales solubles afectan los rendimientos de los cultivos, existen otros elementos que tienen un impacto negativo en la calidad del agua de riego y ocurren con suficiente frecuencia como para que sean considerados, estos incluyen:

- Concentraciones de nitrógeno.
- Contenido de bicarbonato.
- Contenido de hierro.
- Diversas anomalías asociadas con un pH inusual del agua. (Ayers & Wescott, 1994)

García (2012) menciona en “Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego” más parámetros a considerar estarán relacionados a condiciones como:

- Conductividad eléctrica: usada para la medición de su salinidad. El agua pura es un mal conductor de electricidad, pero cuando tiene sales disueltas puede conducirla en forma proporcional a la cantidad de sales presentes.
- Efectos misceláneos: dentro de este grupo se incluyen combinaciones de los casos anteriores, desbalances nutricionales ocasionados por excesos de determinados iones que traen como consecuencia reducciones en la cantidad y/o en la calidad de las cosechas, corrosión o deposición en equipos de riego y cierre o estrechamiento de la tubería, o de sólidos en suspensión que pueden hacer que el agua no sea apta para consumo humano o animal.
- Alcalinidad: debida a la presencia de iones como bicarbonatos, calcio, magnesio y sodio. Anteriores propiedades pueden inducir desbalances, entre otros. (García, 2012).

2.2.4. Contaminantes de la calidad del agua

- Descargas domésticas

Según Menchaca, Ornelas, & Héctor (2019), las actividades que realiza el hombre relacionadas con el uso de los recursos naturales, como el agua, tienen impactos y efectos que son negativos. El desarrollo los sectores agrícola, pecuario, industrial y doméstico, entre otros, contaminan el recurso hídrico con substancias químicas, materiales pesados y organismos microbiológicos. De hecho, según el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2017), en Ecuador el mayor foco de contaminación de los cuerpos de agua lo constituyen las descargas domesticas de viviendas ubicadas en zonas de aglomeración urbana, exentas de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas.

La actividad doméstica es la responsable de que grandes cantidades de materia orgánica sean depositadas en los cuerpos de agua. La materia orgánica inicia un proceso de descomposición y requiere una mayor demanda bioquímica de oxígeno (DBO), trayendo consigo un grave problema para su entorno; pues en condiciones extremas, todo el oxígeno disuelto en el agua desaparece, generando la muerte de especies de flora y fauna. Además, facilita la propagación de múltiples enfermedades que afectan de manera significativa a los habitantes de la región. (Menchaca, Ornelas, & Héctor, 2019)

- Descargas textiles

"Los efluentes textiles y de tintorería pueden causar alteraciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas de ecosistema acuático y por consecuente cambios en la temperatura, olor, turbiedad, etc. que significan un riesgo para la salud pública, animales y biodiversidad en general" (Munnaf, Islam, Tusher, Kabir, & Molla, 2014).

2.3.Normativa referente a la calidad del agua de uso agrícola.

2.3.1. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente

La norma "Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente"

(TULSMA, 2015), referente a la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, tiene como objeto la prevención y control de la contaminación ambiental en lo relativo al recurso agua. Igualmente, pretende proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

Las municipalidades dentro de su límite de actuación y a través de las Entidades Prestadoras de Servicios de Agua Potable y Saneamiento (EPS) de carácter público o delegadas actualmente al sector privado, serán las responsables de prevenir, controlar o solucionar los problemas de contaminación que resultaren de los procesos involucrados en la prestación del servicio de agua potable y alcantarillado, para lo cual deberán realizar los respectivos planes maestros o programa de control de la contaminación.

La norma establece los criterios de calidad de aguas de acuerdo con los fines que se destine el recurso hídrico. Por citar algunos de ellos: se determina criterios de calidad para aguas de:

- Consumo humano y uso doméstico: bebida y preparación de alimentos e higiene personal.
- Preservación de vida acuática: actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies.
- Uso agrícola o de riego: entendiendo por tal aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades complementarias que establezcan los organismos competentes.
- Uso pecuario: son aquellas empleadas para el abrevadero de animales.
- Recreación: se entiende como tal el agua usada en natación, buceo, baños medicinales, deportes náuticos y pesca.
- Uso estético: se refiere al mejoramiento y creación de la belleza escénica
- Transporte: se emplean para la navegación de cualquier tipo de embarcación o para la

movilización de materiales.

- Uso industrial: en actividades manufactureras, generación de vapor, generación de hidroelectricidad y minería.
- Uso doméstico restringido: comprende el lavado de ropa en aguas de ríos. (TULSMA, 2015)

2.3.2. Límites máximos admisibles para agua de uso agrícola o de riego

De acuerdo con la normativa legal en Ecuador (TULSMA, 2015), se establecen determinados parámetros que debe cumplir del agua de uso agrícola o de riego y son medidos a través de estudios físicos, químicos y microbiológicos del agua. Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos. Los parámetros y sus valores máximos admisibles correspondientes para las aguas destinadas a uso agrícola se presentan a continuación:

Tabla 6. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola.

PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	Be	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Cromo	Cr+6	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1
Hierro	Fe	mg/l	5
Litio	Li	mg/l	2,5
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	5
Selenio	Se	mg/l	0,02
Vanadio	V	mg/l	0,1

Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Huevos de parásitos			Ausencia
Aceites y grasas	Película Visible		Ausencia
Materia flotante	Visible		Ausencia

Nota. Adaptado de "Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo1", por TULSMA, 2015, p. 16.

"Además de los criterios indicados, la entidad ambiental de control utilizará también las siguientes guías, para la interpretación de la calidad del agua para riego y deberá autorizar o no el uso de agua con grado de restricción severo o moderado" (TULSMA, 2015, pág. 15):

Tabla 7. Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego.

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN			
		Ninguno	**Ligero**	**Moderado**	**Severo**
Salinidad (1):					
CE (2)	Milimhos/cm	0,7	0,7	3,0	>3,0
SDT (3)	mg/l	450	450	2000	>2000
Infiltración (4):					
RAS = 0-3 y CE		0,7	0,7	0,2	<0,2
RAS = 3-6 y CE		1,2	1,2	0,3	<0,3
RAS = 6-9 y CE		1,9	1,9	0,5	<0,5
RAS = 12-20 y CE		2,9	2,9	1,3	<1,3
RAS = 20-40 y CE		5,0	5,0	2,9	<2,9
Toxicidad por ión específico (5):					
-Sodio					
Irrigación superficial RAS (6)		3,0	3,0	9,0	>9,0
Aspersión	meq/l	3,0	3,0		
- Cloruros		4,0	4,0	10,0	>10,0
Irrigación superficial	meq/l	3,0	3,0		
Aspersión	meq/l	0,7	,7	3,0	>3,0
- Boro	mg/l				
Efectos misceláneos (7):					
- Nitrógeno (N-NO3)	mg/l	5,0	5,0	30,0	>30,0
- Bicarbonato (HCO3)	meq/l	1,5	1,5	8,5	>8,5
pH	Rango normal	6,5-8,4			

Nota. Adaptado de "Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo1", por TULSMA, 2015, p. 17.

El grado de restricción es un grado de limitación, que indica el rango de factibilidad para el uso del agua en riego, según el TULSMA (2015):

1. Salinidad: Afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos.
2. CE: Conductividad eléctrica del agua de regadío (1 milimhos/cm = 1000 micromhos/cm).

3. SDT: Sólidos disueltos totales.
4. Infiltración: Afecta a la tasa de infiltración del agua en el suelo.
5. Toxicidad por iones específicos: Afecta a la sensibilidad de los cultivos.
6. Irrigación superficial RAS: RAS, relación de absorción de sodio ajustada.
7. Efectos misceláneos: Afecta a los cultivos susceptibles.

2.3.3. Normativa complementaria (FAO)

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) pretende garantizar la seguridad alimentaria para todos. De esta manera, presenta el documento "Water quality for agriculture", desarrollado por Ayers & Wescott en 1994, como una guía de campo para evaluar la idoneidad de un agua para riego, que ha sido utilizado como referencia en varios países. No es la excepción la normativa ecuatoriana, denominada TULSMA, Anexo 1, Libro VI que constituye una adaptación a las condiciones y particularidades del uso del agua en el país, con varias similitudes a la guía presentada por la FAO. Se incluyen sugerencias para obtener la máxima utilización de un suministro de agua existente o potencial. Los valores de referencia dados en la normativa publicada por la FAO identifican un posible problema de agua en función de posibles restricciones de uso relacionadas con:

- Salinidad
- Tasa de infiltración de agua en el suelo
- Toxicidad iónica específica
- Algunos otros efectos diversos

Se dan discusiones y ejemplos junto con posibles alternativas de manejo para hacer frente a estos problemas potenciales.

Las directrices de "Water quality for agriculture" se basan en las experiencias obtenidas en muchas zonas agrícolas de todo el mundo, principalmente en zonas áridas y semiáridas. La gran

mayoría de los datos provienen de la agricultura en el oeste de los Estados Unidos. Por lo tanto, se debe tomar precaución y una actitud crítica al aplicar las pautas a la realidad local. Los lineamientos pueden indicar problemas potenciales y posibles restricciones, pero la verdadera aptitud de un agua depende de las condiciones específicas de su uso y de la capacidad de gestión del usuario. Las pautas deberían ser útiles para obtener la máxima producción del cultivo por unidad de agua disponible. (Ayers & Wescott, 1994).

Tabla 8. Directrices para la interpretación de la calidad del agua para riego.

PROBLEMA POTENCIAL DE RIEGO		**UNIDADES**	**GRADO DE RESTRICCIÓN**		
			Ninguno	**Ligero a Moderado**	**Severo**
Salinidad (afecta la disponibilidad de agua de los cultivos):					
	CE	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
	SDT	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltración (afecta la tasa de infiltración del agua en el suelo. Evaluar el uso de CE y RAS juntos):					
RAS	0 – 3		> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
	3 – 6		> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
	6 – 9		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
	12 – 20		> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
	20 – 40		> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
Toxicidad por ión específico (afecta a la sensibilidad de los cultivos):					
	Sodio				
	Irrigación superficial RAS (6)	RAS	< 3.0	3 – 9	> 9.0
	Aspersión	me/l	< 3.0	> 3.0	
	Cloruros				> 10.0
	Irrigación superficial	me/l	< 4.0	4.0 - 10.0	
	Aspersión	me/l	< 3.0	> 3.0	> 3.0
	Boro	mg/l	< 0.7	0.7 – 3.0	
Efectos misceláneos (afecta la susceptibilidad de los cultivos):					
	Nitrógeno (N-NO3)	mg/l	< 5.0	5.0 – 30.0	> 30.0
	Bicarbonato (HCO3)	meq/l	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
	pH		Rango normal 6.5 – 8.4		

Nota. Adaptado de "Water quality for agricultura", por R.S. Ayers & D.W. Wescott, 1994, p. 8.

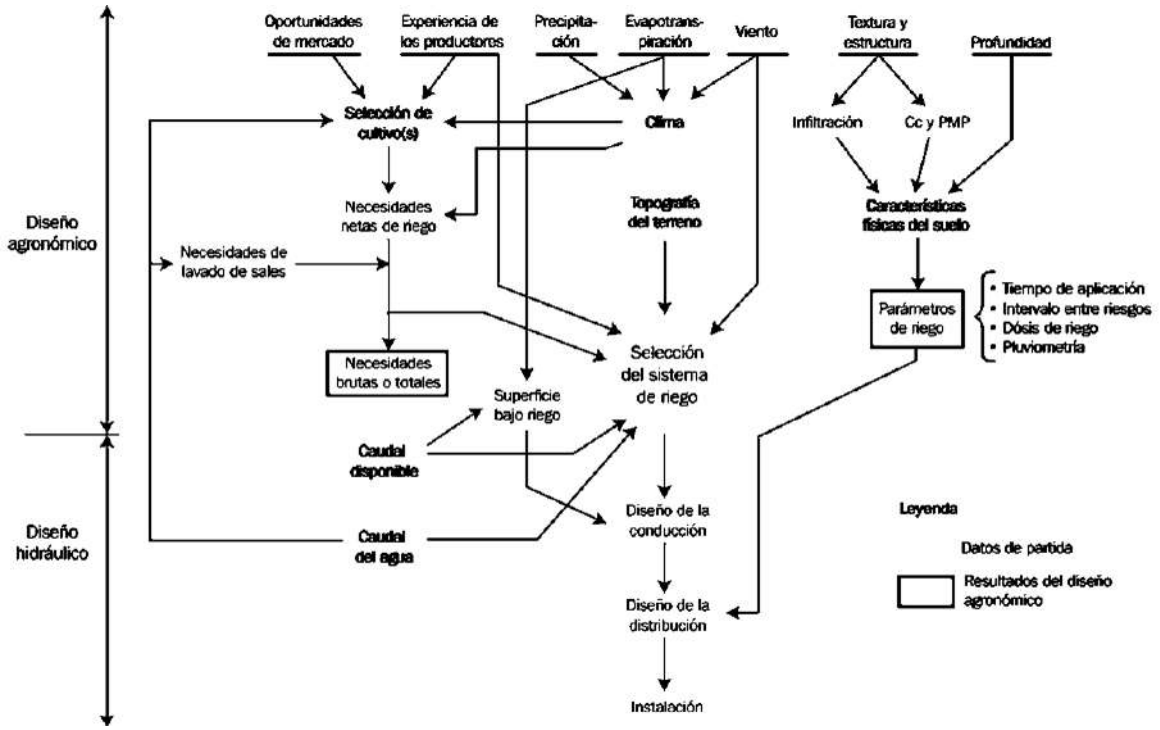
2.4. Funcionamiento hidráulico de canales abiertos

2.4.1. Diseño hidráulico de sistemas de riego

Existen ciertas particularidades de los sistemas de riego que condicionarán el diseño y elección de un sistema de riego. Según Carrazón (2007) en "Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego", estas características son: factores socioeconómicos que repercutirán en la administración del sistema de riego, tamaño, tecnología, costo, localización, entre otros. No obstante, el análisis detallado de estos factores queda fuera de los objetivos, de modo que limitaremos el estudio de los datos de partida a los condicionantes físicos: agua, suelo, cultivo, clima, y topografía

En la *Figura 1.* se representa esquemáticamente el proceso a seguir para el diseño de una instalación de riego.

Figura 1. *Proceso para el diseño de un sistema de riego*



Nota. Tomado de "Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego", por J. Carrazón, 2007, pág. 98.

2.4.2. Diseño hidráulico de canales principales y sistemas de distribución de agua de riego

Existen varios métodos de diseño hidráulico para canales. En esta investigación se presenta el método propuesto en "Hidráulica de canales abiertos" por French (1998), junto a criterios recogidos de las investigaciones de FAO (2003) y Ven Te Chow (1994). Esta metodología y los respectivos procedimientos de cálculo son aplicables para canales revestidos y/o no revestidos. Sin embargo, este estudio se limitará al diseño de canales revestidos para flujo uniforme, ya que un adecuado revestimiento permite disminuir la infiltración y asegura la estabilidad del canal. Además, se asume que el trazado, con sus respectivos radios mínimos fue considerado con anterioridad.

Indiferentemente del tipo de canal, se debe considerar conceptos básicos comunes como:

1. Ecuación de Manning: Todos los canales se deben diseñar partiendo de la capacidad de agua que conducirán o caudal. La fórmula más usada para considerar este factor y otros como la forma, pendiente y velocidad del agua del canal, son considerados por la ecuación de Manning (1889):

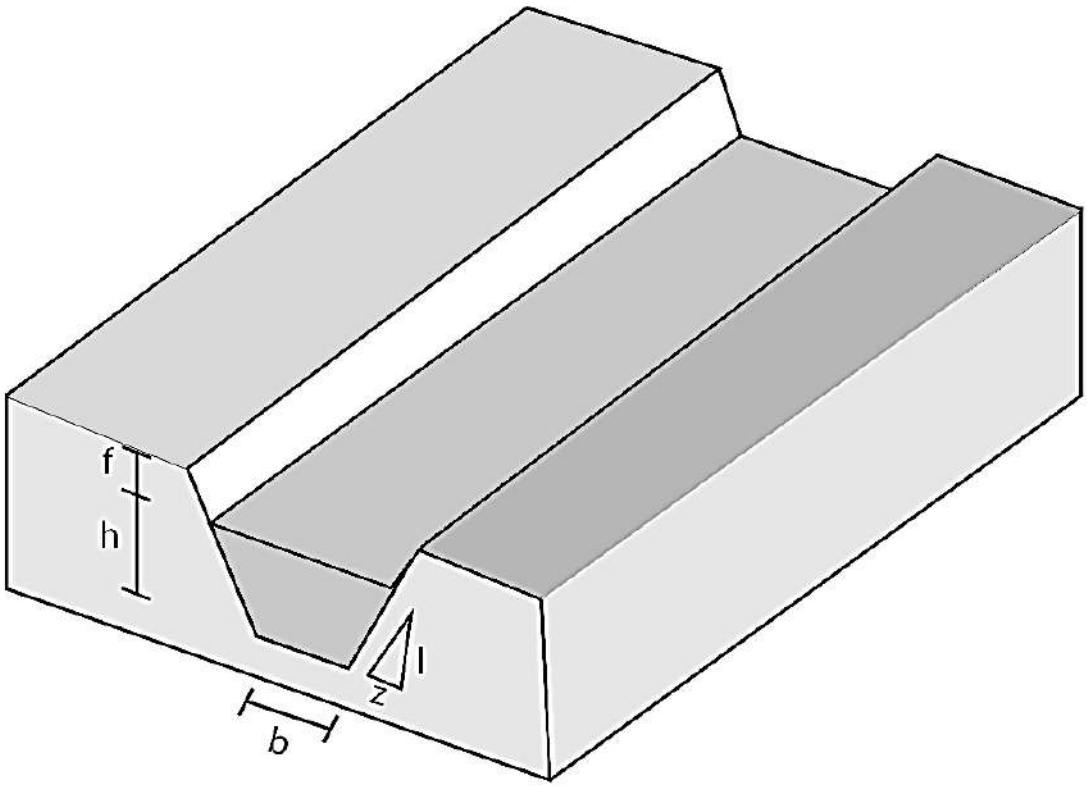
$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$

$$R = \frac{área\ mojada}{perímetro\ mojado}$$

   Donde:
   Q: caudal (m^3/s)
   n: coeficiente de rugosidad
   A: área (m^2)
   R: radio hidráulico (m)
   S: pendiente
2. Forma del canal o sección hidráulica: para la selección de una forma geométrica

determinada para la sección transversal del canal existe un área óptima. Cabe recalcar que, de todas las posibles secciones transversales, la mejor sección hidráulica dada por el semicírculo. No obstante, desde el punto de vista práctico, la sección hidráulica óptima deberá considerar factores de constructibilidad, económicos, en el costo de la excavación como en el material de revestimiento, entre otros. Por lo tanto, recomienda una sección hidráulica trapezoidal. (FA0, 2003)

Figura 2. Ejemplo de sección hidráulica óptima (trapezoidal)



Donde:

b: ancho del fondo o solera del canal;

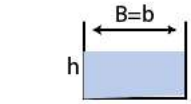
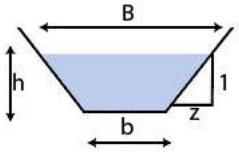
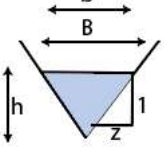
z: 1: la pendiente de sus paredes

h: la altura máxima del agua

f: bordo libre

Una vez determinada la forma del canal, será necesario calcular la geometría de la sección transversal mojada que se resumen en la *Figura 3* con las tres formas más comunes en canales:

Figura 3. Geometría de la sección transversal mojada

Sección transversal del canal	Superficie de la sección transveral A (m2)	Perímetro mojado P (m)	Radio Hidráulico R (m)	Ancho de la parte superior B (m)
	bh	$b + 2h$	$\frac{bh}{b + 2h}$	b
	(b+zh) h	$b + 2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b + zh)\,h}{b + 2h\sqrt{1+z^2}}$	b+2zh
	zh^2	$2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zh}{2\sqrt{1+z^2}}$	2zh

Nota. Adaptado de "Estructuras de conducción del agua", por FAO, 2003.

3. Pendiente lateral del canal o talud: Los taludes del canal dependerán de las propiedades mecánicas del suelo en el que se excava el canal. Deben ser lo suficientemente grandes para proveer de estabilidad. "Cuanto más estable sea el material del suelo, más pronunciada podrá ser la pendiente lateral. Si el canal está revestido, la pendiente varía también según el material de revestimiento utilizado" (FAO, 2003). Además, se considerarán más factores como la parte económica, el tamaño del canal, la excavación requerida, la necesidad de caminos de mantenimiento, entre otros.

En la *Tabla 9,* se sugieren los valores para un diseño preliminar de taludes en canales excavados de varios tipos de materiales.

Tabla 9. Pendientes máximas recomendadas de acuerdo con el material.

MATERIAL DE REVESTIMIENTO	PENDIENTE LATERAL
Roca	casi vertical
Capa dura, suelo aluvial, grava firme, tierra con revestimiento de concreto	0.5 : 1
Tierra con revestimiento de piedra, hormigón armado in situ, bloque de cemento	1 : 1
Arcilla firme, grava	1.5 : 1
Tierra suelta, limo, arena limosa	2 : 1
Membrana plástica sumergida	2.5 : 1
Limos arenosos o arcilla porosa	3 : 1

Nota. Adaptado de "Estructuras de conducción del agua", por FAO, 2003. & "Hidráulica de canales abiertos", por R. French, 1998.

4. Pendiente longitudinal del canal: según la FAO (2003), la pendiente se determina atendiendo a las condiciones topográficas, precautelando criterios como velocidades máximas bajo las siguientes recomendaciones generales:
    - En las zonas muy llanas, la pendiente del fondo puede ser nula o presentar un valor mínimo de 0,05%, es decir de 5 cm por 100 m.
    - En las zonas más inclinadas, la pendiente del fondo no debería pasar del 0,2%, entre 10 y 20 cm por 100 m, para evitar una excesiva velocidad del agua que pueda desgastar el fondo y las paredes del canal.
5. Velocidad del agua permisible en los canales: En los canales abiertos, la velocidad del agua varía de acuerdo con la profundidad y con la distancia de las paredes del canal. A pesar de ello, normalmente es la velocidad media del agua en toda la sección trasversal, la que regirá el diseño.

La velocidad media máxima admisible en un canal para evitar la erosión depende del material de revestimiento. En el *Tabla 10.*, se indican las velocidades máximas admisibles en canales con diversos suelos y revestimientos.

Tabla 10. Velocidades media máximas admisibles del agua en canales

TIPO DE SUELO O REVESTIMIENTO	VELOCIDAD MEDIA MÁXIMA ADMISIBLE (m/s)
CANALES SIN REVESTIR	
Arcilla Blanda	0,2
Arena muy fina	0,3
Arena suelta	0,4
Arena gruesa	0,5
Grava firme o arcilla	1,1
Suelo arcilloso duro, suelo de grava común	1,4
Grava gruesa	1,8
Roca blanda	2,4
Roca dura	4,0
CANALES REVESTIDOS	
Hormigón in situ	1,5
Hormigón prefabricado	1,0
Piedras	1,7
Bloque de cemento	1,6
Ladrillo	1,5
Membrana plástica	0,8

Nota. Adaptado de "Estructuras de conducción del agua", por FAO, 2003.

No menos importante, son los valores mínimos recomendados para velocidad media del canal. Una velocidad de al menos 0.75 m/s es por lo general recomendada para prevenir la sedimentación y crecimiento de vegetación, que podrían afectar en forma significativa el flujo del canal. (French, 1988)

6. Rugosidad: Es representada por un coeficiente "n" en la ecuación de Manning y permiten estimar la resistencia al flujo del agua por la fricción con el canal.

Tomando en cuenta que existirán datos de caudal y pendiente, por las condiciones del cuerpo hídrico de donde se realice la captación y condiciones topográficas del terreno respectivamente, se podrá determinar un material de revestimiento que se adapte a las necesidades del proyecto. Este factor podrá variar de acuerdo con la vida útil del canal, puesto que, la edad del material y la presencia de vegetación y microorganismos que crecen en las paredes del canal afectan este valor.

En la *Tabla 11*.se resumen los valores del coeficiente de rugosidad:

Tabla 11. Coeficientes de rugosidad (Ecuación de Manning)

Tabla 12. Valores del coeficiente de rugosidad (η)

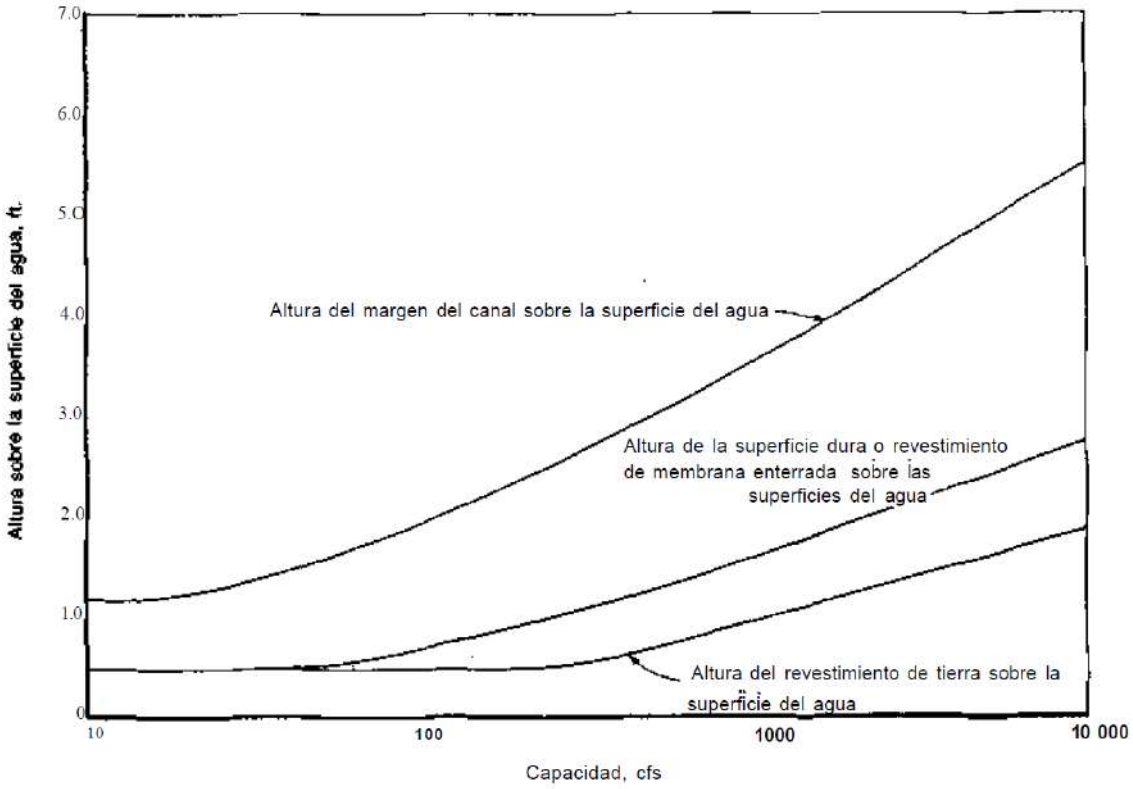
TIPO DE CANAL Y DESCRIPCIÓN	NORMAL
Canales revestidos o desarmables	
No metal	
Vidrio, plástico	0,010
Concreto	
Terminado con llana metálica	0,013
Terminado con llana de madera	0,015
Pulido, con gravas en el fondo	0,017
Sin pulir	0,017
Lanzado, sección buena	0,019
Lanzado, sección ondulada	0,022
Sobre roca bien excavada	0,020
Sobre roca irregularmente excavada	0,027
Excavado o dragado	
En tierra, serpenteante y lento	
Sin vegetación	0,025
Pastos, algunas malezas	0,030
Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0,035
Fondo en tierra con lados en piedra	0,030
Fondo pedregoso y bancas con maleza	0,035
Fondo en cantos rodados y lados limpios	0,040

Nota. Adaptado de "Hidráulica de canales abiertos", por Ven Te Chow, 1994, p. 109.

7. Bordo libre: se refiere a la distancia vertical entre la parte superior del canal y el nivel del agua cuando el canal trabaja con el caudal de diseño en flujo normal. Su propósito es salvaguardar que el agua no exceda el nivel del revestimiento por cualquier fluctuación para evitar que se pierda caudal y que el agua no se encuentre en contacto con agentes contaminantes en la superficie aledaña al canal. No existe una regla universal aceptada para el cálculo de este, ya que la fluctuación en la superficie del agua puede tener causas incontrolables. De acuerdo con el U.S. Bureau of Reclamation, el rango aproximado de borde libre a menudo utilizado en canales de riego va desde 1 a 4 pies de acuerdo con su profundidad y capacidad del canal. Así también, se puede estimar

con las curvas empíricas dadas en la *Figura 4*. En general, estas curvas son aplicables a canales revestidos con una superficie dura, una membrana, o tierra compacta con un bajo coeficiente de permeabilidad. (Ven Te Chow, 1994)

Figura 4. *Bordo libre para las márgenes del canal y para superficies duras, membranas enterradas y revestimientos de tierra.*



Nota. Adaptado de "Hidráulica de canales abiertos", por. Ven Te Chow, 1994, p.157.

2.5. Evaluación de infraestructuras hidráulicas existentes

Un plan de evaluación de infraestructuras hidráulicas contempla varias etapas y requiere una visión de todo el panorama. Por ello, estudios como el "Plan Provincial de Riego y Drenaje de Imbabura 2017 – 2037" recomiendan realizar un amplio diagnóstico de los sistemas de riego en materia de gestión del agua, disponibilidad de infraestructura hidráulica, aspectos ambientales como calidad de agua y aspectos hidrológicos (Prefectura de Imbabura, Plan Provincial de Riego y Drenaje de Imbabura 2017-2037, 2017).

El proceso de evaluación consta de las siguientes etapas según (Crespo Pérez, 2015) en su investigación "Propuesta de procedimiento para la evaluación y diagnóstico de obras hidráulicas":

1. Inspección inicial

"Comprende el reconocimiento del entorno en que se encuentra ubicada y la determinación de sus características fundamentales constituyen los puntos claves de esta etapa del trabajo de diagnóstico" (Crespo Pérez, 2015).

2. Inspección visual y levantamiento de deterioros

El objetivo de esta etapa va más allá de dar simplemente un vistazo al objeto de estudio: la palabra inspeccionar quiere decir examinar, reconocer atentamente particularidades en el tramo escogido para la investigación. Se realiza generalmente caminando a pie a lo largo de la obra hidráulica en busca de lesiones que se manifiesten como síntomas del proceso patológico (Crespo Pérez, 2015).

Un paso fundamental en una evaluación hidráulica es conocer de la infraestructura de riego disponible, para ello se elabora un catastro de la infraestructura hidráulica: óvalos, tanques, derivaciones, compuertas, muros de contención, pasos elevados, sifones, entre otras obras. Luego se procede a una caracterización de problemas y riesgos en el sistema, donde involucra reconocer lesiones o desperfectos de la obra tales como: zonas de deslizamiento, derrumbes, fallas geológicas, zonas de filtración, infraestructura faltante y descargas de aguas servidas. Se recomienda que, una vez identificados estos elementos, sean georreferenciados para su sistematización y análisis (Prefectura de Imbabura, 2017). Las principales patologías en obras hidráulicas de acuerdo con su material son:

Tabla 13. Resumen de patologías en obras hidráulicas

PATOLOGÍAS HIDRAÚLICAS			
MATERIAL	**TIERRA**	Deslizamiento	Sifonamiento

		Asentamiento	Agrietamiento
		Erosión	Deformación
		Filtraciones	
	HORMIGÓN	Corrosión	Lixiviación
		Eflorescencias	Fisuración
		Desegregación	Desconchado
		Agrietamiento	Carbonatación
	TUBERÍAS	Rotura de la junta	
		Fisuras en el interior	
		Exceso de compresión	
		Corrosión	

Nota. Adaptado de "Propuesta de procedimiento para la evaluación y diagnóstico de obras", por D. Crespo Pérez, 2015, p. 15.

3. Recopilación de antecedentes

Una vez identificadas e independizadas las lesiones, se inicia esta fase. Esto implicará tratar de conseguir todo tipo de documentación gráfica o escrita, e incluso entrevistas con los operarios para conocer más detalles que no estén reflejados en la documentación. Pueden obtenerse planos, fotografías, informes de diagnósticos anteriores, fecha de aparición o periodicidad de algunas lesiones, fecha de construcción, sistema y detalles constructivos o nivel de contaminación del entorno, etc. (Crespo Pérez, 2015)

4. Organización de información

Para este paso, existe más de una manera en la que se puede organizar y presentar la información levantada. Una de ellas es a través de fichas y planos, aquí se debe recoger todos los datos que se haya obtenido en las etapas anteriores y mostrarlos de una manera didáctica (Crespo Pérez, 2015).

5. Diagnóstico

Una vez terminada la toma de datos directa, y estando en posesión de los resultados de posibles ensayos de laboratorio, se puede iniciar la reconstrucción de los hechos, es decir tratar de conocer cómo se ha desarrollado el proceso patológico, cuál ha sido su origen y sus causas, cuál

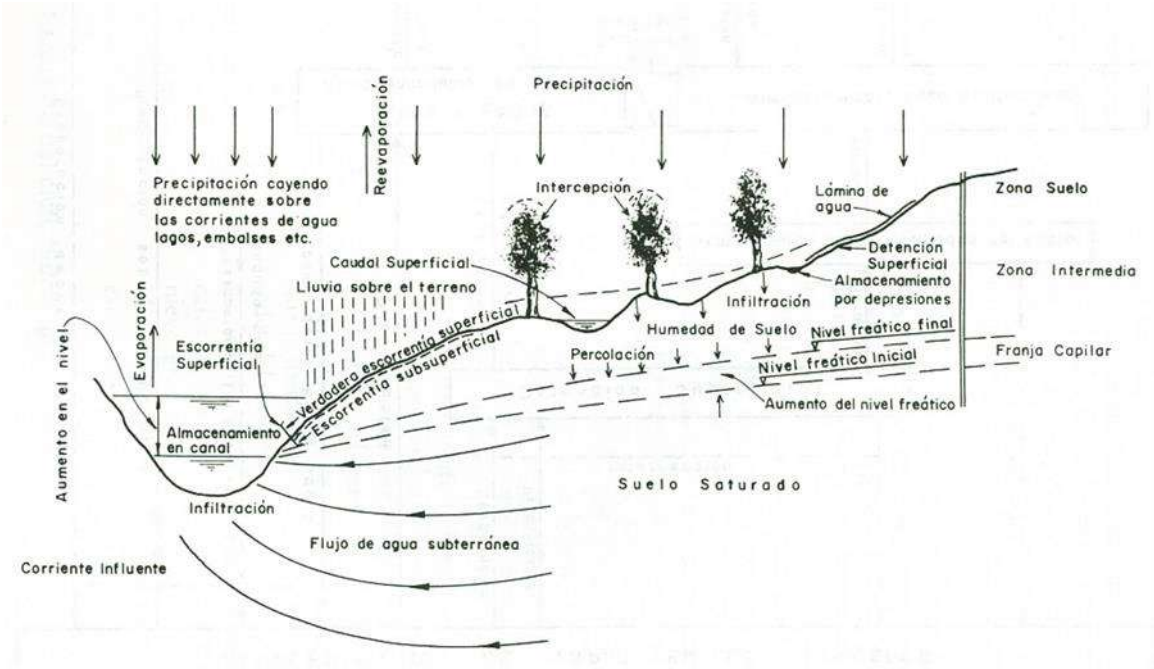
su evolución y cuál su estado actual. En esta etapa se debe llegar a conclusiones para la posterior actuación que implique la reparación de la obra (Crespo Pérez, 2015).

Para finalizar la conceptualización hidráulica, se sugiere completar el estudio con información básica acerca de la parte hidrológica del estudio, pues estará estrechamente ligada al caudal que se dispone en la zona y posteriormente se transporta a través de la infraestructura hidráulica. Por ello, es necesario partir de una explicación del ciclo y varios términos hidrológicos más, para tener una visión más amplia del recurso hídrico que fluye en el canal.

2.6. Ciclo Hidrológico

El agua se encuentra en un movimiento cíclico continuo, denominado ciclo hidrológico. Según Linsley, Kohler, & Paulus (1977), se explica de manera simplificada que este movimiento inicia con la evaporación del agua de los océanos. El vapor de agua resultante es transportado por las masas móviles de aire. Bajo condiciones adecuadas el vapor se condensa para formar las nubes, las cuales, a su vez, pueden transformarse en precipitación. La precipitación que cae sobre la tierra se dispersa de diversas maneras. La mayor parte de ésta es retenida temporalmente por el suelo, en las cercanías del lugar donde cae, y regresa eventualmente a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas. Otra porción de agua que se precipita viaja sobre la superficie del suelo o a través de éste hasta alcanzar los canales de las corrientes. La porción restante penetra más profundamente en el suelo para hacer parte del suministro de agua subterránea. Bajo la influencia de la gravedad, tanto la escorrentía superficial como el agua subterránea se mueven cada vez hacia zonas más bajas y con el tiempo pueden incorporarse a los océanos. Sin embargo, una parte importante de la escorrentía superficial y del agua subterránea regresa a la atmósfera por medio de evaporación y transpiración, antes de alcanzar los océanos.

Figura 5. Esquema del ciclo hidrológico



Nota. Adaptado de "Hidrología en la Ingeniería", por G. Monsalve, 1999, p. 24.

De acuerdo con Cabrera (s.f), el ciclo hidrológico puede tratarse como un sistema cuyos componentes principales son precipitación, evaporación y evapotranspiración, escorrentía e infiltración. Estos componentes pueden agruparse en subsistemas y sus procesos involucran interrelaciones tanto superficiales como subsuperficiales. La comprensión del ciclo hidrológico implica entender la respuesta de la cuenca de manera continua en el tiempo y en el espacio y cuantificar sus procesos.

- Precipitación

“Es en general, el término que se refiere a todas las formas de humedad emanadas de la atmósfera y depositadas en la superficie terrestre, tales como lluvia, granizo rocío, neblina, nieve o helada” (Monsalve, 1999).

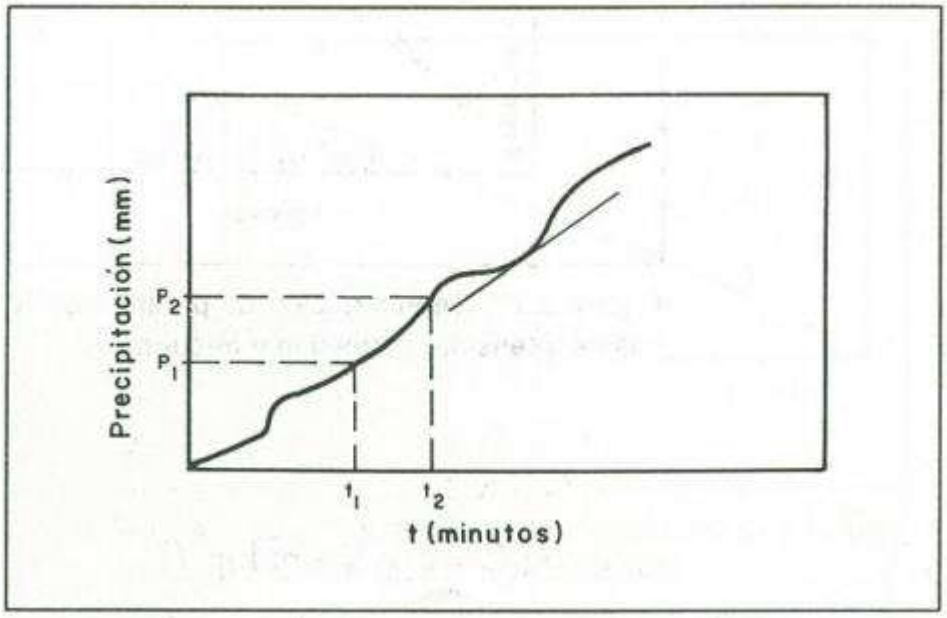
Para la formación de precipitaciones, según Monsalve (1999), se requieren al menos estos cinco elementos: humedad atmosférica, radiación solar, mecanismo de enfriamiento del aire, presencia de núcleos higroscópico para que haya condensación y mecanismo de crecimiento de partículas.

El autor señala también, que el proceso de formación de la precipitación inicia cuando el aire húmedo de los estratos bajos es calentado por conducción, entonces, se torna más leve y asciende. Posteriormente, el aire húmedo pasa por un mecanismo de enfriamiento, en el cual se expande hasta llegar a una condición de saturación. A partir de ese nivel, y con la ayuda de núcleos higroscópicos, el vapor de agua forma pequeñas gotas que se mantienen en suspensión y crecimiento hasta que por el aumento de tamaño las gotas caen a la superficie terrestre.

La clasificación de precipitaciones de acuerdo con las condiciones que producen el movimiento vertical del aire puede ser convectivas, orográficas o por convergencia. Las precipitaciones convectivas presentan gran intensidad y corta duración, se concentran en pequeñas áreas. Por otro lado, las precipitaciones orográficas resultan del choque con barreras naturales, como montañas. Y finalmente las precipitaciones por convergencia, se caracterizan por intensidades bajas a moderadas y larga duración, se esparcen por grandes áreas.

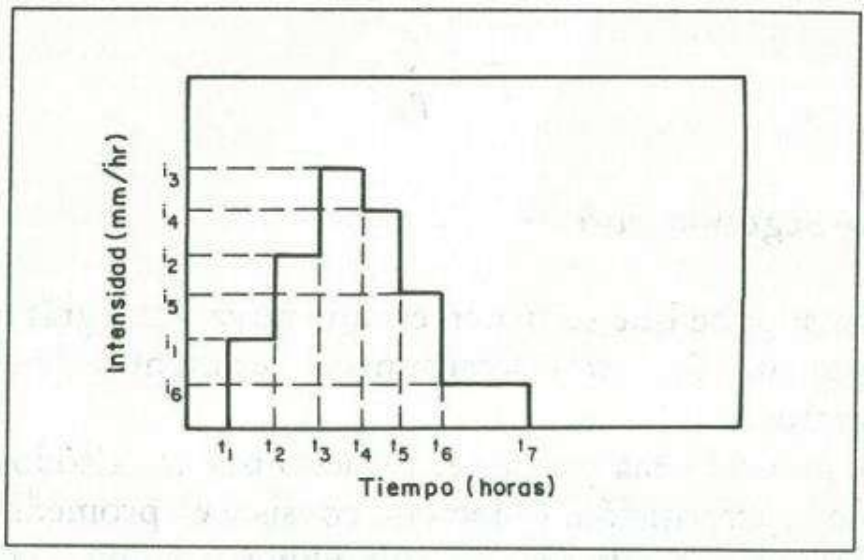
Cabe señalar que la intensidad de las lluvias puede ser representada por curvas de masa o hietogramas. Una curva de masas grafica las lluvias acumuladas desde que inició la precipitación (mm/min). Mientras que el hietograma muestra la intensidad de lluvia $(mm/hora)$ en las ordenadas y el tiempo $(horas)$ en las abscisas (Monsalve, 1999).

Figura 6. Curva de masas de precipitación.



Nota. Adaptado de "Hidrología en la Ingeniería", por G. Monsalve, 1999, p. 114.

Figura 7. Hietograma de precipitación.



Nota. Adaptado de "Hidrología en la Ingeniería", por G. Monsalve, 1999, p. 115.

- Infiltración

Como se explicó en etapas previas, dentro de la sección *2.1.1. Pérdidas por infiltración en canales de riego,* en este proceso el agua penetra en el suelo y es un fenómeno que está estrechamente ligado tanto a la parte hidráulica como hidrológica. Dentro del análisis

hidrológico, ocurre cuando la precipitación cae al suelo. Sin embargo, se verá afectado por otros fenómenos que se mencionarán brevemente a continuación y han sido definidos por Monsalve (1999):

1. Intercepción: volumen de lluvia que no alcana a llegar al suelo porque cae sobre la vegetación, estructuras, etc., donde se evapora posteriormente.
2. Detención superficial: volumen de agua que se almacena en depresiones y luego se evapora.
3. Humedad en el suelo: volumen de agua que se infiltra y antes de alcanzar el nivel freático es absorbida por las plantas o por evaporación.
4. Precipitación directa sobre corriente de agua

Todos estos hechos deberán ser tomados en cuenta en la modelación hidrológica de un evento, a través de métodos como el "Soil Conservation Service de los Estados Unidos", por sus siglas SCS, que, si bien permite calcular la escorrentía, es aplicado también para el cálculo de abstracciones de una tormenta, intercepción, detención superficial e infiltración.

- Evaporación y Evapotranspiración

La evaporación es el proceso por el cual el agua pasa de estado líquido a vapor en condiciones naturales. Dentro de una ecuación simple del balance hídrico puede ser considerada como una pérdida y para ello también se debe tomar en cuenta la transpiración, que consiste en el mismo cambio de estado del agua, pero por efecto de las acciones físicas y fisiológicas de las plantas. El conjunto de estos fenómenos se conoce como evapotranspiración (Monsalve, 1999).

La importancia de este fenómeno en la presente investigación radica en conocer las pérdidas que se dan al evaporarse el agua del canal y del río que lo abastece. Además, en un estudio más profundo, se deberían considerar estas pérdidas en las parcelas para determinar la cantidad de agua para el riego de los cultivos.

- Escorrentía superficial

Desde el punto de vista de ingeniería, Monsalve (1999), considera que la escorrentía es el fenómeno meteorológico más importante. Consiste en la ocurrencia y transporte de agua en la superficie terrestre. De toda la precipitación que alcanza el suelo, parte de ella es retenida o se infiltra en el suelo, sin embargo, el excedente escurre superficialmente. Cabe agregar que la escorrentía de una corriente de agua también podrá ser alimentada por aguas subterráneas.

Monsalve (1999) establece que, la principal variable que caracteriza a la escorrentía superficial es el caudal. No obstante, afirma que hay variables complementarias que contribuyen la comprensión y cuantificación de esta, tales como:

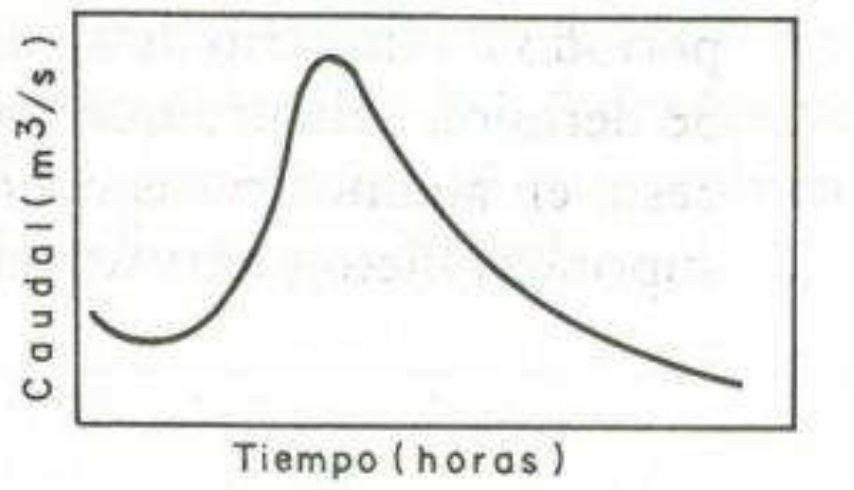
1. Coeficiente de escorrentía superficial (C): relación entre el volumen de igual de escorrentía superficial total y el volumen de agua precipitado total, en un intervalo de tiempo determinado:

$$c = \left(\frac{V\ escorrentía\ superficial}{Vprecipitado\ total}\right)_{intervalo\ de\ tiempo}$$

2. Tiempo de concentración (tc): tiempo que tarda la lluvia en recorrer desde el punto más distante de una cuenca hasta dicha corriente. Por ende, representa el tiempo que se necesita para que toda la cuenca contribuya con escorrentía superficial a una sección de la corriente.
3. Período de retorno (T): período de tiempo promedio, en que un evento (en este caso caudal), es igualado o superado.

La escorrentía superficial puede ser representada gráficamente por un hidrograma y muestra la variación del caudal con el tiempo.

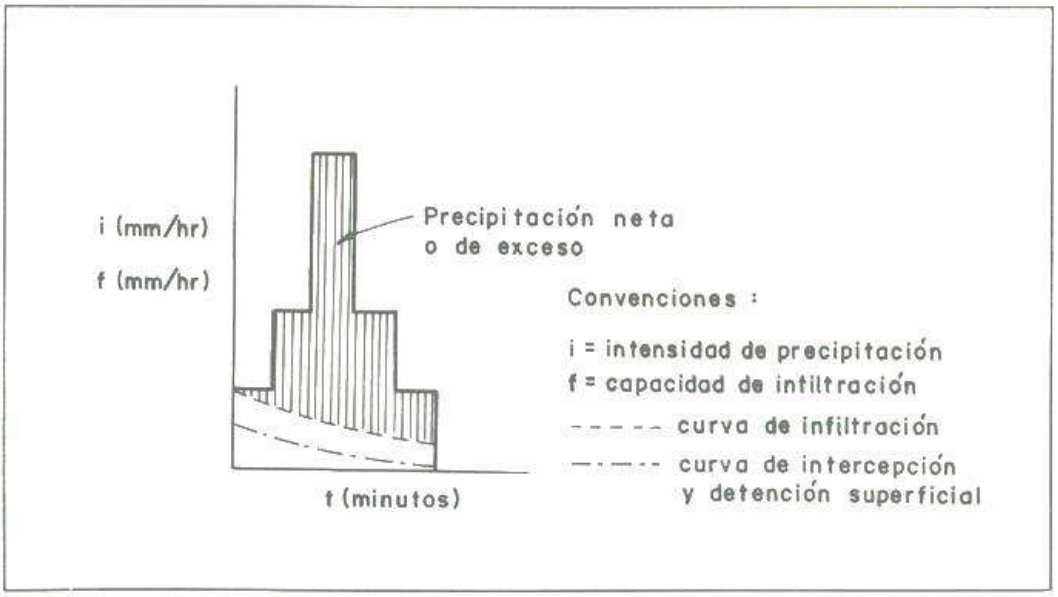
Figura 8. Hidrograma



Nota. Adaptado de "Hidrología en la Ingeniería", por G. Monsalve, 1999, p. 181.

Además, es posible analizar en conjunto fenómenos de interés en hidrología como la precipitación, infiltración y escorrentía. Si se conoce el hietograma de la lluvia productora de la escorrentía y el hidrograma de caudal de la corriente de agua correspondiente a la misma cuenca, se podrá encontrar relaciones en ambos esquemas. Antes, es necesario tener claro el concepto de precipitación neta o efectiva. La precipitación efectiva corresponde a la diferencia entre la precipitación total y la infiltración, incluyéndose intercepción y detención superficial. El resultado es también igual a la cantidad de lluvia que genera la escorrentía superficial (Monsalve, 1999).

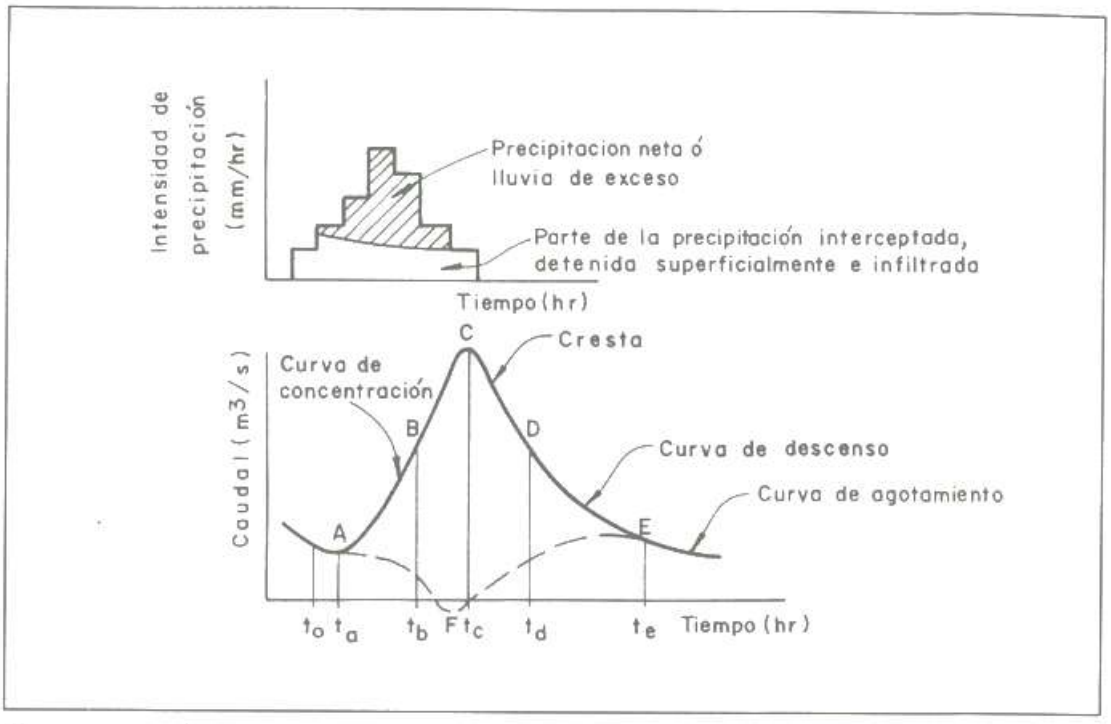
Figura 9. *Hietograma de precipitación neta o efectiva.*



Nota. Adaptado de "Hidrología en la Ingeniería", por G. Monsalve, 1999, p. 182.

Una vez definido este término. Se establece en la *Figura 10.* la relación entre el hietograma e hidrograma de una misma lluvia en una cuenca.

Figura 10. *Análisis conjunto de un hietograma e hidrograma.*



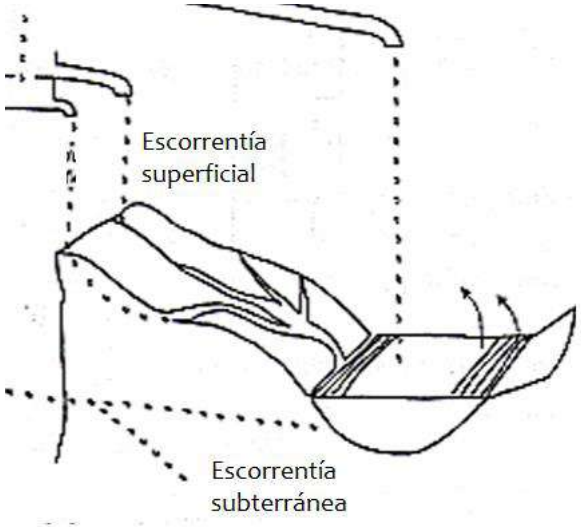
Nota. Adaptado de "Hidrología en la Ingeniería", por G. Monsalve, 1999, p. 183.

En el instante en el que inicia la lluvia, y ésta precipita hacia la superficie terrestre, alcanza tres destinos principalmente; una parte es interceptada por la vegetación y obstáculos, otra es retenida en depresiones del terreno y lo que resta se infiltra, este período es $t_o - t_a$ en la *Figura 10*. Una vez que es suplida la deficiencia de humedad del suelo y se excede la capacidad de infiltración, comienza la escorrentía superficial y corresponde al punto A. En adelante, se tiene la influencia de la escorrentía superficial directa, la precipitación directa sobre la corriente y el agua subterránea, también llamada caudal base, todo este proceso está plasmado en el hidrograma y se lo denomina curva de concentración del punto A – B. Luego, se tiene la cresta del hidrograma, con el punto máximo C, cuando toda la cuenca está contribuyendo. En el punto D la precipitación cesa, la escorrentía superficial empieza a disminuir y se nota un descenso más pronunciado en el caudal, este tramo es conocido como curva de descenso. Finalmente, al llegar al punto E únicamente quedará escorrentía subsuperficial y subterránea que se mantendrá en una constante disminución en la curva de agotamiento (Monsalve, 1999).

- Aguas subterráneas

Es posible encontrar agua subterránea en formaciones geológicas conocidas como acuíferos, y allí puede existir movimiento (Monsalve, 1999). El agua llega a esta zona cuando la precipitación logra infiltrar el suelo y alcanza el nivel freático, es ahí que viene a formar parte de la escorrentía subterránea y es conocida también como flujo base. Constituye una reserva de agua que en épocas de estiaje puede alimentar los cauces. Por tal motivo, la escorrentía subterránea, entre otros factores, debe ser considerada como parámetros para un análisis hidrológico de una cuenca.

Figura 11. Aporte de escorrentía



Nota. Adaptado de "Modelización de sistemas hidrológicos", por IDEAM, s.f.

2.7. Modelación hidrológica

Como se mencionó anteriormente, el ciclo hidrológico es crucial para la vida en la Tierra. Sin embargo, una representación exacta del intercambio de agua entre la atmósfera, el océano y la superficie terrestre es uno de los más grandes retos. Bajo esta problemática, aparecen los modelos hidrológicos, como una herramienta para conocer mejor el funcionamiento y comportamiento de los diferentes componentes del ciclo hidrológico aplicado a una unidad de análisis (Cabrera, s.f.).

Los modelos relacionan algo desconocido (output) con algo conocido (input). Normalmente, los modelos son un conjunto ecuaciones que describen una situación y son resueltas y sistematizadas por un software, como HEC – HMS, y que se describirá a continuación. Normalmente la modelación de sistemas hidrológicos tiene como input la precipitación y como output la escorrentía, o el otro input conocido suele ser el flujo aguas arriba y el output el flujo aguas abajo, sin embargo, los parámetros de entrada y salida podrán variar (US Army Corps of Engineers, 2000).

Es así como, actualmente, los modelos hidrológicos tienen varios propósitos y definir sus objetivos y alcance constituyen el primer paso fundamental en todo el proceso de modelación. Además, en este punto es clave identificar el tipo de salidas que se requiere, gráficas, mapas, valores puntuales, valores distribuidos, agregados, a nivel de cuenca, de área aferente, entre otros (IDEAM, Protocolo de Modelación Hidrológica e Hidráulica, 2018). Entre los propósitos más comunes de los modelos están:

- Como una herramienta para la gestión y planeamiento
- Para una mayor compresión del rol de los componentes del ciclo hidrológico de una determinada cuenca
- Pronosticar la oferta de agua
- Para extrapolar potenciales condiciones futuras a partir de condiciones actuales
- Como base para la modelación de otros procesos, como la calidad del agua, erosión, etc. (Cabrera, s.f.)

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (2018), en "Protocolo de Modelación Hidrológica e Hidráulica", señala que los objetivos deben ser razonables y tener presente las implicaciones de no contar en ocasiones con la suficiente información para resolver con un alto grado de certeza la pregunta formulada.

Otro de los puntos que se debe considerar en todo este proceso es la identificación de datos e información para la modelación. Frecuentemente, se debe recurrir a estimaciones, interpolaciones y/o regionalizaciones, cuando no se dispone de la información necesaria (IDEAM, Protocolo de Modelación Hidrológica e Hidráulica, 2018). Cabe recalcar que, en

Ecuador la entidad donde se podría encontrar información relevante para la modelación es el INAMHI, pues posee una red de estaciones automáticas meteorológicas e hidrológicas, cuya información es recopilada por esta institución.

De acuerdo con US Army Corps of Engineers (2000), los modelos pueden ser clasificados de diferentes formas:

1. Modelos físicos: son representaciones de dimensiones reducidas de sistemas reales del mundo.
2. Modelos análogos: representan el flujo de agua con el flujo de electricidad en u circuito.
3. Modelos matemáticos: se define una ecuación o un grupo de ecuaciones que representan la respuesta de un componente del sistema hidrológico sujeto a condiciones hidrometereológicas. Además, dentro de los modelos matemáticos existen categorías, que pueden ser los modelos de evento o modelos continuos.

   Un modelo de evento simula una única tormenta. La duración de la tormenta puede ser algunas horas o días. La mayoría de los modelos de HEC HMS suelen ser modelos de evento (US Army Corps of Engineers, 2000). Mientras que, un modelo continuo simula un periodo más largo, prediciendo la respuesta de la cuenca durante eventos de precipitación.

Si bien el definir el tipo de modelo no es requerido por el software que se utilizará, es útil para determinar varias de sus aplicaciones (US Army Corps of Engineers, 2000). Con base en sus aplicaciones se podrán existir clasificaciones más amplias, basadas en sus objetivos y aplicaciones, como son los modelos hidrológicos, modelos hidráulicos y modelos de calidad del agua, por citar algunos.

Por otra parte, etapas como la calibración y validación del modelo contribuirán de gran manera a la legitimidad de este. Ambos conceptos permiten evaluar la capacidad del modelo para

representar el o los fenómenos de interés, con la pequeña diferencia que la validación permite corroborar el desempeño del modelo en un contexto espacio – temporal distinto al de la calibración. La calibración del modelo emplea datos históricos y la información procesada, pero en la validación se podrá usar un punto diferente a donde se calibro o un periodo de tiempo distinto. Adicionalmente, una tarea opcional es el uso de optimizadores, con lo que se genera que los procesos sean automáticos (IDEAM, 2018).

Cuando las ecuaciones de un modelo matemático son demasiado numerosas o complejas de resolver manualmente, son trasladadas a la computadora en forma de algoritmos. El resultado es un programa de computadora (US Army Corps of Engineers, 2000).

HEC – HMS es uno de los programas capaz de resolver una variedad de modelos. Fue desarrollado en el Centro de Ingeniería Hidrológica, conocido por sus siglas en inglés como "HEC", del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (US Army Corps of Engineers, 2000).

Para analizar un sistema hidrológico, de manera muy elemental el usuario del programa deberá completar los siguientes pasos:

1. Iniciar un nuevo proyecto
2. Crear data de calibración
3. Ingresar datos del modelo de la cuenca
4. Ingresar datos del modelo de precipitación
5. Ingresar especificaciones de control
6. Ejecutar la corrida
7. Observar los resultados
8. Finalizar el programa

CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE RIEGO DE LA JUNTA DE AGUAS "LA VICTORIA"

3.1. Administración de la Junta de Aguas "La Victoria"

La Junta de Aguas "La Victoria" fue fundada el 15 de septiembre de 1912. No obstante, en el 21 de enero de 2017 obtuvo su personería jurídica, legalizándola como una organización comunitaria sin fines de lucro, regida por la Constitución de la República, Ley Orgánica de Recurso Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua, Estatutos y Reglamento Interno.

De acuerdo con el Reglamento Interno de la Junta de Aguas "La Victoria", en el art. 21, se establece que: "El directorio de la junta está integrado por: presidente, vicepresidente, tesorero, secretario y un vocal designado por cada módulo de riego".

La presidencia de la junta se ~~es elegida~~ elije en Asamblea General de Usuarios. Hoy en día, está a cargo del Eco. Jaime Pineda, quien ha representado a esta institución desde el 2012 hasta la presente fecha. Actualmente, cuenta con aproximadamente 2000 usuarios y tiene una concesión por parte de la Secretaría del Agua de 1000 l/s.

3.2.Ubicación geográfica

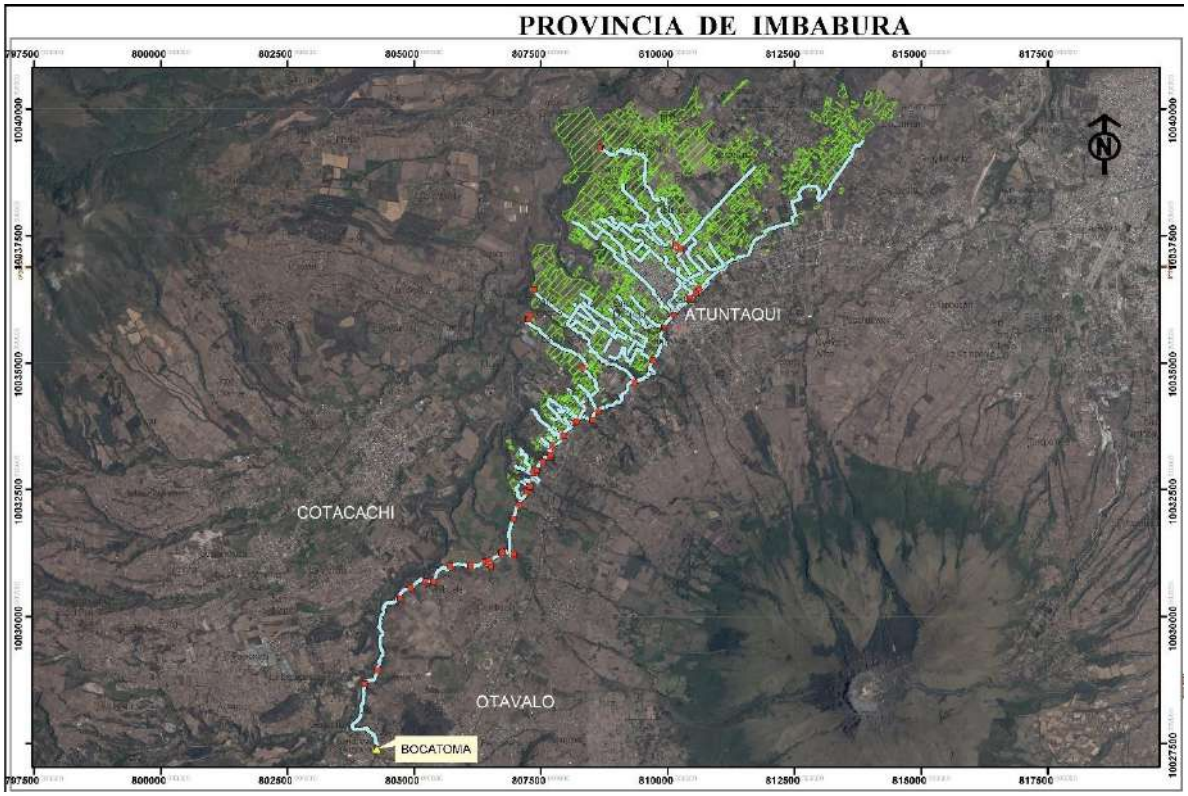
El canal de riego "La Victoria" está ubicado en la provincia de Imbabura, capta su caudal en el cantón Otavalo y atraviesa la vía a Cotacachi, transportando el agua hasta llegar al cantón Antonio Ante, donde se inicia el regadío del territorio beneficiando a las parroquias de: San Roque, Atuntaqui, Andrade Marín, Natabuela y Chaltura.

Sus coordenadas UTM de inicio y final son:

Tabla 14. Puntos referenciales de inicio y final del canal de riego "La Victoria"

	REFERENCIA	LONGITUD	LATITUD
PUNTO INICIAL	Bocatoma	0° 14' 51" N	78° 16' 01" O
PUNTO FINAL	Parroquia Chaltura	0° 21' 19" N	78° 11' 32" O

Figura 12. Canal de riego "La Victoria"



Nota. Tomado de "Plan Nacional de Riego y Drenaje" por MAGAP, 2011.

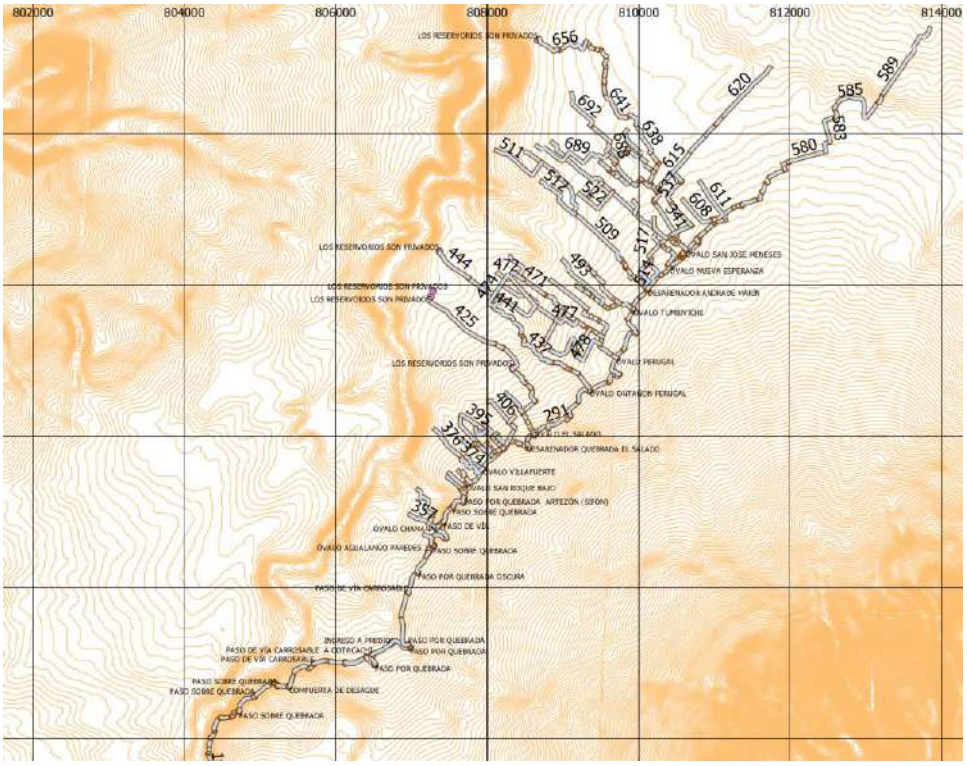
3.3.Topografía

Para conocer la topografía que atraviesa el canal, se contrastó información recopilada del Plan Provincial de Riego y Drenaje y documentos que reposaban en la Junta de Aguas "La Victoria", en el software libre QGIS, detallando curvas de nivel hasta cada 5 m. Así también, se evidenció las características topográficas del sector con un análisis de los modelos de elevación digital disponibles en la plataforma del Servicio Geológico de Estados unidos y en recorridos a lo largo de del canal de riego

En resumen, se observaron elevaciones y depresiones muy marcadas en los 10 kilómetros iniciales, *desde* la captación hasta la vía de ingreso al cantón Cotacachi. Luego, en el cantón Antonio Ante, toda la topografía es llana hasta finalizar su recorrido en la parroquia de Chaltura.

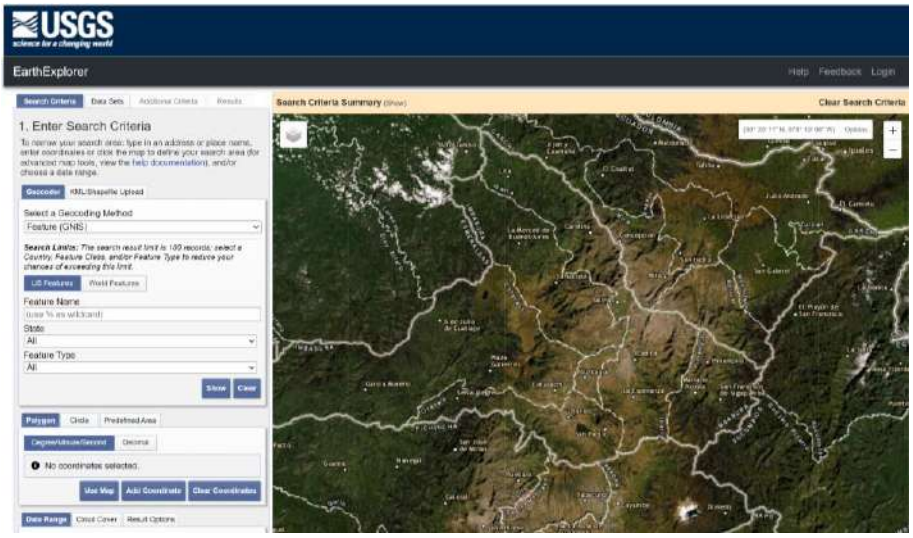
La cota mínima de esta zona es 2006 m.s.n.m. en llanuras y la cota máxima es 3884 m.s.n.m. en el volcán Imbabura.

Figura 13. Curvas de nivel cada 5m en QGIS.



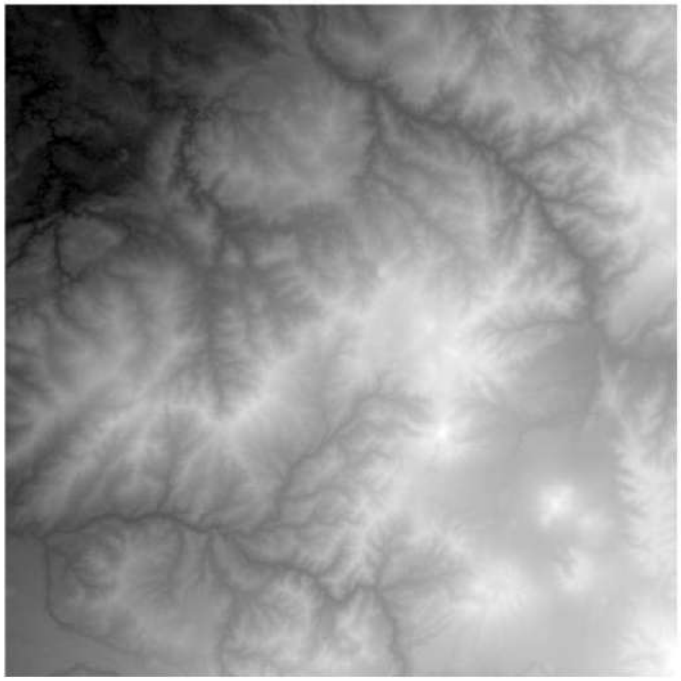
Nota. Adaptado de “Base de datos”, por Consultora Hidrosoft, 2017.

Figura 14. Búsqueda de modelo de elevación digital



Nota. Tomado de “Earth Explorer”, por USGS, 2022.

Figura 15. Modelo de elevación digital de un polígono donde se encuentra el canal



Nota. Tomado de "Earth Explorer", por USGS, 2022.

La información topográfica presentada, se detalla en secciones posteriores de esta investigación donde también fue de utilidad, con la finalidad de que pueda ser utilizada en estudios similares.

3.4. Usuarios

La acequia "La Victoria" presta sus servicios a 1954 usuarios, según el último catastro realizado en el año 2020. Cada beneficiario dispone de un certificado donde consta su horario de riego dos veces al mes. Sirve a alrededor de 1000 hectáreas dentro del cantón Antonio Ante, y se distribuye a cada consumidor a través de óvalos y canales secundarios. Su directorio se reúne una vez al mes y las Asambleas Generales, donde participan usuarios y directiva, para socializar su plan de trabajo y rendir cuentas, se realiza una vez al año, en el mes de diciembre.

Tabla 15. Catastro de usuarios 2020

	CATASTRO DE CONSUMIDORES SEGÚN SUS ÓVALOS, JUNTA DE AGUAS DE LA ACEQUIA LA VICTORIA POR ÓVALO - AÑO 2020	USUARIOS
1	San Roque Uno (Agualongo)	11
2	San Roque Uno (Centro)	150
3	San Roque Dos (San Alfonso)	99
4	San Roque Dos (El Salado)	109
5	Perugal	138
6	Ontanon Perugal	56
7	Santo Domingo	86
8	Tumbibiche	126
9	Centro Uno	67
10	Centro Dos	58
11	Cruz Uno	114
12	Cruz Dos	61
13	San José Alto	9
14	San José Meneses	116
15	Santa Martha	143
16	Santa Rosa	109
17	Lourdes	132
18	Pailatola	143
19	Nueva Esperanza	97
20	El Triunfo Chaltura	130
	TOTAL USUARIOS	**1954**

Nota. Adaptado de “Base de datos”, por Junta de aguas “La Victoria”, 2020.

3.5. Recursos hídricos que aportan al canal

“La fuente natural de donde se obtiene el caudal de la junta es el río Jatunyacu, vertiente: Pacífico, Sistema; río Mira, Cuenca río Mira, Subcuenca río Mira, Microcuenca río Ambi, Provincia de Imbabura; Cantón Otavalo; Parroquia Miguel Egas Cabezas; sector Peguche.

Las coordenadas geográficas del sector de captación son: en longitud 999804,259 m E y en latitud 10.027,395 m N; con una cota de 2490 m.s.n.m; el agua captada riega un área de mil hectáreas regables y beneficia a 2000 consumidores aproximadamente, registrados en el Padrón de Consumidores, ubicados en las Parroquias: San Roque, Atuntaqui, Andrade Marín, Natabuela y Chaltura del Cantón Antonio Ante”. (Junta de aguas de riego "Acequia La Victoria", 2017).

3.6.Área de riego

El sistema de riego “La Victoria” tiene una importante influencia en el cantón Antonio Ante y en la provincia de Imbabura. Son 935,93 hectáreas, las que se cultivan con el agua de riego proveniente de este canal. Esta área está compuesta por pequeñas y medianas parcelas usadas por los anteños para la agricultura y ganadería. Por ello, el canal de riego tiene un fin social y aporta significativamente a la producción y economía de la zona.

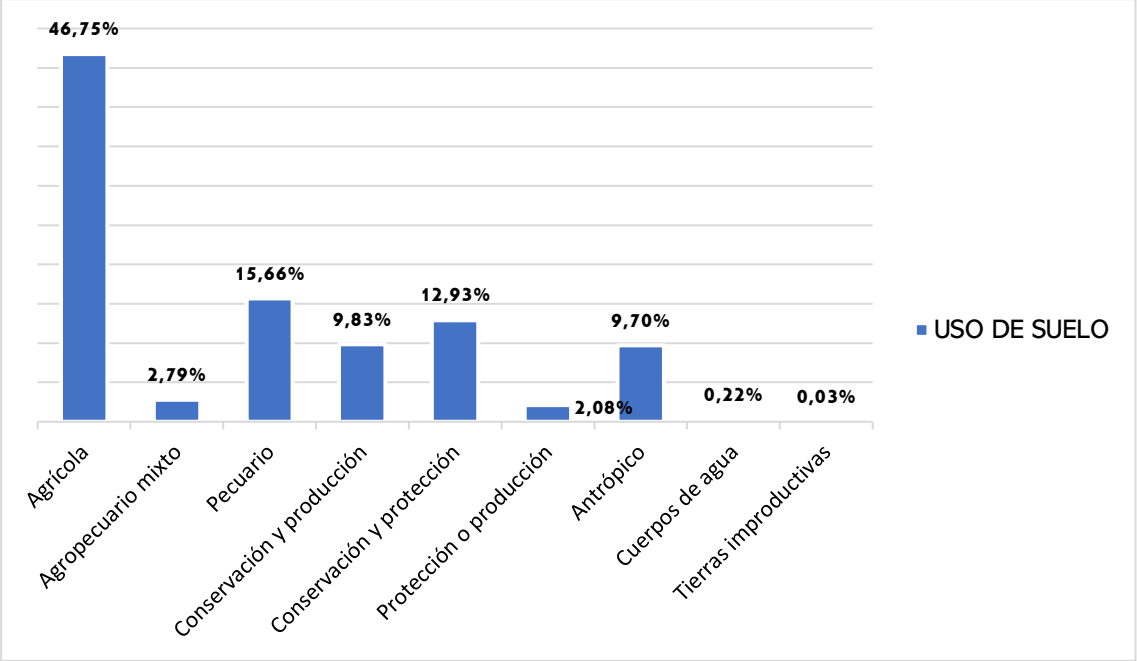
3.7. Uso del suelo

Actualmente el Gobierno Autónomo Descentralizado de Antonio Ante se encuentra analizando una actualización a los últimos estudiados sobre uso y caracterización de la tierra realizados en el año 2013. Dichos estudios realizados por (IEE, 2013), establecen las siguientes unidades de uso en función de las 7926,11 ha. de la superficie cantonal total:

- Agrícola el 46,75% con cultivos de maíz, fréjol, aguacate, cebada, tomate riñón, hortalizas.
- Agropecuario mixto el 2,79% con misceláneos de hortalizas y misceláneos de ciclo corto.
- Pecuario el 15,66% que incluye el pasto cultivado, alfalfa y avena forrajera localizada al norte y sur del cantón.
- Conservación o producción el 9,83% que incluye a la vegetación herbácea y seca muy intervenida localizada al norte del cantón, así como las plantaciones forestales de eucalipto localizadas en todo el cantón en pequeñas unidades.
- Conservación o protección el 12,93%, que incluye remanentes de bosque nativo, matorrales y el páramo ubicado al noreste.
- Protección o producción el 2,08% involucra a las plantaciones forestales de eucalipto
- Antrópico el 9,70% que involucra unidad (IEE, 2013)es como la ciudad y los centros poblados con un crecimiento acelerado.

- Tierras improductivas el 0,03%, en las que es evidente la pérdida del suelo superficial por acciones naturales o por intervención del hombre
- Cuerpos de agua el 0,22%.

Figura 16. Uso de suelo del cantón Antonio Ante.



Nota. Adaptado de "Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a nivel nacional escala 1: 25 000" por Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura , 2013.

3.8. Identificación de cultivos predominantes de la zona

"Los cultivos que ocupan una mayor extensión en el cantón Antonio Ante son: maíz, fréjol, aguacate, cebada, tomate de árbol, caña de azúcar artesanal, misceláneos de hortalizas y misceláneo de ciclo corto" (IEE, 2013).

El maíz es el cultivo de mayor extensión, con un área de 2.464,21 ha. En segundo lugar, está el cultivo de fréjol, con una superficie de 407,85 ha. Después se encuentra el cultivo de aguacate, otra fuente de ingresos para los agricultores que abarca un área de 238,64 ha. Luego, está el cultivo de la cebada, incentivado por convenios público-privados, con una extensión de

aproximadamente 229,44 ha. Para finalizar, otro de los cultivos más representativos es el de tomate de árbol, que dispone de 146,72 ha. (IEE, 2013)

3.9. Características meteorológicas e hidrológicas de la zona

Actualmente se ha podido evidenciar que una de las mayores limitantes para un estudio profundo de las características hidrometeorológicas de una determinada zona en el país es la información disponible. Más aún, cuando la información está digitalizada parcialmente. Sin embargo, se han buscado alternativas para compensar estos inconvenientes.

Mediante el Plan Provincial de Riego de Drenaje se pudo conocer de manera somera el balance hídrico a nivel cantonal, encontrándose el mayor conflicto en el cantón Antonio Ante. Según la *Tabla 16.* en época seca tiene un valor de - 0.22 m3/s y en época lluviosa 0.35 m3/s.

Tabla 16. Balance hídrico

CANTÓN	ANUAL	ÉPOCA SECA (m3/s)	ÉPOCA LLUVIOSA (m3/s)
Antonio Ante	**0,08**	**-0,22**	**0,35**
Ibarra	8,54	3,98	15,2
Cotacachi	30,57	17,67	36,89
Otavalo	2,57	1,93	2,52
Pimampiro	3,76	3,69	3,84
Urcuquí	14,95	2,67	20,88

Nota. Adaptado de "Plan Provincial de Riego y Drenaje de Imbabura 2017-2037", por Prefectura de Imbabura, 2017.

En función de los preocupantes valores para el cantón Antonio Ante, y al existir únicamente información hídrica a nivel de promedios por cantón, se estima importante realizar un modelo hidrológico exclusivamente para una microcuenca que contenga al canal de riego "La Victoria", considerando también que atraviesa el cantón Otavalo, donde además se encuentra la fuente de su caudal, el río Jatunyacu.

3.9.1. Estaciones meteorológicas cercanas

Para determinar las características hidrometeorológicas de la zona, se recurrió al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Se aprovechó la información medida por las estaciones meteorológicas e hidrológicas cercanas al canal y recopilada en los Anuarios Meteorológicos. Sin embargo, fue necesario adquirir datos más específicos, como la precipitación horaria y caudales instantáneos, al tratarse del modelo de un evento. De las estaciones que existen en la provincia de Imbabura, se trabajó con dos, pertenecientes a la cuenca río Mira, que se muestran en la *Tabla 17.*

Tabla 17. Estaciones meteorológicas cercanas

NOMBRE DE ESTACIÓN	CÓDIGO	PROVINCIA	LATITUD	ELEVACIÓN m.s.n.m	LONGITUD
CHOTA EN PTE. CARRETERA	H0015	IMBABURA	0°28'33.84" N	1569.00	78°4'33.36" O
ATUNTAQUI	M0021	IMBABURA	0°21'13"N	2200.00	78°13'39"O

Nota. Adaptado de "Base de datos", por INAMHI, 2022.

3.9.2. Parámetros morfológicos de la microcuenca

Para las características físicas de la microcuenca, se evaluaron dos posibilidades de acuerdo con las fuentes de información:

- Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)

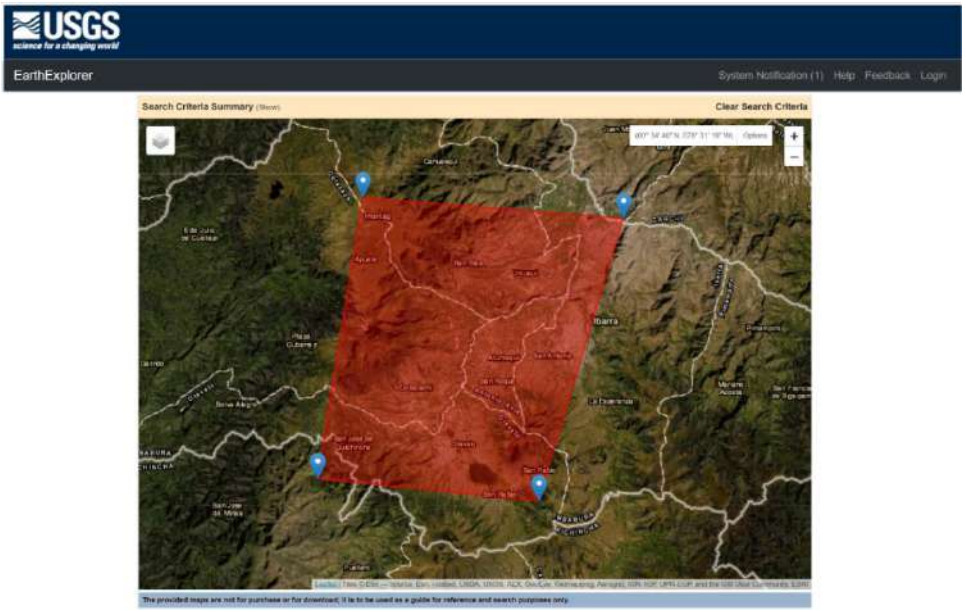
El USGS, en La Misión de Topografía de Radar del Transbordador (SRTM), en el año 2000, participó en un proyecto internacional, junto a otras organizaciones de Estados Unidos, y voló a bordo del transbordador espacial *Endeavour* para adquirir datos de radar que se utilizaron para crear el primer conjunto casi global de elevaciones terrestres.

SRTM recopiló con éxito datos de radar sobre el 80 % de la superficie terrestre de la Tierra entre los 60° latitud norte y los 56° de latitud sur, con puntos aproximadamente cada 30 metros.

Los datos se encuentran en línea y pueden ser descargados de manera gratuita. En la interfaz del sitio web encontramos cuatro pestañas:

1. *Search Criteria:* Aquí se permite visualizar un mapa global donde se podrá marcar un polígono de interés para el usuario y comprobar las coordenadas de sus vértices en un recuadro ubicado en la parte inferior izquierda de la pantalla. En este caso el polígono se definió a través de los conocimientos previos de la ubicación del canal, sobre los cantones Antonio Ante y Otavalo.
2. *Data Sets:* Para este paso, se debe especificar la información que se está buscando y su formato, ya que el sitio web ofrece varias opciones de información geográfica. Con respecto a esta investigación, se busca un modelo de elevación digital (DEM), pues este tipo de archivo es compatible con el software a usarse para la modelación hidrológica HEC – HMS.
3. *Additional Criteria:* En esta etapa se podrán añadir criterios de búsqueda adicionales. Sin embargo, no se requirió para esta investigación.
4. *Results:* Finalmente, en esta pestaña se puede previsualizar el resultado de la búsqueda y se enlaza a una carpeta comprimida donde se encuentra el archivo que se requiere.

Figura 17. Selección del polígono



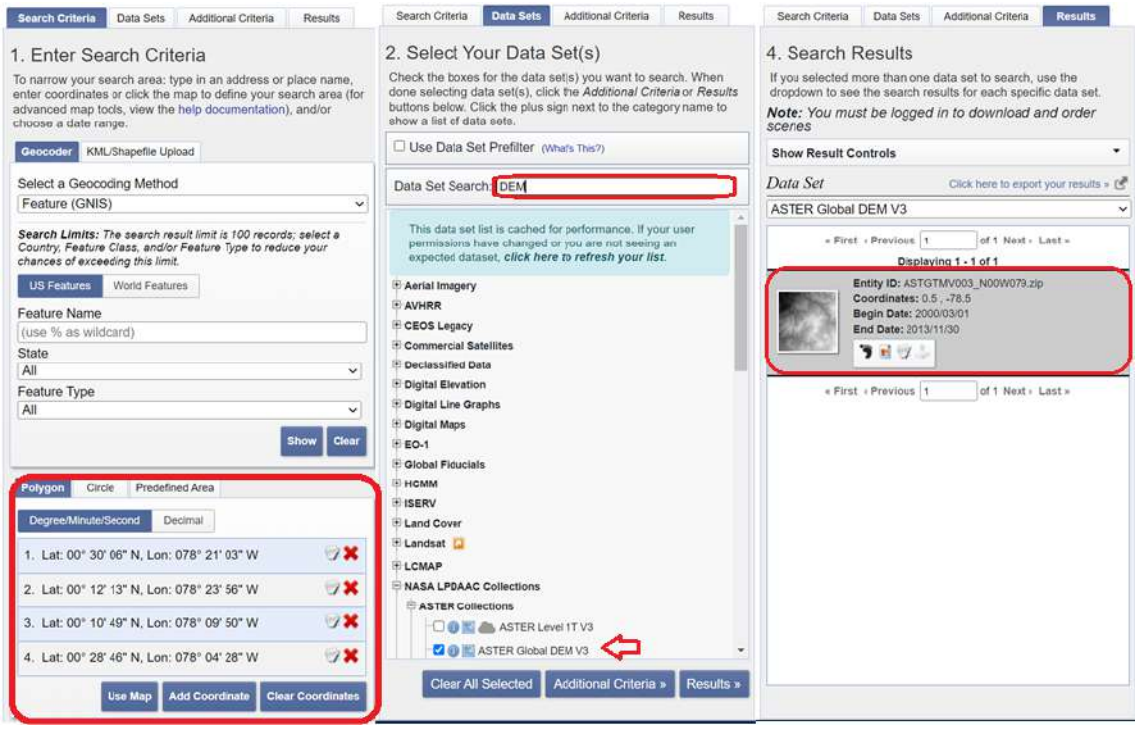
Nota. Tomado de "Earth Explorer", por USGS, 2022.

Figura 18. Ubicación aproximada del canal de riego dentro del polígono



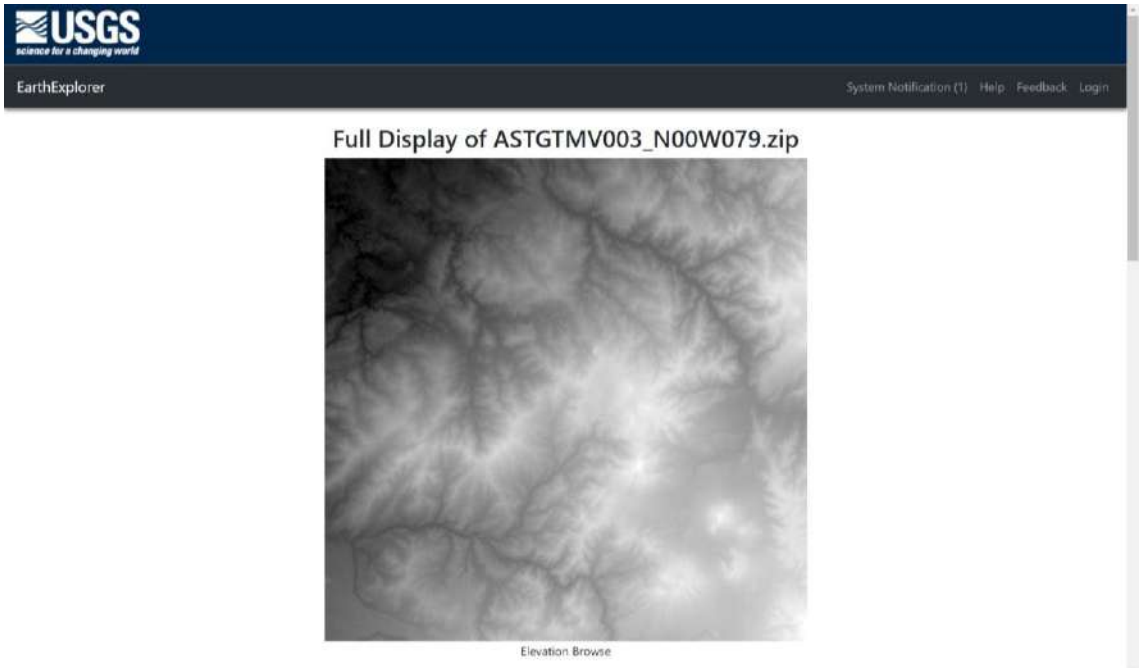
Nota. Tomado de "Earth Explorer", por USGS, 2022.

Figura 19. Pasos que seguir para la descarga de modelo de elevación digital



Nota. Tomado de "Earth Explorer", por USGS, 2022.

Figura 20. Modelo de elevación digital

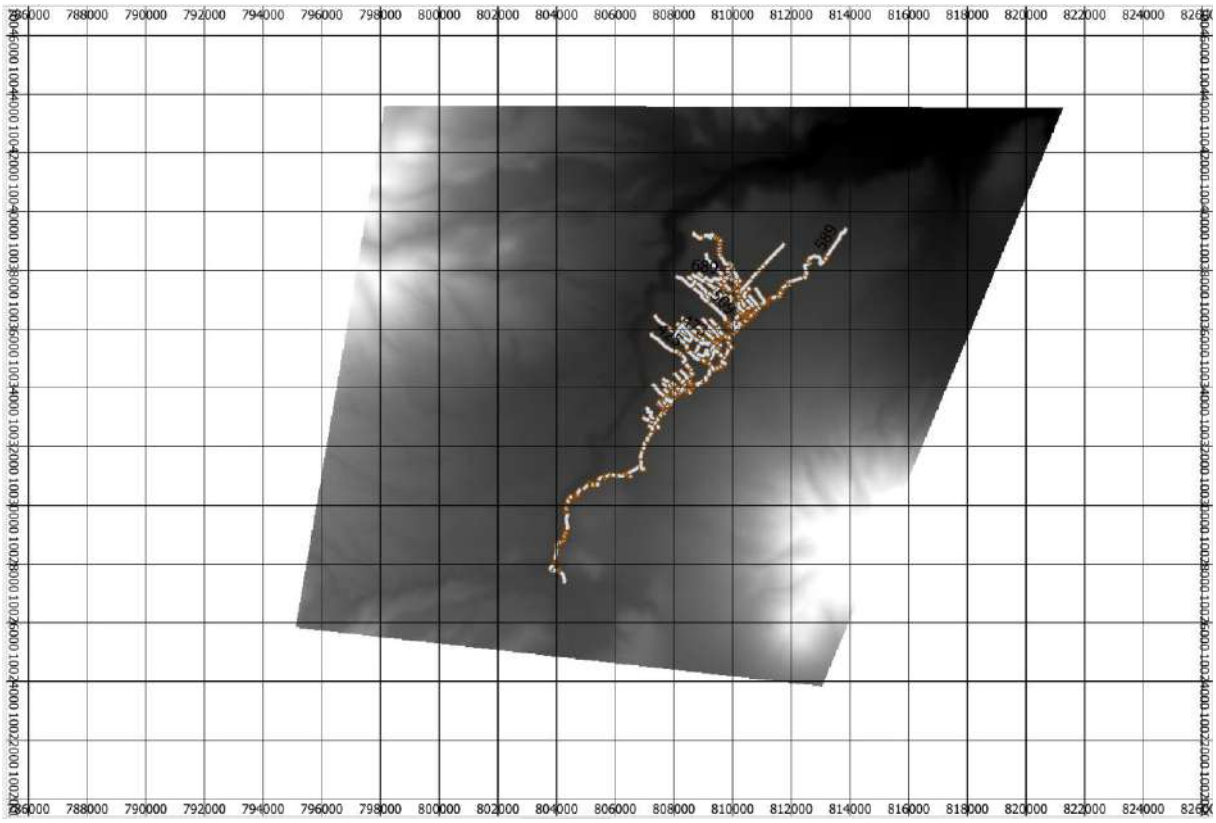


Nota. Tomado de "Earth Explorer", por USGS, 2022.

- Estudios previos

Como segunda alternativa se realizó la búsqueda de investigaciones hidrológicas efectuadas dentro de la cuenca del Río Mira, a la que pertenece el canal de riego. Para ello se visitaron instituciones que podían aportar con información relevante como la Junta de Aguas “La Victoria”, Instituto Geográfico Militar, Prefectura de Imbabura y el Ministerio de Agricultura Acuacultura y Pesca. En base a toda la información recolectada, se logró construir un modelo de elevación digital (DEM), de un polígono que contiene todo el recorrido del canal y fue procesado en el software QGIS para cotejarlo con más datos que aportaron a la representación de las características de la microcuenca.

Figura 21. Modelo de elevación digital de estudios previos



Nota. Tomado de QGIS, 2022.

Luego del análisis de ambas opciones, se decidió usar el (DEM) basado en estudios previos por la compatibilidad de los datos.

3.9.3. Precipitación

Dentro del modelo hidrológico, y los parámetros de entrada que este requiere, se consideró a la precipitación como el punto de partida, pues es una fase clave en el ciclo hidrológico para conocer y cuantificar el agua que llega a la superficie terrestre, y puede ser aprovechada. Además, fue uno de los datos que se pudo conseguir con menor dificultad. A continuación, se presenta la *Tabla 18,* con la media de las precipitaciones mensuales para el período 2010-2021:

Tabla 18. Promedio mensual de precipitaciones

	PROMEDIO MENSUAL DE PRECIPITACIONES (mm)											
CÓDIGO	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**
M0021	58,1	59,1	74,1	87,9	85,1	28,1	17,1	12,4	20,8	55,6	75	65,9

Nota. Adaptado de "Base de datos", por INAMHI, 2022.

Con la finalidad de ejecutar un modelo de evento, se solicitó también uno de los eventos más relevantes del año 2015, período más actual disponible en el archivo digital del INAMHI. Se analizó la precipitación total diaria, en intervalos de una hora, durante los 7 días de mayores precipitaciones en el mes de abril (desde las 0:00 ,12 de abril del 2015 – hasta las 23:00, 18 de abril del 2015) y se muestra a continuación en la *Tabla 19*:

Tabla 19. Precipitación total diaria

	PRECIPITACIÓN TOTAL DIARIA (mm)						
CÓDIGO	12/4/2015	13/4/2015	14/4/2015	15/4/2015	16/4/2015	17/4/2015	18/4/2015
M0021	0	10	10,8	0	17	20,8	9,2

Nota. Adaptado de "Base de datos", por INAMHI, 2022.

3.9.4. Caudal

Para este parámetro, a diferencia de los demás, se necesitó recabar los datos de una estación hidrológica. No obstante, se procuró que la estación hidrológica pertenezca a la misma cuenca, y las especificaciones estén alineadas las de precipitación. Por tal motivo, se solicitó a la institución competente los datos para el mismo evento destacado de precipitación en año 2015,

(desde las 0:00 ,12 de abril del 2015 – hasta las 23:00, 18 de abril del 2015). Se muestra a continuación la *Tabla 20.* a manera de resumen y se anexan los detalles de esta:

Tabla 20. Caudal medio diario.

	CAUDALES MEDIOS DIARIOS (m3/s)						
CÓDIGO	12/4/2015	13/4/2015	14/4/2015	15/4/2015	16/4/2015	17/4/2015	18/4/2015
H0015	58,45	33,67	26,8	30,37	25,23	28,72	29,12

Nota. Adaptado de "Base de datos", por INAMHI, 2022.

3.9.5. Temperatura

De manera más general, respecto a los datos mostrados anteriormente, se obtuvieron los valores de este parámetro en promedios mensuales de temperatura para el período 2010-2021 y se presentan en la *Tabla 21.*:

Tabla 21. Promedio mensual de temperatura.

	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (mm)											
CÓDIGO	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**
M0021	15,4	15,3	15,5	15,5	15,6	15,6	15,5	15,6	15,7	15,5	15,3	15,4

Nota. Adaptado de "Base de datos", por INAMHI, 2022.

3.9.6. Evapotranspiración potencial

Del mismo modo, en la *Tabla 22.,* se muestra las evapotranspiraciones medias mensuales para el período 2010-2021.

Tabla 22. Evapotranspiración Potencial Mensual

	EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL MENSUAL (mm)											
CÓDIGO	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**
M0021	59,4	53,7	61,1	59,7	61,8	59,5	61,0	61,6	60,2	60,9	58,5	60,0

Nota. Adaptado de "Base de datos", por INAMHI, 2022.

CAPÍTULO IV: DIÁGNOSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA

4.1. Localización de puntos de descarga

Para definir el tramo crítico se efectuó un recorrido por todo del canal de riego “La Victoria”. Se evidenciaron varias descargas de viviendas al canal, que aparentemente contaminarían el agua. Dichas descargas no poseen autorización y en su mayoría, estos cuerpos de agua contienen aguas servidas y desechos que provienen de actividades domésticas y de crianza de animales, de acuerdo con altas concentraciones en parámetros como coliformes fecales en estudios realizados en por PUCESI (2017), expuestos y contrastados con resultados actuales obtenidos en esta investigación en la sección *4.5.1. Comparación de resultados 2017 vs 2021*.

Los dos parámetros utilizados para seleccionar un tramo crítico, dentro del canal principal, fueron:

- Nro. de descargas
- Longitud del tramo

De esta manera, se determinó que el tramo crítico se encuentra en la parroquia de San Roque. Se detalla su ubicación a continuación:

Tabla 23. Coordenadas de inicio y fin del tramo crítico

	LATITUD	**LONGITUD**
Punto de Inicio	0°18’01’’N	78°14’08’’O
Punto Final	0°18’27’’N	78°13’49’’O

Figura 22. Tramo crítico – Sector San Roque, Imbabura.



Nota. Tomado de Google Earth, 2022.

Existen varias viviendas aledañas al canal principal que poseen conexiones clandestinas y descargan aguas servidas y desechos de actividades pecuarias como la crianza de ganado porcino y ovino. El sector de mayor conflicto, como se mencionó anteriormente, es el tramo que atraviesa la parroquia de San Roque, donde se han identificado más de 19 conexiones de viviendas al canal. Cabe recalcar, que esta zona ya posee alcantarillado, pero algunas de estas conexiones al canal siguen siendo utilizadas. Como resultado de la inspección visual y levantamiento de información de las descargas al canal de riego en el tramo crítico, se presenta la siguiente información:

Tabla 24. Levantamiento de puntos descargas contaminantes

N°	COORDENADAS		DESCRIPCIÓN	POSIBLE PROCEDENCIA
1	0°18'01" N	78°14'08" O	Orificio en pared aledaña	Vivienda
2	0°18'03" N	78°13'60" O	Orificio en pared aledaña	Vivienda
3	0°18'04" N	78°13'59" O	Orificio en pared aledaña	Crianza de porcinos
4	0°18'04" N	78°13'59" O	Orificio en pared aledaña	Crianza de porcinos
5	0°18'04" N	78°13'59" O	Orificio en pared aledaña	Crianza de porcinos
6	0°18'04" N	78°13'59" O	Tubería PVC	Crianza de porcinos

7	0°18'05" N	78°13'58" O	Tubería PVC	Crianza de animales
8	0°18'04" N	78°13'58" O	Tubería PVC	Crianza de animales
9	0°18'04" N	78°13'56" O	Tubería PVC	Vivienda
10	0°18'04" N	78°13'56" O	Tubería PVC	Vivienda
11	0°18'04" N	78°13'56" O	Tubería PVC	Crianza de animales
12	0°18'04" N	78°13'56" O	Tubería PVC	Crianza de animales
13	0°18'04" N	78°13'56" O	Tubería PVC	Crianza de animales
14	0°18'07" N	78°13'53" O	Orificio en pared aledaña	Vivienda
15	0°18'08" N	78°13'52" O	Tubería PVC	Vivienda
16	0°18'08" N	78°13'52" O	Tubería PVC	Vivienda
17	0°18'13" N	78°13'48" O	Orificio en pared aledaña	Vivienda
18	0°18'15" N	78°13'47" O	Orificio en pared aledaña	Vivienda
19	0°18'20" N	78°13'43" O	Orificio en pared aledaña	Vivienda

Figura 23. Plano de localización de descargas contaminantes



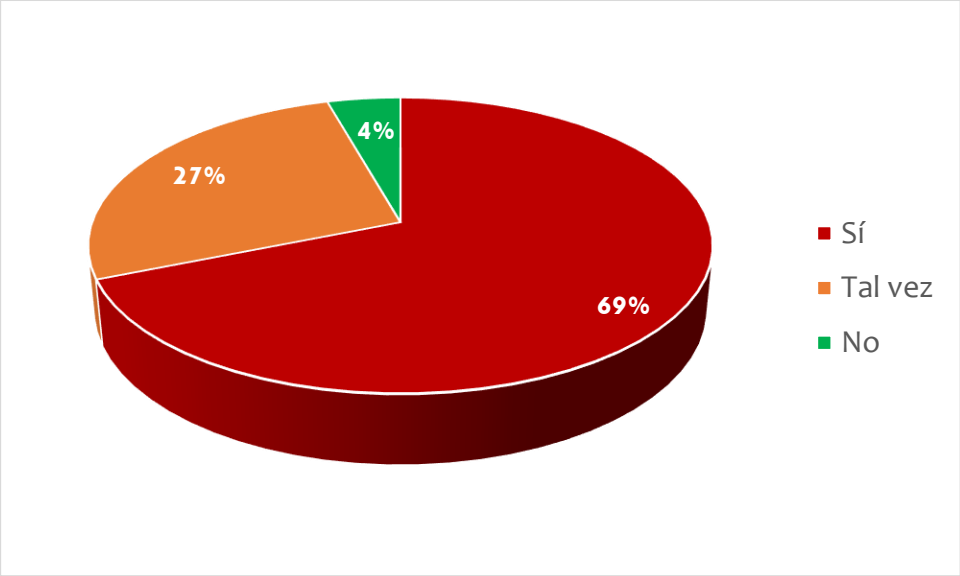
Nota. Tomado de Google Earth, 2022.

4.2. Entrevista a usuarios

Ante la preocupación sobre la calidad del agua del canal “La Victoria”, se realizaron encuestas vía telefónica durante el mes de octubre del 2021 a los usuarios de la acequia, para conocer su percepción con respecto a la posible contaminación del agua. Se trabajo con una muestra de 45

encuestados de la población total de 1954 usuarios del canal, según el último catastro disponible en la Junta de Aguas “La Victoria”. De esta manera, se estimó un margen de error del 15% y se adjuntan dentro de *Anexos* los respaldos correspondientes junto a todos los resultados. Una de las preguntas realizadas fue *“¿Cree usted que el agua del canal de riego "La Victoria*"?”, los resultados de esta evidencian que un 69% de los encuestados considera que el agua de riego sí está contaminada. Existe un 27% de los encuestados que posee incertidumbre con respecto a la calidad del agua y apenas un 4% expresó que piensa que el agua que fluye a través del canal no estaría contaminada.

Figura 24. Percepción de la contaminación del agua del canal “La Victoria”



Adicionalmente, se visitó el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Imbabura (GADP – I), entidad competente en temas de control ambiental y riego, para tener más información de la problemática. Dentro del Plan Provincial de Riego y Drenaje, realizado por la Prefectura, para los años 2017 – 2037, también se evaluó la percepción sobre la calidad de agua de riego a nivel provincial mediante encuestas. Los resultados obtenidos en estas encuestas muestran que un 15% de los encuestados cree que la afectación de los cursos de agua en la provincia se debe a descargas de aguas negras, que son aquellas con contaminación fecal.

También existe, a criterio de los encuestados, un considerable porcentaje de descargas de aguas grises e industriales.

Por otra parte, se pudo mantener una conversación con el Ing. Jorge Arturo Castro, miembro de la Dirección General de Ambiente de la Prefectura, donde expresó que no se dispone de información actual acerca de las descargas que ocurren a lo largo del canal de riego. El Ing. Castro recomendó identificar los tramos aparentemente más contaminados, previo al análisis de muestras para evaluar la calidad del agua en el laboratorio. Finalmente, manifestó que han existido avances significativos al exigir que grandes textileras como Fabrinorte Cía. Ltda., den el tratamiento respectivo a sus aguas residuales. Sin embargo, añadió que se presume que aún existe contaminación por descargas al canal de textileras más pequeñas que operan de forma clandestina.

Con la finalidad de confirmar las sospechas de la población sobre la contaminación de agua de riego, se realizarán ensayos de laboratorio con muestras de diferentes puntos de cursos del canal en etapas posteriores de esta investigación.

4.3.Identificación y evaluación de descargas.

Ante los potenciales riesgos de contaminación expresados tanto por los usuarios y la directiva del canal de riego “La Victoria”, como por profesionales de GADP – I, en el transcurso de este estudio, se consideró necesaria una investigación más profunda acerca de los posibles factores que intervienen en la calidad del agua del canal y se detallan a continuación:

4.3.1. Descargas domésticas en el canal

Después de haber recorrido el sector, se constató que varias de las conexiones directas al canal aparentemente ya no se usan. Sin embargo, persiste la instalación de tubería o un orificio que podrían ser utilizados eventualmente. El principal motivo para que las viviendas aledañas ya no descarguen sus aguas servidas a la acequia, es que el municipio ha concluido con el

alcantarillado y ahora los moradores disponen de este servicio. Además, se sospechaba que las descargas contienen desechos de la crianza de animales, pero esta actividad es cada vez menos frecuente debido al proceso de urbanización de la zona. Se anexan fotografías donde se puede observar el estado de las conexiones que dan al canal.

Imagen 1. Descargas contaminantes al canal.



Imagen 2. Descargas contaminantes al canal.



Imagen 3. Descargas contaminantes al canal.



4.3.2. Descargas de aguas servidas en el río Jatunyacu

En la revisión bibliográfica se encontró que el río Jatunyacu, fuente del agua del canal, recibía las descargas de aguas servidas de la ciudad de Otavalo para llegar finalmente al río Ambi.

Como antecedentes, cabe indicar que el Municipio de Otavalo años atrás había tomado medidas para disminuir la contaminación de los ríos que actúan como cuerpos receptores de aguas residuales y que a su vez proveen de agua al canal de riego “La Victoria”.

Es así, que se consideró entrevistar al Ing. Pablo Paredes Santamaría, funcionario de EMAPA-O, quién supo manifestar que en el año 2017 se desarrolló un proyecto de alcantarillado mixto, encauzamiento de aguas lluvias y protección de laderas para la ciudad. Los procesos de recolección y el tratamiento de aguas residuales han sido ejecutados la tercera parte del proyecto total, lo que representa el tratamiento de 100 litros por segundo de aguas residuales y actualmente evitan la descarga directa de aguas residuales al cuerpo hídrico de donde capta agua el canal de riego “La Victoria”.

El objetivo al finalizar la obra es tratar hasta 300 litros por segundo de aguas residuales y prácticamente descontaminar los ríos y quebradas de la ciudad con interceptores y colectores marginales que lleven el agua residual hasta la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) “La Fuente de la Salud” de la ciudad Otavalo.

Imagen 4. Visita a la PTAR "La Fuente de la Salud"



La PTAR "La Fuente de la Salud" es la principal planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Otavalo. Se encuentra ubicada en el Sector de San Eloy, aguas abajo de la captación de agua para riego de la acequia "La Victoria". Existen cinco cribas a lo largo del recorrido del agua a la PTAR que separan el material grueso, basura y sólidos. Después, el agua pasa a los desarenadores y posteriormente, ingresa a tanques Imhoff, tubería de purga de lodos y lechos de secado. Actualmente "La Fuente de la Salud" se encuentra trabajando permanentemente en la depuración del agua residual de la ciudad.

Imagen 5. Limpieza de desarenadores PTAR "La Fuente de la Salud"



4.3.3. Descargas de industrias textiles de Fabrinorte Cía. Ltda. en el río Jatunyacu

Fabrinorte Cía. Ltda., es una empresa textil ubicada en el cantón Otavalo, con una /producción de 100 toneladas mensuales de tela. Realizan actividades relacionadas a la tejeduría, tintorería y acabados.

Imagen 6. Tintorería de Fabrinorte Cía. Ltda.



Hace aproximadamente una década la empresa empezó a trabajar en el manejo responsable del agua residual textil. Se construyó una planta de tratamiento de aguas residuales físico química, para reducir los niveles de contaminación del agua antes de ser descargada en cuerpos hídricos. Uno de estos cuerpos hídricos era la quebrada Cuscungo, que desembocaba en el río Jatunyacu. Sin embargo, actualmente se han concretado trabajos de alcantarillado que permiten llevar estas descargas a un tratamiento adicional por parte del GADM de Otavalo.

Conscientes de los beneficios que traería el tratamiento del agua a la comunidad, Fabrinorte Cía. Ltda. realizó una importante inversión adquiriendo una moderna planta de tratamiento biológica. Ésta mejoraría significativamente la calidad del agua y les permitiría cumplir con los requerimientos de las autoridades de control ambiental.

Tabla 25. Inversión de planta de tratamiento de Fabrinorte Cía. Ltda.

DETALLE	COSTO $
Infraestructura Planta de Tratamiento Hidrosistem	299.269,39
Obra Civil – Instalación	176.692,60
Costo mensual promedio de operación	25.501,55

Nota. Adaptado de "Planta de Tratamiento Biológica PTAR", por Indutexma Textiles, 2020.

Es así como, en el año 2018, el Gobierno Provincial de Imbabura, mediante resolución GPI-2018-009607, en calidad de Autoridad Ambiental Competente, confirió la licencia ambiental a la empresa. La certificación se otorga luego de verificar el cumplimiento de iniciativas y mecanismos amigables con el medio ambiente, tales como el tratamiento adecuado del agua residual. (Yaku Company, 2017).

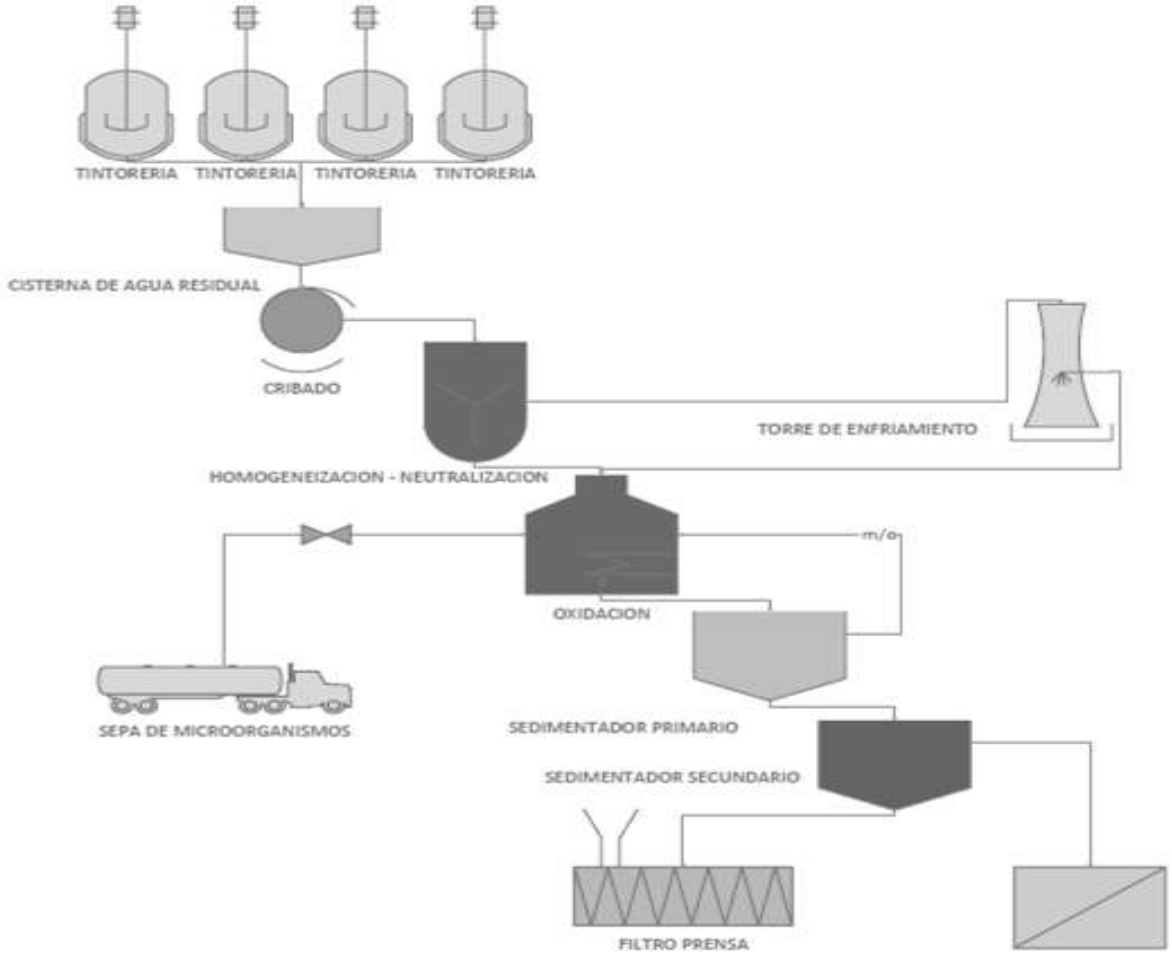
Imagen 7. Planta de tratamiento biológica de Fabrinorte Cía. Ltda.



Nota. Tomado de "Planta de Tratamiento Biológica PTAR", por Indutexma Textiles, 2020.

Las descargas líquidas no domésticas de Fabrinorte Cía. Ltda., actualmente pasan por un proceso de tratamiento biológico aerobio, el proceso se basa en el uso de bacterias y microorganismos que descomponen la materia orgánica contaminante. En la *Figura 25*, se puede analizar el esquema de los procesos de tratamiento que lleva a cabo la empresa

Figura 25. Esquema de tratamiento de aguas residuales de Fabrinorte Cía. Ltda.



Nota. Adaptado de "Planta de Tratamiento Biológica PTAR", por Indutexma Textiles, 2020.

Una vez que las tintorerías finalizan su ciclo de funcionamiento, el agua residual fluye a través de un canal, hacia una cisterna de agua residual e inician las primeras acciones para descontaminar el agua, como son:

- Cribado

Separa los residuos sólidos que se puedan encontrar en la corriente, para evitar la obstrucción y sedimentación en las etapas sucesivas. En este punto el tipo de flujo que atraviesa el canal es laminar.

Imagen 8. Sistema de cribado de Fabrinorte Cía. Ltda.



- Almacenamiento y Homogenización

Estas operaciones se llevan a cabo mediante dos bombas de 10HP, para que la alimentación en la etapa de oxidación sea lo más regular posible en cuanto a cantidad y carga contaminante.

Imagen 9. Tanque de homogenización de Fabrinorte Cía. Ltda.



- Neutralización

Con el fin de regular y mantener un pH estable en un rango de 7 a 8.

- Oxidación Biológica

Se realiza en un tanque con blowers de aire comprimido, en el que actúan microorganismos aerobios sobre la carga contaminante.

Imagen 10. Tanque de oxidación de Fabrinorte Cía. Ltda.



- Sedimentación primaria

En esta fase se clarifica el agua a la salida del tanque de oxidación al decantador, permitiendo la acumulación del lodo activado en el fondo del tanque y su recirculación al tanque de oxidación.

- Sedimentación secundaria

Además del tratamiento biológico se adiciona productos químicos para eliminar color de efluente.

- Filtración

En el último paso, el lodo sedimentado ingresa a presión al filtro prensa en donde se compacta el lodo a través de placas. El lodo compacto es almacenado para su posterior gestión y el efluente tratado se descarga. Como resultado se obtienen aproximadamente 12 m^3 diario por turno de lodo.

Imagen 11. Filtro prensa de Fabrinorte Cía. Ltda.



- Monitoreo

Además, la empresa cuenta con su propio laboratorio donde se analizan parámetros como DQO, pH, temperatura, conductividad, sólidos, microorganismos, para un control diario exigido por la licencia ambiental.

Imagen 12. Laboratorio de calidad de agua en Fabrinorte Cía. Ltda.



Conforme establece el Plan de Manejo Ambiental, se realiza monitoreos semestrales, con laboratorios acreditados por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano. De los resultados obtenidos, los parámetros cumplen la normativa, con valores que se encuentran considerablemente por debajo de los límites máximos, sobre todo en los parámetros principales que determinan la calidad del agua como son DBO5, DQO, SST, pH, Temperatura y otros metales pesados.

En una entrevista realizada a los técnicos encargados, y expuesta a continuación, se manifestó que los únicos valores que exceden los límites exigidos en el Plan de Manejo Ambiental son en los parámetros de Sólidos Disueltos Totales y niveles de Dureza, debido a que en varios procesos se aplican productos que contienen sales y electrolitos. Pues a pesar de la considerable inversión realizada, se requeriría adquirir una serie de equipos a un costo extremadamente elevado para remediar estas alteraciones en el agua, mediante un proceso de osmosis inversa.

Por ello, después de conversaciones con la autoridad competente, se consideró la flexibilización de la evaluación de estos dos parámetros.

Luego de la visita técnica a la planta de producción de Fabrinorte Cía. Ltda, fue posible conversar con el Ing. Andrés Zaldumbide, encargado de todo el proceso de tratamiento del agua residual de los procesos textiles de la empresa.

Supo manifestar que la mayoría del volumen de agua a tratarse proviene del proceso de tinturación. Se dispone aproximadamente de 15 máquinas de tintorería para tela e hilos con diferente capacidad y destinadas a telas como: algodón, poliéster, poli algodón, nylon, etc. Es así que, el caudal que se trata diariamente es de 900 $m^3/día$.

Uno de los puntos claves de la entrevista, que mencionó la Ing. Belén Quinchiguango, técnica ambiental de la empresa, fue que apenas en el año 2020 se pudo concluir con los trabajos de alcantarillado, lo que permitió transportar las aguas residuales de la empresa a la PTAR "La Fuente de la Salud". Cabe recordar, que antes de este suceso, las descargas se realizaban directamente en la quebrada Cuscungo, que derivaba en el río Jatunyacu.

Entre las metas a futuro, está la disposición de lodos, producto del tratamiento del agua residual textil. La Ing. Quinchiguango, informó que este tipo de desechos son considerados comúnmente como peligrosos, por sospechas de contener metales pesados al usar determinados colorantes en los procesos de tinturación. Sin embargo, la empresa ha realizado un proceso de evaluación donde se descartó la presencia de metales pesados y le permitió recategorizar estos desechos como especiales, por la cantidad de lodos que genera Fabrinorte Cía. Ltda. Existe la posibilidad de que los mismos puedan ser reutilizados, para ello, se debe ejecutar nuevamente el proceso de recategorización, y obtener la calificación de desechos comunes. De esta manera, podrán ser descargados y utilizados como compostaje. Actualmente se los deposita en un predio de la empresa fuera de la ciudad y se calcula que aproximadamente se producen 12 $m^3\ por\ turno$.

Finalmente, manifestaron que la empresa pretende seguir ampliando la planta de tratamiento debido al crecimiento de la fábrica textil.

Figura 26. Esquema de ubicación de potenciales contaminantes del canal



Nota. Adaptado de Google Earth, 2022.

4.4.Muestreo y análisis físico, químico y microbiológico del agua

Para recabar datos concretos sobre la calidad del agua, el Plan de Muestreo se basó en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 2169 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.: (INEN, 2013) siguiendo las siguientes recomendaciones:

Tabla 26. Técnicas generales para la conservación de muestras.

PARÁMETRO	TIPO DE RECIPIENTE	VOLUMEN Y TÉCNICA DE ENVASADO (ml)	TÉCNICA DE PRESERVACIÓN	TIEMPO MÁXIMO DE PRESERVACIÓN	COMENTARIOS
pH	P o V	100	Se enfría a 1°C y 5°C	6h	La prueba debe llevarse a cabo tan pronto como sea posible y, preferiblemente, inmediatamente en el lugar después del muestreo
Sólidos Disueltos Totales	P o V	100	Se enfría a 1°C y 5°C	24h	Preferiblemente llevar a cabo en el campo. Mantener muestras almacenadas en la oscuridad
Turbiedad	P o V	100	Se enfría a 1°C y 5°C	24h	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	P o V	100	Se enfría a 1°C y 5°C	24h	Mantener muestras almacenadas en la oscuridad
Coliformes Totales	P o V	100	Se enfría a 1°C y 5°C	24h	
Coliformes Fecales	P o V	100	Se enfría a 1°C y 5°C	24h	
Parásitos (Nematodos intestinales)	P o V	1000	Se enfría a 1°C y 5°C	24h	

Nota. Adaptado de "Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras", por INEN, 2013.

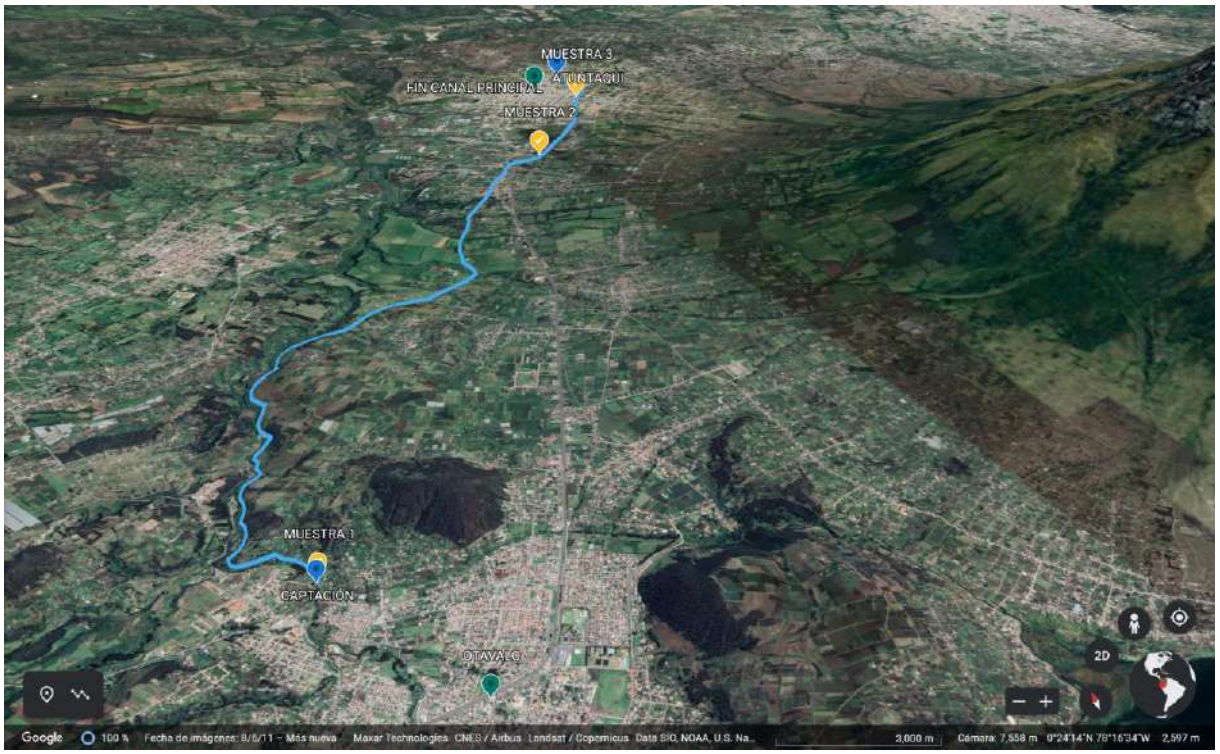
Para poder realizar un análisis más representativo de la calidad del agua, se tomaron seis muestras de agua, tres de ellas en invierno, el 22 de noviembre del 2021 y otras tres muestras en verano, el 08 de junio de 2022. La selección de los puntos de muestreo fue determinando visualmente los puntos de mayor contaminación que equidisten uno del otro para conocer la variación en la calidad del agua a los largo del canal :

- Punto 1: Bocatoma (Cotama, Otavalo, Imbabura)
- Punto 2: Posterior al tramo crítico (San Roque, Antonio Ante, Imbabura)
- Punto 3: Posterior a otro centro poblado (Atuntaqui, Antonio Ante, Imbabura)

Tabla 27. Coordenadas UTM de las muestras

MUESTRA	PARROQUIA	COORDENADAS UTM	
		X	Y
P1	Otavalo	803962	27777
P2	San Roque	808629	34023
P3	Andrade Marín	810557	36363

Figura 27. Esquema de localización de puntos de muestreo



Nota. Tomado de Google Earth, 2022.

Las muestras fueron simples, tomadas de manera puntual en los sitios indicados anteriormente tanto en época lluviosa como en época seca. Se recolectó aproximadamente 2000 ml por muestra, volumen recomendado en Laboratorio EMAPA-I y 4000 ml para los ensayos realizados en el laboratorio privado Alfanalítica.

Los equipos utilizados fueron: envase ámbar, cooler, GPS. Las condiciones de refrigeración fueron a través del simple enfriamiento (en baño de hielo a temperaturas entre 2°C y 5°C) y el almacenamiento en un lugar obscuro, para conservar la muestra durante su traslado al laboratorio y por un corto período de tiempo antes del análisis.

Se transportó las muestras inmediatamente. El tiempo de viaje desde el sitio de muestreo hacia el laboratorio fue de aproximadamente 30 minutos. Es decir, no excedió al tiempo máximo de conservación recomendado antes del análisis.

A continuación, se presentan los resultados de las muestras de agua tomadas y analizadas en el laboratorio de EMAPA – Ibarra Y Alfanalítica.

4.5. Comparación de resultados de calidad del agua con estándares vigentes

Tabla 28. Comparación de resultados actuales con estándares TULSMA

FECHA DE MUESTREO	PARÁMETROS	UNIDAD	P1	P2	P3	MÁX	OBS.
22/11/2021 (Invierno)	pH	upH	7,52	7,78	8,06	6-9	Sí cumple
	Solidos Disueltos Totales	mg/l	195	190	184	3000	Sí cumple
	Turbiedad	UNT	44	45	40		No cumple
	DBO5	mg/l	12	6	4	30	Sí cumple
	Coliformes totales	UFC/100 ml	92	54	67	1000	Sí cumple
08/06/2022 (Verano)	Coliformes fecales	UFC/100 ml	500	33	26	1000	Sí cumple
	Parásitos (Nematodos intestinales)	-	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Sí cumple

Una vez realizados los análisis físicos, químicos y microbiológico de laboratorio, los valores obtenidos en los parámetros: pH, Sólidos Disueltos Totales, DBO5, Coliformes totales, Coliformes fecales y Presencia de huevos de parásitos (nematodos intestinales) cumplen con

los valores establecidos para garantizar la calidad del agua de riego o de uso agrícola en la Norma TULSMA Libro VI, Anexo 1.

Los valores de turbiedad exceden el límite máximo permisible por TULSMA (2015) en todas las muestras tomadas en época lluviosa. No obstante, en estudios como "Water quality assessment: surface water sources used for drinking and irrigation in Zaria, Nigeria are a public health hazard" de (Chigor, y otros, 2012), se demuestra que la turbiedad registra valores más altos en los meses de la temporada de lluvia, como sucede en esta investigación. Esto podría atribuirse al hecho de que la turbiedad es causada no solo por la presencia de microorganismos en el agua, sino también de partículas como arcilla, limo y partículas coloidales. Este escenario se refleja en las muestras, que serían afectadas por las partículas de suelo de la fuerte erosión del canal, en tramos en los que no se posee revestimiento o están expuestos a escorrentías superficiales como los sitios donde se recolectaron las muestras. Finalmente, esta situación podría haber afectado también a los valores de DBO, pues es un parámetro que depende en gran medida de la dilución del agua y ello a su vez depende del caudal, que puede variar de acuerdo con las condiciones climáticas.

4.5.1. Comparación de resultados 2017 vs 2021

En la presente investigación se encontró un estudio sobre calidad del agua del canal de riego "La Victoria", realizado por PUCESI (2017), titulado "Propuesta de un Sistema de Tratamiento para Mejorar la Calidad de Agua de Riego de la Acequia "La Victoria", Ubicada en el Cantón Antonio Ante".

Aprovechando este documento se realizó un análisis comparativo, en condiciones similares, como las mismas épocas (época lluviosa/época seca) y en puntos cercanos:

Tabla 29. Coordenadas de muestras 2017

MUESTRA	PARROQUIA	COORDENADAS UTM	
		X	Y
p1	Otavalo	804244	27302
p2	San Roque	808629	34028
p3	Andrade Marín	810490	35776

Nota. Adaptado de "Propuesta de un Sistema de Tratamiento para Mejorar la Calidad de Agua de Riego de la Acequia "La Victoria", Ubicada en el Cantón Antonio Ante.", por PUCESI, 2017.

Al realizar la comparación de las muestras tomadas con los datos del estudio del 2017, se puede observar un mejoramiento en la calidad del agua, expresada en los siguientes parámetros:

Tabla 30. Comparación de muestras tomadas en 2017 vs 2021

		MUESTREO 2017			MUESTREO 2021				
PARÁMETROS	UNIDAD	p1	p2	p3	P1	P2	P3	VALOR MÁXIMO	OBSERVACIÓN
pH	upH	8,27	8,16	8,12	7,52	7,78	8,06	6-9	Disminuyó
Solidos Disueltos Totales	mg/l	300	195	265	195	190	184	3000	Disminuyó
Turbiedad	UNT	6,32	8,65	15,2	44	45	40	1-30	Aumentó
DBO5	mg/l	118	118	140	12	6	4	30	Disminuyó
Coliformes totales	NPM/100 ml	190	96	52	92	54	45	1000	Disminuyó
Coliformes fecales	NPM/100 ml	856	58	62	500	33	26	1000	Disminuyó

Nota. Adaptado de "Propuesta de un Sistema de Tratamiento para Mejorar la Calidad de Agua de Riego de la Acequia "La Victoria", Ubicada en el Cantón Antonio Ante.", por PUCESI, 2017.

Figura 28. Comparación de pH 2017 vs 2021.

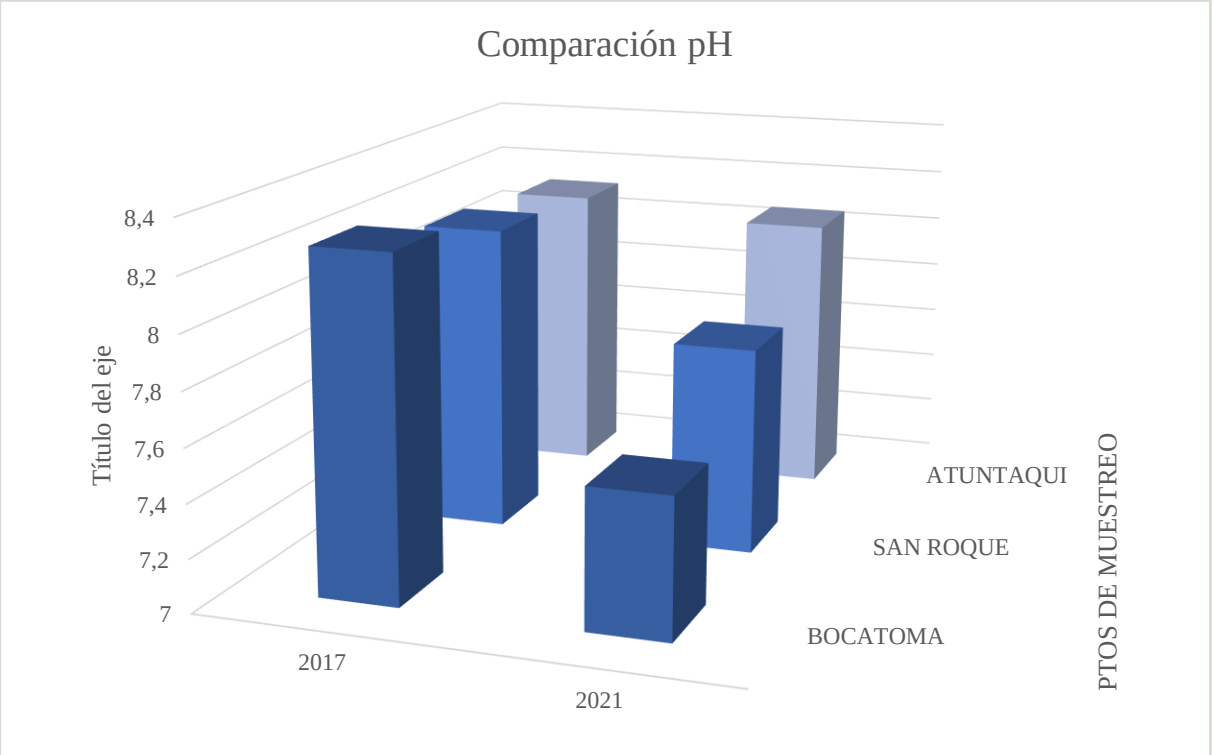


Figura 29. Comparación de Sólidos Disueltos Totales 2017 vs 2021.

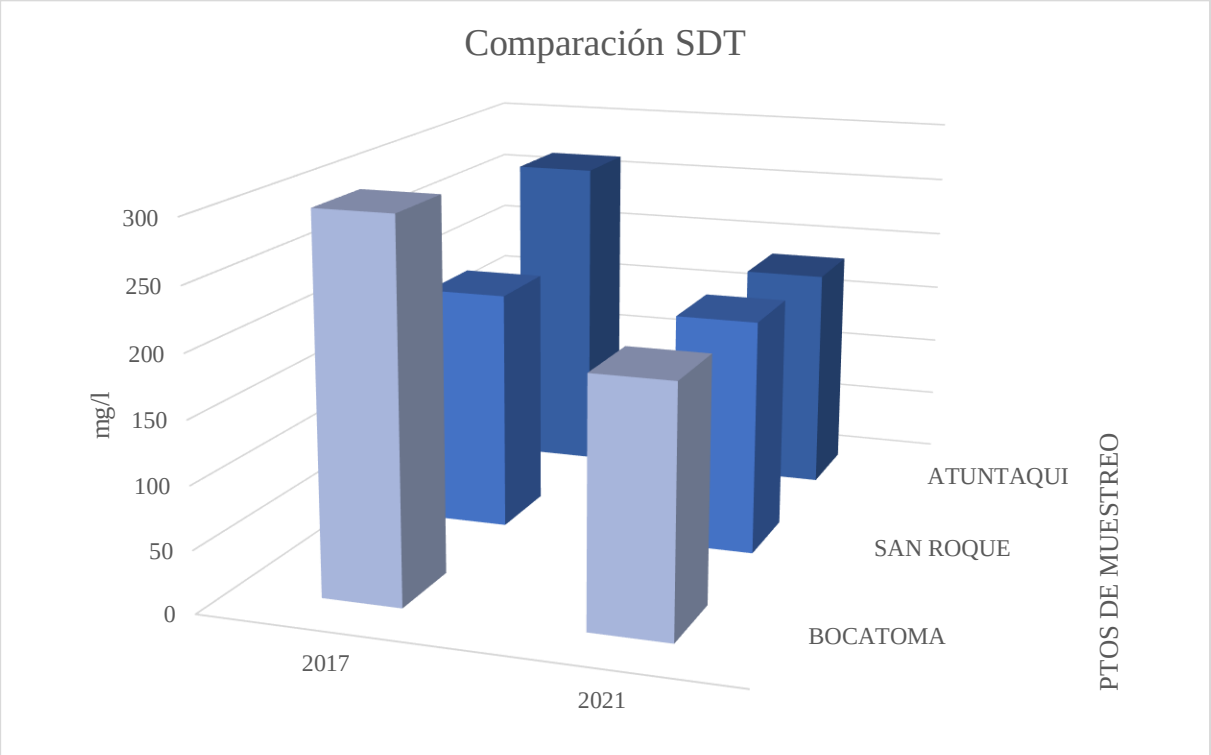


Figura 30. Comparación de Demanda bioquímica de Oxígeno 2017 vs 2021.

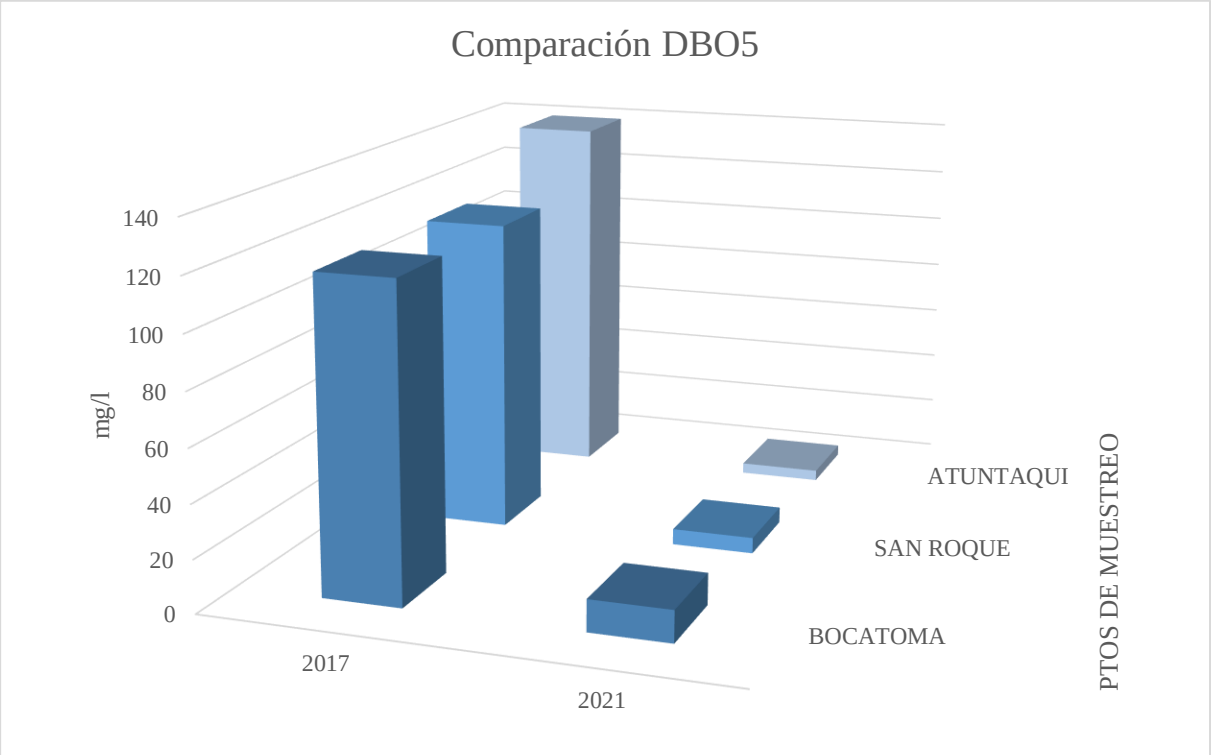


Figura 31. Comparación de Coliformes totales 2017 vs 2021.

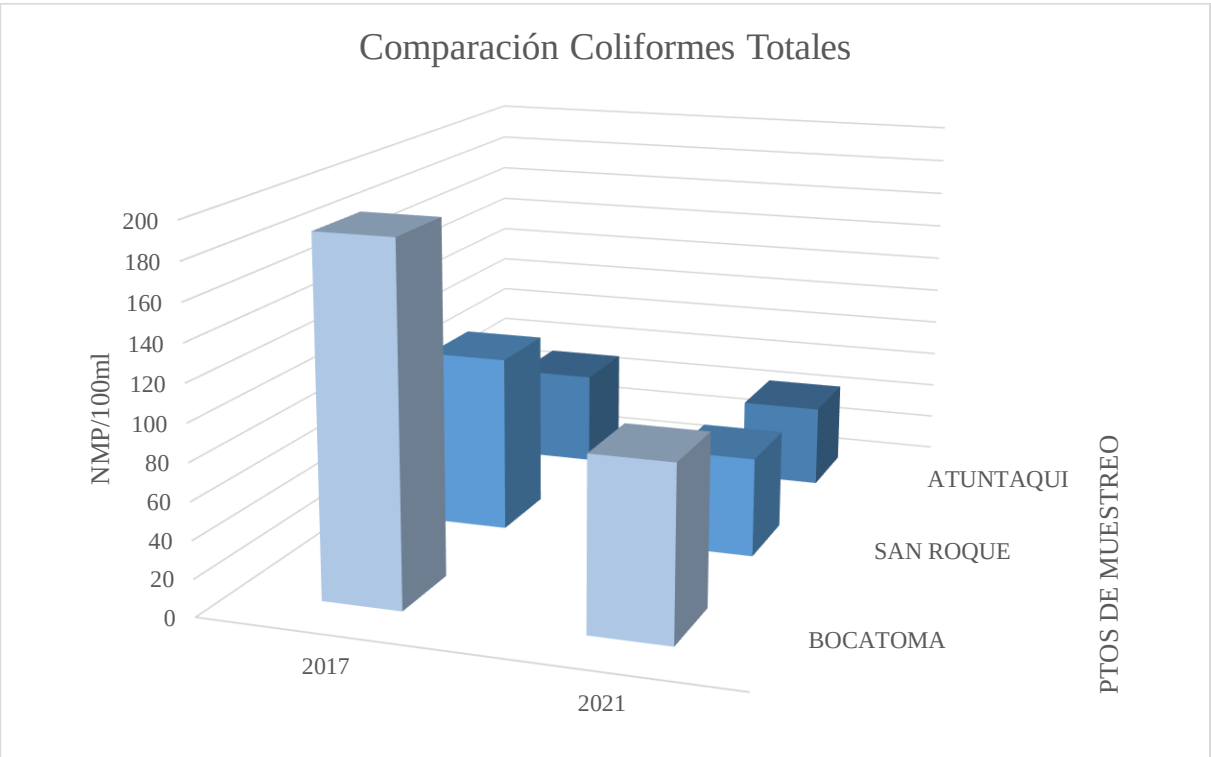


Figura 32. Comparación de Coliformes Fecales 2017 vs 2022

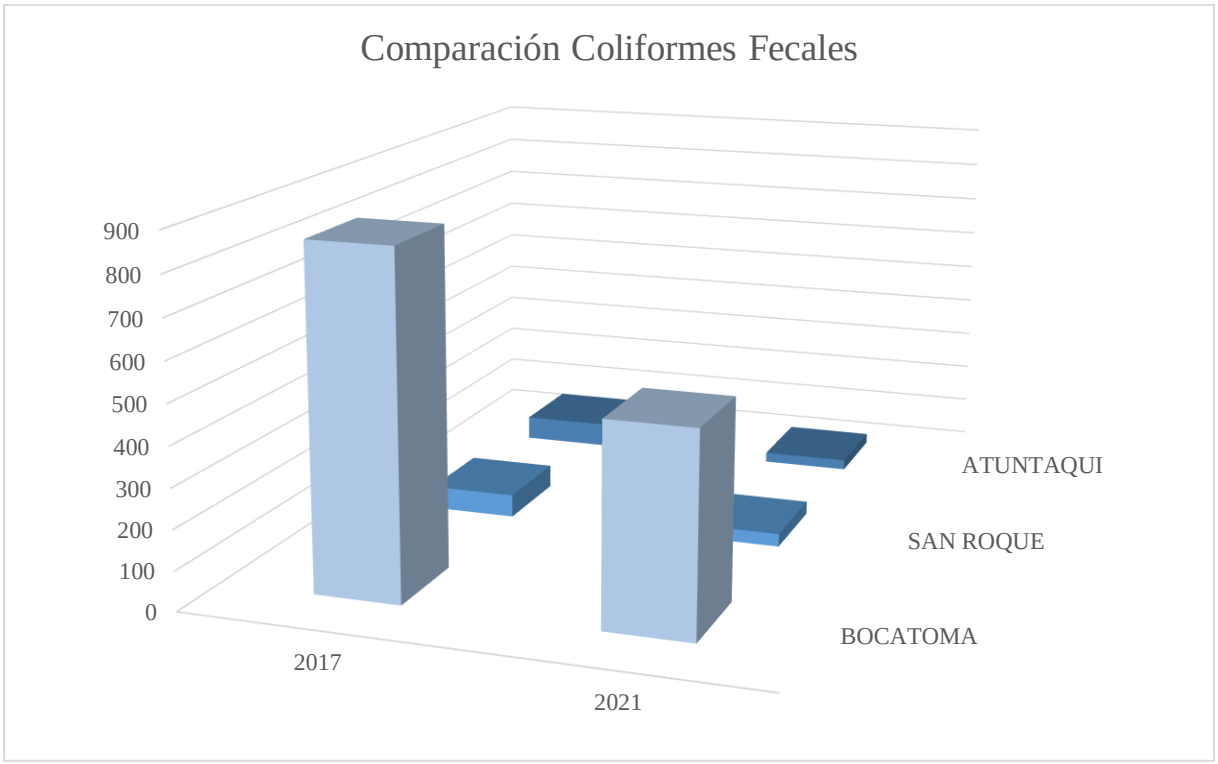
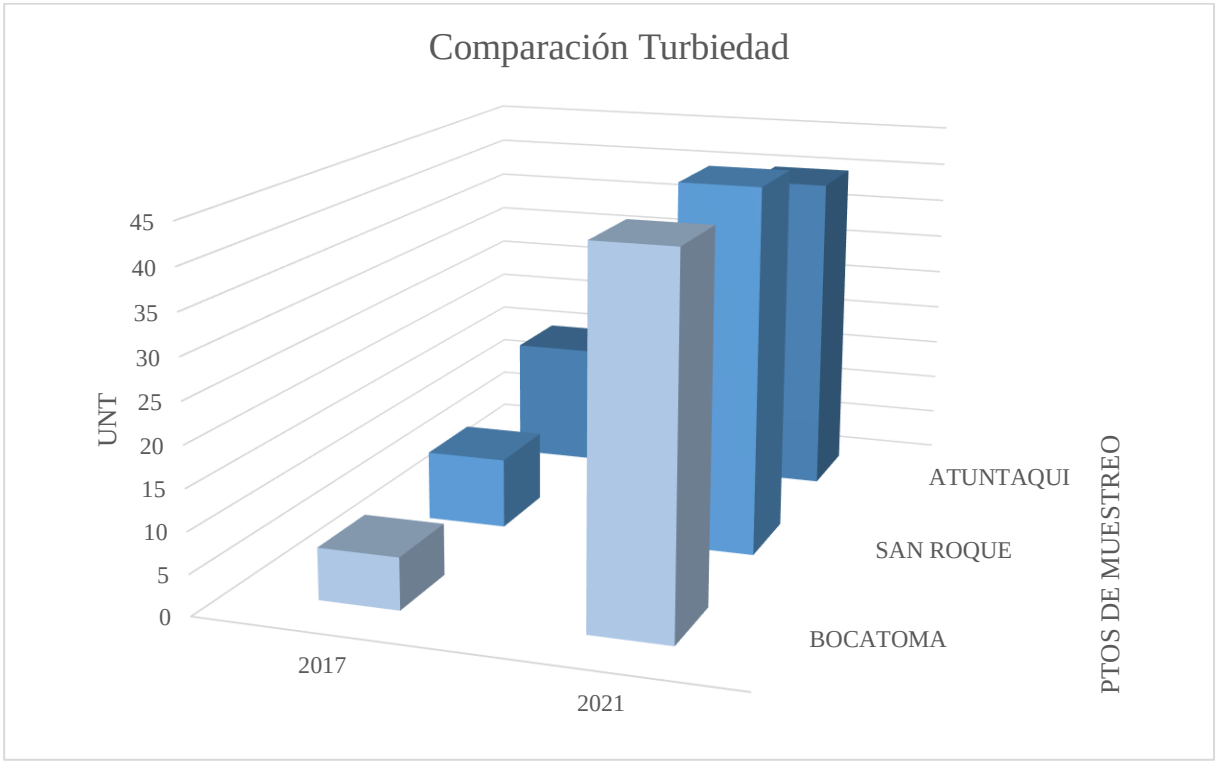


Figura 33. Comparación de Turbiedad 2017 vs 2021.



Con este análisis comparativo, se puede determinar, que contrario a la percepción de los usuarios, hoy en día la calidad del agua de la acequia “La Victoria” cumple con los parámetros evaluados y tiene las condiciones para ser utilizada en el riego de los cultivos.

CAPÍTULO V: DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DEL CANAL DE RIEGO

Se consideró relevante para esta investigación conocer a mayor profundidad el Plan Provincial de Riego y Drenaje 2017-203 para establecer lineamientos generales en la evaluación hidraúlica del sistema de riego "La Victoria". Para ello, se realizó una entrevista al Ing. Pedro Rafael Loyo, ex Director General de Recursos Hídricos de la Prefectura de Imbabura y coautor del Plan Provincial de Riego y Drenaje, en conjunto con la Consultora Hidrosoft.

Este plan agrupa varios criterios técnicos para un diagnóstico de los sistemas de riego desde varios puntos de vista, entre ellos el estado de la infraestructura. El conocimiento de la infraestructura de riego disponible es un paso básico para llevar a cabo una buena gestión del agua. Con el fin de cumplir este objetivo, dentro del plan, se generó un catastro de la infraestructura hidráulica y una caracterización de problemas y riesgos en los sistemas a nivel cantonal. Además, se planteó una visión futura a veinte años, esta comprende un conjunto de iniciativas para favorecer el riego y la agricultura regional. (Prefectura de Imbabura, Plan Provincial de Riego y Drenaje de Imbabura 2017-2037, 2017)

Durante la entrevista, el Ing. Loyo señaló la historia del canal de riego "La Victoria" y manifestó su preocupación ante la reducción de la frontera agrícola en la provincia producto de la urbanización de las ciudades, pues prevé que un caso similar ocurra en Antonio Ante. Cree que una de las alternativas para garantizar la producción de alimentos y evitar la reducción significativa de la frontera agrícola es cultivar otros sectores que atraviesa el canal, desde su captación hasta antes de ingresar a Atuntaqui, y que aún no han sido irrigados.

Con esta introducción, se procede al determinar ciertas características generales del sistema de riego "La Victoria" como parte del diagnóstico hidráulico.

- Tipología del sistema de riego

Según la SENAGUA, en la Plan de Control ARCA-2015, los sistemas de riego pueden ser clasificados de acuerdo con el caudal autorizado. Su categorización se define en la *Tabla 31.:*

Tabla 31. Clasificación de sistemas de riego

TIPOLOGÍA	RANGO/CAUDAL (L/s)
A	> 150
B	20,01 - 150
C	0 - 20

Nota. Adaptado de "Plan Provincial de Riego y Drenaje de Imbabura 2017-2037", por Prefectura de Imbabura, 2017.

A pesar de que en Imbabura la mayoría de los sistemas de riego poseen autorizaciones de captación de caudales pequeños, es decir por debajo de los 20 L/s correspondiente a la clase "C" como se indicó previamente; "La Victoria" se ubica en clase "A", ya que posee una autorización de captación de 1000 l/s.

5.1. Diagnóstico de las condiciones físicas de los componentes de infraestructura del canal de riego

- Red de conducción

En el presente estudio se pudo determinar que, basada en el plan, la Junta de Aguas "La Victoria" en el año 2018, con el apoyo del GADP de Imbabura se mejoró el canal realizando tres obras importantes.

En el sector de Carabuela, se logró entubar con PVC 108 metros lineales con sus respectivos accesorios y cajas de revisión. En esta obra se invirtió aproximadamente 20.000 dólares. (Prefectura de Imbabura, 3000 usuarios de la acequia La Victoria de Antonio Ante se benefician. La Prefectura aporta para el mejoramiento de la distribución de agua de riego., 2018)

Imagen 13. Colocación de tubería en el canal de riego "La Victoria"



Nota. Tomado de Junta de Aguas "La Victoria", 2018.

Así también, en afán de rehabilitar la infraestructura física, se intervino los ramales secundarios de este sistema de riego, El Triunfo y Perugal – Ontañon. (Prefectura de Imbabura, 3000 usuarios de la acequia La Victoria de Antonio Ante se benefician. La Prefectura aporta para el mejoramiento de la distribución de agua de riego., 2018)

Del mismo modo, en el año 2020 se invirtieron 122.338,64 dólares en la rehabilitación de los ramales Santa Rosa y Lourdes del sistema de riego "La Victoria", del cantón Antonio Ante. (Prefectura de Imbabura, Rendición de cuentas: Gestión 2020, 2020)

El principal canal del sistema de riego "La Victoria" cuenta actualmente con 16.821,1 m de longitud. Como se exhibe en la *Tabla 32.*, el agua de riego se conduce principalmente en un canal abierto, sea con revestimiento de hormigón o sin revestimiento y representa un 77% de la longitud total del canal. Dados los obstáculos topográficos en los tramos iniciales de la red de conducción principal, el agua atraviesa túneles, este tipo de conducción en ciertos tramos puede poseer revestimiento en la parte inferior o tener suelo natural alrededor de toda su sección transversal, en resumen, se le atribuye un valor del 21% del canal principal. Finalmente se

encuentran limitados tramos con tubería, incluyendo las últimas obras representa el 2% de la longitud total de canal principal.

Tabla 32. Tipos y longitud de red conducción.

TIPO DE CONDUCCIÓN	LONGITUD (m)	PORCENTAJE QUE REPRESENTAN
Canal abierto	12952,25	77%
Túnel	3532,43	21%
Tubería	336,42	2%

Nota. Adaptado de "Base de datos", por Consultora Hidrosoft, 2017.

Imagen 14. Conducción por tubería del canal de riego "La Victoria"



Con respecto a los materiales usados en el canal principal, existe una notable obra de hormigón que representa el 88% de la longitud total. Por otro lado, un 10% del canal no posee revestimiento y tiene una sección variable, lo que provoca pérdidas por infiltración, erosión, arrastre de sedimentos, acumulación de residuos y contaminación. Además, permite el crecimiento de plantas acuáticas dentro del canal, lo que podría disminuir la velocidad de conducción y por ende aumentar el nivel del agua y provocar desbordamientos.

Figura 34. Esquema de distribucuión de material de revestimiento



Nota. Tomado de Google Earth, 2022.

Tabla 33. Materiales empleados en la red de conducción de riego

MATERIAL DE CONDUCCIÓN	LONGITUD (m)	PORCENTAJE QUE REPRESENTAN
Hormigón	14843,00	88%
Suelo natural	1681,93	10%
PVC	296,17	2%

Nota. Adaptado de "Base de datos", por Consultora Hidrosoft, 2017.

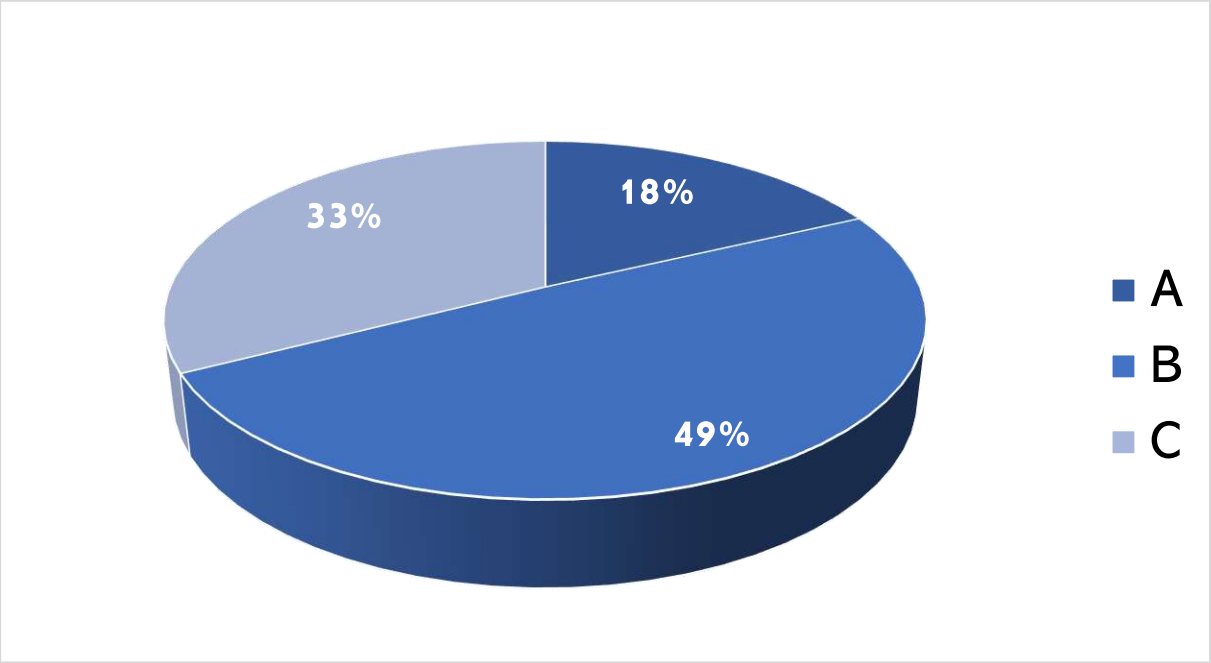
- Estado de la conducción

Como parte de la investigación hidráulica realizada, se evaluó a través de una inspección visual juntamente con el equipo de operadores del canal de riego y se contrastó con información básica que dispone la Junta de Aguas "La Victoria", el estado en el que se encuentra operando la red de conducción principal. Para este fin, se definieron los siguientes parámetros, basado en el Plan Provincial del Riego y Drenaje:

A. Conducciones que tienen revestimiento y cumplen su función eficientemente y se encuentra dentro del período de vida útil.
B. Tienen revestimiento, presentan fisuras y/o deficiencias hidráulicas que ameritan arreglos generales.
C. Conducciones sin revestimientos o con revestimientos que hayan cumplido su vida útil.

La *Figura 35.* refleja la situación hidráulica del canal de riego principal. De una longitud total de 16.821,1 m, el 49% posee revestimiento en condiciones que permiten su regular funcionamiento, pero existen puntos específicos con grietas o patologías menores que podrían ser subsanados. Un 33% de la extensión total del canal principal se encuentra en mal estado y requiere intervenciones. Según la directiva de la Junta de Aguas "La Victoria", se cuenta con el diseño de las mejoras hidráulicas para estos tramos. Sin embargo, el principal inconveniente para su realización es la falta de recursos económicos. El incumplimiento por parte del Gobierno Central en la transferencia de fondos al GADP de Imbabura, no ha permitido el pleno ejercicio de la competencia de riego. Finalmente, el 18% restante de la longitud del canal principal se encuentra en operando en óptimas condiciones.

Figura 35. Estado de la red de conducción principal



Nota. Adaptado de "Base de datos", por Junta de Aguas "La Victoria", 2022.

- Captación hídrica

Uno de los componentes más importantes en un sistema de riego es la captación. De este elemento dependerá en gran medida que, la cantidad de agua captada sea óptima para el sistema. Existen varios tipos de captaciones, en este caso se realiza a través de un azud con rejilla lateral. Cuenta también con una compuerta de tornillo sinfín, desarenador, vertedero de excesos y finalmente el flujo llega a un túnel de hormigón armado para iniciar la conducción.

El estado de la captación es bueno, debido al mantenimiento periódico que se realiza. Pues existe un operador encargado únicamente de este sector para monitorear constantemente como se encuentra la infraestructura hidráulica de la captación.

Las dimensiones de las obras de captación del sistema de riego "La Victoria" se detallan en la *Tabla 34*:

Tabla 34. Dimensiones captación "La Victoria"

OBRA	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES			ESTADO
		LONGITUD (m)	ANCHO (m)	ALTO (m)	
AZUD	n/a	-	5	-	A
REJILLA TOMA VERTICAL	Número de barrotes: 11 barrotes; Diámetro de barrotes: 20 mm; Separación entre barrotes: 18 cm	-	1,8	1,5	A
COMPUERTA CAPTACIÓN	Tornillo sinfín con volante	-	1,8	1,5	A
DESARENADOR	Capacidad: 100 l/s	20	6	1,5	A
VERTEDERO LATERAL	n/a	-	2	-	A
COMPUERTA EVACUACIÓN	Llave giratoria	-	0,9	1,9	A

Figura 36. Esquema de la captación del sistema de riego "La Victoria"

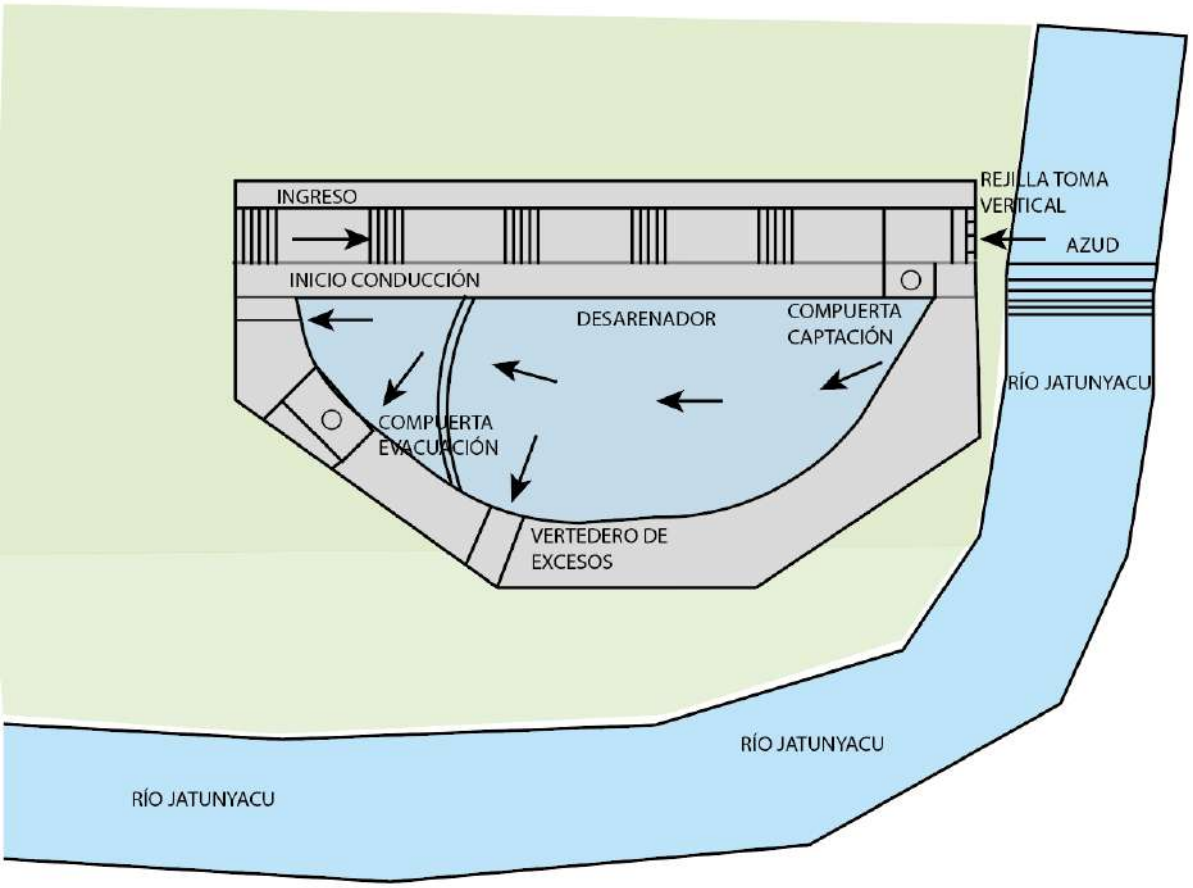


Imagen 15. Captación sistema de riego "La Victoria"



Imagen 16. Captación sistema de riego "La Victoria"



Imagen 17. Azud en la captación de "La Victoria"



- Obras especiales de infraestructura

Las obras especiales de infraestructura son esenciales en los sistemas de riego a la hora de conducir, distribuir y proteger el agua, e inciden directamente en la eficiencia general.

La *Tabla 35.* exhibe las principales obras del sistema de riego. El tipo más común son los óvalos. Cada óvalo está formado por una compuerta de tornillo sinfín de 0,35m de ancho por 0,35m de alto y recibe 25 litros por segundo. Otra de las obras más llamativas es el único sifón, en el sector de El Artesón.

Tabla 35. Estructuras hidráulicas del sistema de riego "La Victoria"

TIPO DE OBRA ESPECIAL	NÚMERO DE OBRAS ESPECIALES
Aliviadero	1
Azud	1
Sifón	1
Compuerta desagüe	3
Desarenador	3
Ingreso a predio	2
Óvalo	20
Paso de quebrada	11

Paso por vía	6
Rejilla	1
Reservorio privado	5
TOTAL	54

Nota. Adaptado de “Base de datos”, por Consultora Hidrosoft, 2017.

El proceso de mantenimiento del sistema de riego “La Victoria” se efectúa día a día por medio de 4 operadores. Estas personas son las encargadas de recorrer el canal de riego y atender al llamado de los usuarios, en caso de que exista algún inconveniente en la circulación del agua hacia cada parcela. Para todo el trabajo que involucra el mantenimiento se dispone de herramientas básicas y un vehículo adquirido por la Junta de Aguas.

Imagen 18. Vehículo para el mantenimiento de “La Victoria”



- Mantenimiento

Cada una de las partes que conforman el sistema de riego necesitan una constante supervisión y mantenimiento. En el caso del canal principal y ramales, las actividades que se realizan son las siguientes:

1. Extracción de sedimentos del fondo del canal.
2. Deshierbes y fumigación de vegetación.
3. Sellado de grietas

Según Vicente Ruales, operador del canal de riego, dentro de la red de conducción se debe prestar mayor atención a los tramos donde existen túneles y/o son conflictivos, como en el sector de Tumbibiche, debido a que son propensos a taponamientos por el derrumbe de los taludes.

De igual manera, las obras especiales necesitan una revisión frecuente. Los trabajos realizados para estas estructuras consisten en:

1. Extracción de sedimentos en la bocatoma
2. Pintura de la infraestructura
3. Limpieza de rejillas
4. Engrase de compuertas en óvalos

5.2.Diagnóstico de las condiciones hidráulicas del canal de riego

Las condiciones hidráulicas del canal principal del sistema de riego "La Victoria" fueron evaluadas dentro de un modelo hidráulico elaborado en Excel. El análisis fue realizado posterior al levantamiento de las condiciones físicas del canal. Tomando en cuenta la amplia longitud del canal principal de 16.821,1 m, se realizó un análisis por tramos de aproximadamente 1000 m, promediando las condiciones hidráulicas para cada uno de estos segmentos.

De esta manera, se determinaron características como: rugosidad, calado, pendiente, sección hidráulica, perímetro mojado, entre otras, en cada uno de los tramos. Todas las características mencionadas anteriormente forman parte de la ecuación planteada por Manning (1889):

$$v = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * J^{\frac{1}{2}}$$

Como primer paso, mediante el uso de un modelo de elevación digital dentro del software QGIS, se estableció el trazado del canal y las curvas de nivel del terreno natural sobre las que se realizaron excavaciones y se encuentra el canal. En recorridos a lo largo del canal se pudo evidenciar que, la altura de excavación en su mayoría se mantiene constante. Para efectos de la modelación hidráulica, específicamente para la pendiente en el fondo del canal, se referenció en las cotas del terreno natural, a la que se le restaría una altura de excavación estimada en cada tramo. Se importó la información a Excel, donde se elaboró un perfil topográfico que servirá como base para analizar posteriormente las características hidráulicas del canal.

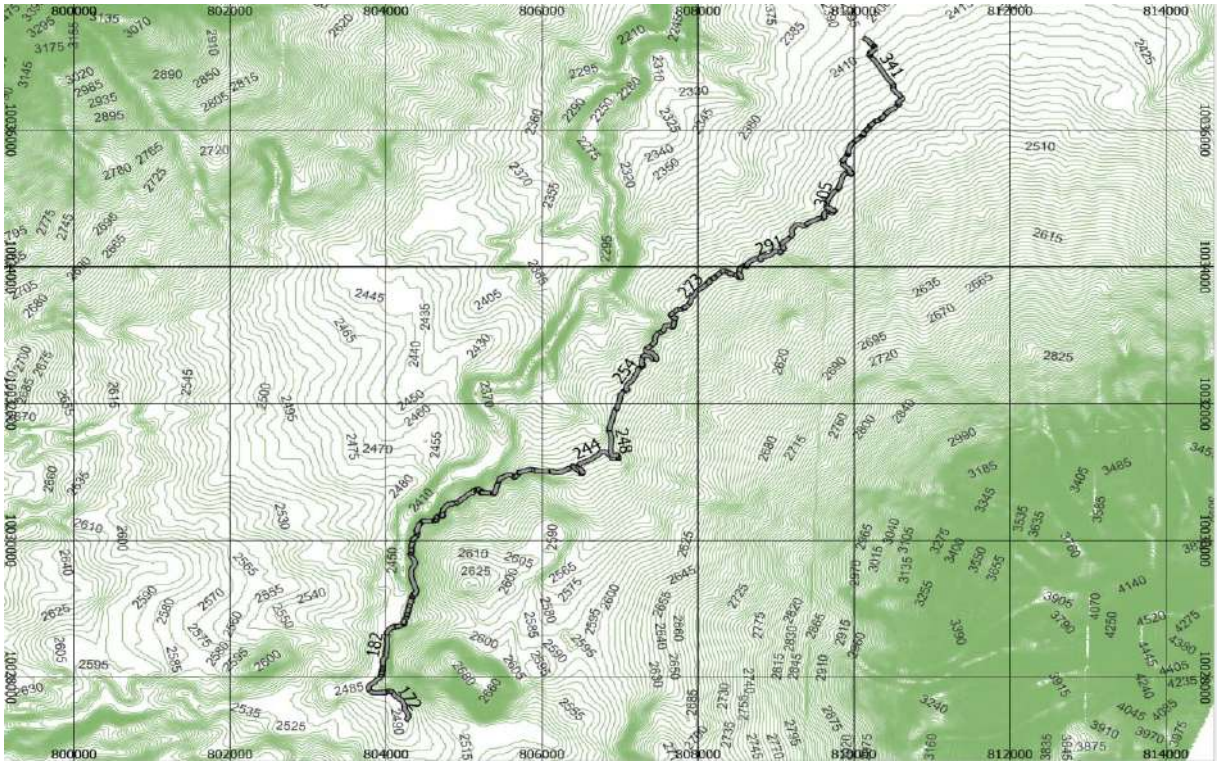
Imagen 19. Fotografía representativa de la altura de excavación en relación con las cotas del terreno natural de la abscisa 3+221 a 4+038



Imagen 20. Fotografía representativa de la altura de excavación en relación con las cotas del terreno natural de la abscisa 6+277 a 7+209

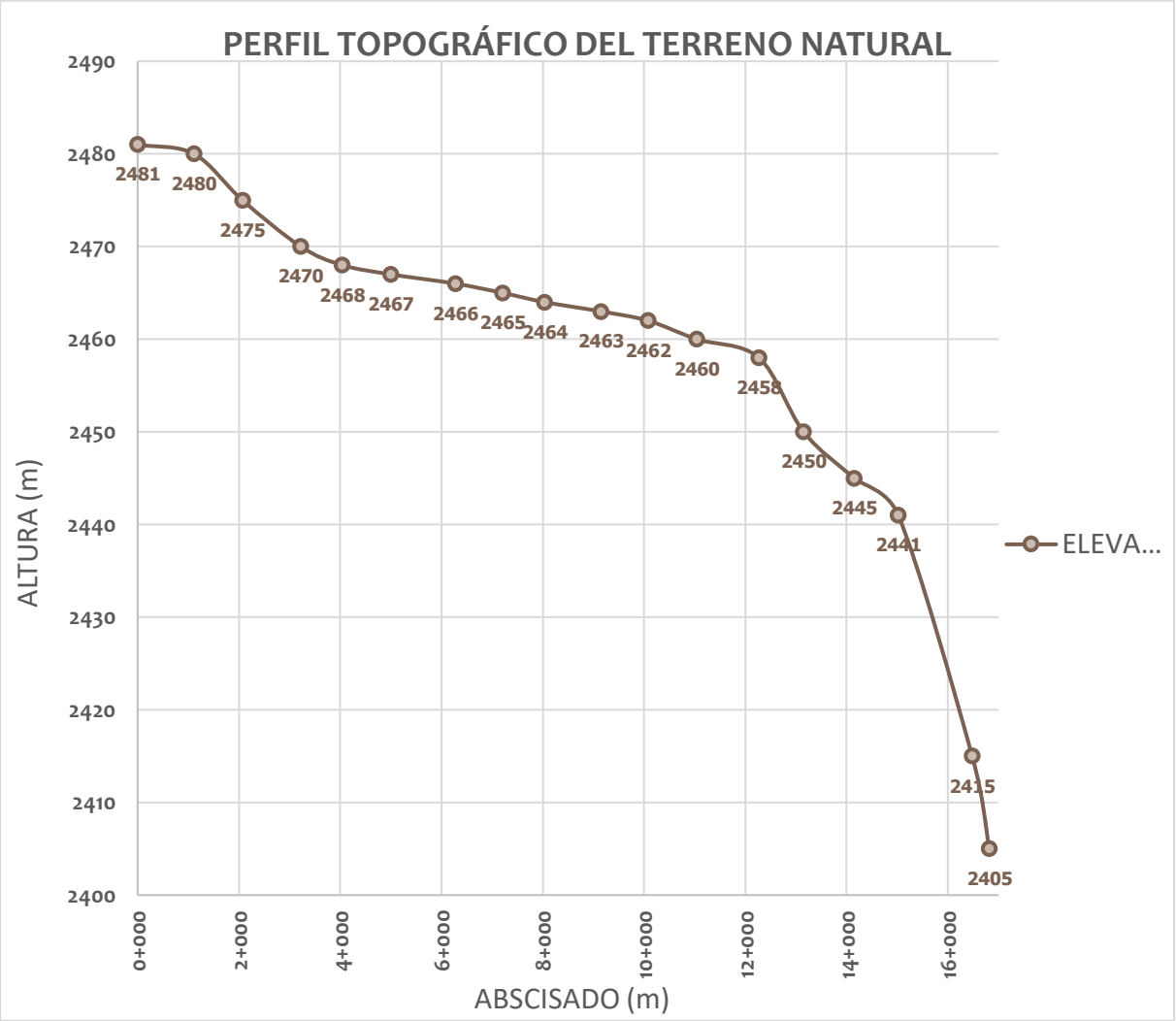


Figura 37. Curvas de nivel canal principal "La Victoria"



Nota. Tomado de QGIS, 2022.

Figura 38. Perfil topográfico terreno natural



Nota. Adaptado de "Base de datos", por Consultora Hidrosoft, 2017.

Tabla 36. Pendiente de la solera del canal

ABSCISADO	ELEVACIÓN	PERFIL TOPOGRÁFICO (SOLERA)
(m)	(m)	(m)
0+000	2481	2479,4
1+112	2480	2478,7
2+070	2475	2473,7
3+221	2470	2469
4+038	2468	2467
5+000	2467	2466
6+277	2466	2465
7+209	2465	2464
8+040	2464	2463
9+149	2463	2462

10+080	2462	2461
11+041	2460	2459
12+268	2458	2457
13+152	2450	2449
14+149	2445	2444
15+021	2441	2440,2
16+480	2415	2414,2
16+821	2405	2404,2

Nota. Adaptado de "Base de datos", por Consultora Hidrosoft, 2017.

Luego, se asignó un coeficiente de rugosidad (η) valorando principalmente el tipo de revestimiento de cada tramo. Pues cabe señalar que existen más factores que inciden en la determinación de este coeficiente como: alineación del canal, sedimentos presentes en el fondo del canal, calado, estado del revestimiento, etc. Se identificó dos grandes grupos de tipo de revestimiento del canal: suelo natural y revestido con hormigón. Según Ven Te Chow (1994), el valor correspondiente para un canal en tierra con escasa vegetación es 0,030. Mientras que para un canal de concreto sin acabado es 0,017.

Tabla 37. Valores del coeficiente de rugosidad (η)

TIPO DE CANAL Y DESCRIPCIÓN	NORMAL
Canales revestidos o desarmables	
No metal	
Vidrio, plástico	0,010
Concreto	
Terminado con llana metálica	0,013
Terminado con llana de madera	0,015
Pulido, con gravas en el fondo	0,017
Sin pulir	0,017
Lanzado, sección buena	0,019
Lanzado, sección ondulada	0,022
Sobre roca bien excavada	0,020
Sobre roca irregularmente excavada	0,027
Excavado o dragado	
En tierra, serpenteante y lento	
Sin vegetación	0,025
Pastos, algunas malezas	0,030
Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0,035

Fondo en tierra con lados en piedra	0,030
Fondo pedregoso y bancas con maleza	0,035
Fondo en cantos rodados y lados limpios	0,040

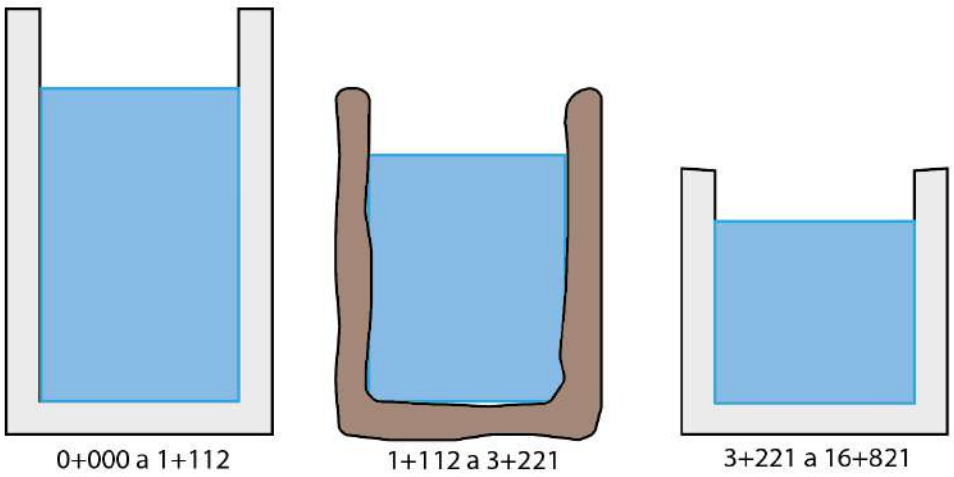
Nota. Adaptado de "Hidráulica de canales abiertos", por Ven Te Chow, 1994, p. 109.

Tabla 38. Asignación de coeficiente (η) de Manning según material de revestimiento

TRAMOS	ABSCISADO	MATERIAL DE REVESTIMIENTO	η
172-175	0+000	CONCRETO SIN ACABADO	0,017
176-184	1+112	CONCRETO SIN ACABADO	0,017
185-196	2+070	SUELO NATURAL	0,030
197-214	3+221	SUELO NATURAL	0,030
215-227	4+038	SUELO NATURAL	0,030
228-238	5+000	CONCRETO SIN ACABADO	0,017
239-244	6+277	CONCRETO SIN ACABADO	0,017
245-250	7+209	CONCRETO SIN ACABADO	0,017
251-258	8+040	CONCRETO SIN ACABADO	0,017
259-266	9+149	CONCRETO SIN ACABADO	0,017
267-276	10+080	CONCRETO SIN ACABADO	0,017
277-291	11+041	CONCRETO SIN ACABADO	0,017
292-299	12+268	CONCRETO SIN ACABADO	0,017
300-307	13+152	CONCRETO SIN ACABADO	0,017
308-324	14+149	CONCRETO SIN ACABADO	0,017
325-340	15+021	CONCRETO SIN ACABADO	0,017
341-350	16+480	CONCRETO SIN ACABADO	0,017

Nota. Adaptado de "Base de datos", por Consultora Hidrosoft, 2017.

Figura 39. Tipos de revestimiento del canal



Simultáneamente, se inspeccionó la geometría de la sección hidráulica, encontrándose que, de manera generalizada puede ser representada por un canal rectangular. Además, se midió la sección transversal del canal, que varía desde el inicio hasta el final de la conducción y permitirá calcular el radio hidráulico. En promedio se tienen los siguientes valores:

Tabla 39. Sección transversal del canal

TRAMOS	ABS	TIPO DE CONDUCCIÓN	SECC. TRANSVERSAL	ANCHO CANAL (m)	ALTO CANAL (m)	r_H (m)
172-175	0+000	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	1,0	1,6	0,36
176-184	1+112	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	1,0	1,3	0,33
185-196	2+070	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	1,0	1,3	0,33
197-214	3+221	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	1,0	1,0	0,29
215-227	4+038	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	1,0	1,0	0,29
228-238	5+000	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	1,0	1,0	0,29
239-244	6+277	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	1,0	1,0	0,29
245-250	7+209	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	1,0	1,0	0,29
251-258	8+040	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	1,0	1,0	0,29
259-266	9+149	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	1,0	1,0	0,29
267-276	10+080	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	1,0	1,0	0,29
277-291	11+041	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	1,0	1,0	0,29
292-299	12+268	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	1,0	1,0	0,29
300-307	13+152	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	1,0	1,0	0,29
308-324	14+149	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	1,0	1,0	0,29
325-340	15+021	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	0,8	0,8	0,22
341-350	16+480	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	0,8	0,8	0,22

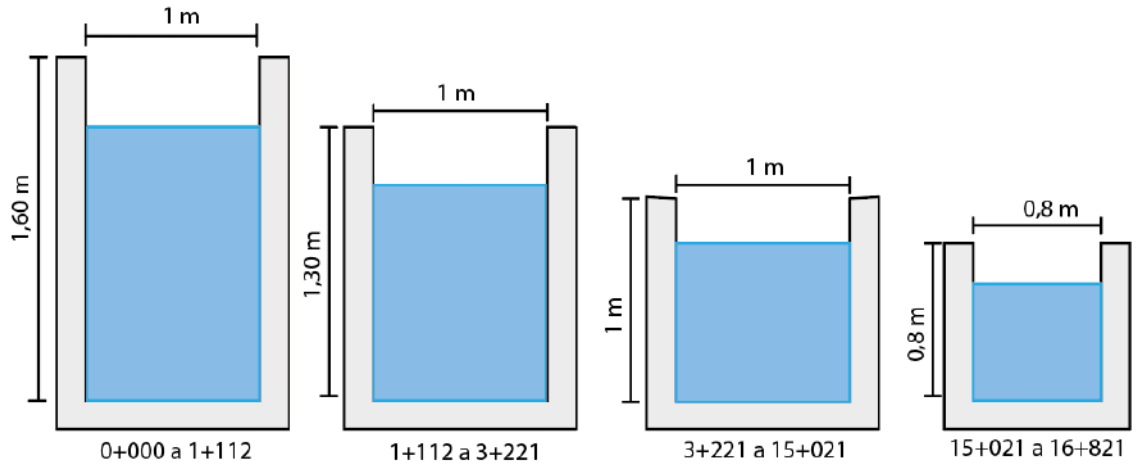
Nota. Adaptado de "Base de datos", por Consultora Hidrosoft, 2017.

Tabla 40. Cálculo de parámetros hidráulicos relacionados a la sección del canal

ANCHO CANAL (m)	ALTO CANAL (m)	BORDO LIBRE (m)	TIRANTE (m)	ÁREA SECCIÓN HIDRÁULICA (m2)	PERÍMETRO MOJADO (m)	RADIO HIDRÁULICO (m)
1,0	1,6	0,3	1,3	1,3	3,6	0,36
1,0	1,3	0,3	1,0	1	3	0,33
1,0	1,3	0,3	1,0	1	3	0,33
1,0	1,0	0,3	0,7	0,7	2,4	0,29
1,0	1,0	0,3	0,7	0,7	2,4	0,29
1,0	1,0	0,3	0,7	0,7	2,4	0,29
1,0	1,0	0,3	0,7	0,7	2,4	0,29
1,0	1,0	0,3	0,7	0,7	2,4	0,29
1,0	1,0	0,3	0,7	0,7	2,4	0,29

1,0	1,0	0,3	0,7	0,7	2,4	0,29
1,0	1,0	0,3	0,7	0,7	2,4	0,29
1,0	1,0	0,3	0,7	0,7	2,4	0,29
1,0	1,0	0,3	0,7	0,7	2,4	0,29
1,0	1,0	0,3	0,7	0,7	2,4	0,29
1,0	1,0	0,3	0,7	0,7	2,4	0,29
0,8	0,8	0,3	0,5	0,4	1,8	0,22
0,8	0,8	0,3	0,5	0,4	1,8	0,22

Figura 40. Tipos de sección del canal



Con todos los datos registrados anteriormente, se procedió al cálculo de la velocidad mediante la ecuación de Manning y la carga generada por la velocidad a lo largo del canal:

Tabla 41. Cálculo de velocidad – Ecuación de. Manning $v^2/2g$

ABSCISA INICIO	ABSCISA FIN	n	R	J	V (Manning)		ACUMULADO
0+000	1+112	0,017	0,36	0,1%	0,893	0,041	0,041
1+112	2+070	0,017	0,33	0,5%	2,029	0,210	0,251
2+070	3+221	0,03	0,33	0,4%	1,049	0,056	0,307
3+221	4+038	0,03	0,29	0,2%	0,723	0,027	0,333
4+038	5+000	0,03	0,29	0,1%	0,471	0,011	0,345
5+000	6+277	0,017	0,29	0,1%	0,721	0,027	0,371
6+277	7+209	0,017	0,22	0,1%	0,702	0,025	0,396
7+209	8+040	0,017	0,29	0,1%	0,894	0,041	0,437
8+040	9+149	0,017	0,29	0,1%	0,774	0,031	0,467
9+149	10+080	0,017	0,29	0,1%	0,845	0,036	0,504
10+080	11+041	0,017	0,29	0,2%	1,176	0,070	0,574
11+041	12+268	0,017	0,29	0,2%	1,041	0,055	0,629

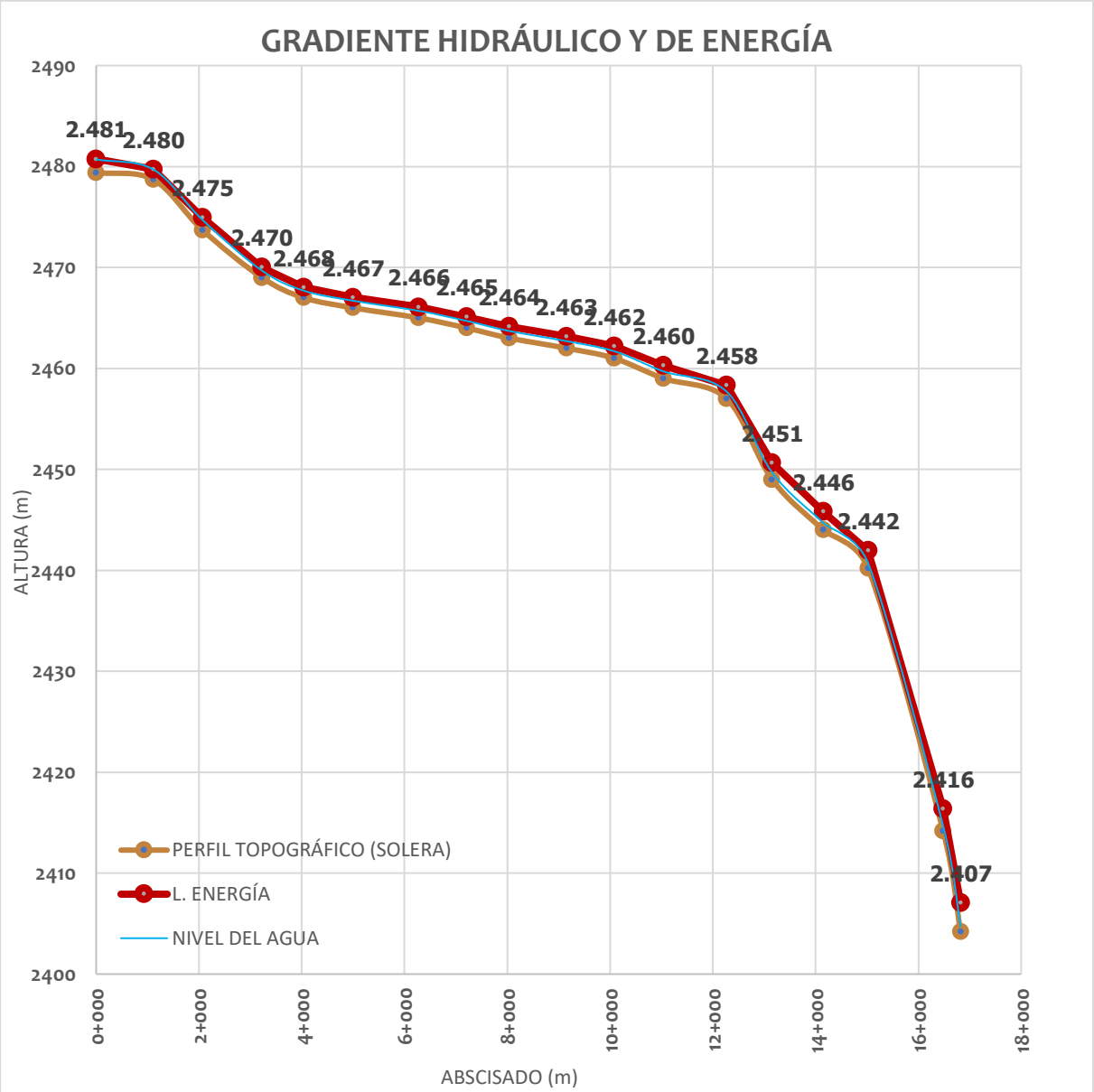
12+268	13+152	0,017	0,29	0,9%	2,452	0,306	0,936
13+152	14+149	0,017	0,29	0,5%	1,825	0,170	1,106
14+149	15+021	0,017	0,29	0,5%	1,746	0,155	1,261
15+021	16+480	0,017	0,22	1,8%	2,862	0,417	1,678
16+480	16+821	0,017	0,22	2,9%	3,671	0,687	2,365

Finalmente, se representó todos los valores calculados anteriormente por el gradiente de energía como se muestra a continuación:

Tabla 42. Cálculo de velocidad y pérdidas de carga.

ABSCISADO	ELEVACIÓN	PERFIL TOPOGRÁFICO (SOLERA)	NIVEL DEL AGUA	LÍNEA ENERGÍA
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
0+000	2481	2479,4	2480,7	2480,7406
1+112	2480	2478,7	2479,7	2479,7406
2+070	2475	2473,7	2474,7	2474,9505
3+221	2470	2469	2469,7	2470,0066
4+038	2468	2467	2467,7	2468,0332
5+000	2467	2466	2466,7	2467,0445
6+277	2466	2465	2465,7	2466,071
7+209	2465	2464	2464,7	2465,0962
8+040	2464	2463	2463,7	2464,1369
9+149	2463	2462	2462,7	2463,1674
10+080	2462	2461	2461,7	2462,2038
11+041	2460	2459	2459,7	2460,2743
12+268	2458	2457	2457,7	2458,3294
13+152	2450	2449	2449,7	2450,6358
14+149	2445	2444	2444,7	2445,8056
15+021	2441	2440,2	2440,7	2441,9609
16+480	2415	2414,2	2414,7	2416,3783
16+821	2405	2404,2	2404,7	2407,0649

Figura 41. Gradiente hidráulico y de energía del canal.



Se puede inferir de los resultados que se mantiene una carga de velocidad casi constante a lo largo del canal. Esta situación varía en los dos kilómetros finales del canal, donde se observa una pendiente mucho más pronunciada generando una mayor carga. Como parte del análisis, se determinó que se produjo este hecho con la finalidad de que en el tramo final del canal principal se cuente con la suficiente carga para que el agua pueda ser distribuida a través de todos los ramales secundarios que se encuentran a partir de este punto.

CAPÍTULO VI: PLANTEAMIENTO Y COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA REDUCIR PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN

6.1. Planteamiento de alternativas

El levantamiento hidráulico del sistema de conducción de agua para riego del canal "La Victoria" permitió identificar determinados tramos, principalmente dentro de los 5 km iniciales, que no poseen revestimiento adecuado y se muestran a continuación.

Tabla 43. Tramos por revestir en los primeros 5 km.

TRAMO	ABSCISA INCIO	ABSCISA FIN	COORDENADAS				LONGITUD
			INICIO X	INICIO Y	FIN X	FIN Y	
191	2+353	2+404	804304	10029052	804319	10029098	50,82
192	2+404	2+509	804319	10029098	804340,304	10029183,6	105,31
193	2+509	2+517	804340,304	10029183,6	804342	10029191	7,72
194	2+517	2+550	804342	10029191	804359,783	10029218,4	32,98
196	2+562	3+221	804371,388	10029222,1	804319	10029815	659,34
198	3+238	3+269	804323	10029831	804327,468	10029862,2	31,61
200	3+332	3+432	804326,5	10029920,9	804344,425	10030014,1	100,26
201	3+432	3+532	804344,425	10030014,1	804400	10030093	100,18
204	3+573	3+764	804394,088	10030132,4	804467,196	10030274,8	190,67
206	3+774	3+786	804474,888	10030280,6	804486,461	10030283,5	12,04
208	3+786	3+917	804486,461	10030283,5	804616	10030291	131,29
210	3+929	3+948	804625,914	10030296,7	804643	10030304	18,58
211	3+948	3+952	804643,21	10030303,7	804646	10030307	4,36
212	3+952	3+986	804646	10030307	804654,413	10030340,3	34,54
213	3+986	3+994	804654,572	10030340,3	804658,541	10030346,7	7,56
214	3+994	4+038	804658,541	10030346,7	804698	10030366	43,95
215	4+038	4+063	804698	10030366	804722,496	10030362,2	25,32
217	4+067	4+143	804725,08	10030364,5	804730,762	10030439,9	75,95
218	4+143	4+389	804730,683	10030440,2	804916,064	10030554,1	245,96
220	4+431	4+719	804948,674	10030581,3	805149,899	10030743	288,3
222	4+744	4+760	805174	10030748	805189	10030743	16,19
226	4+837	4+981	805232,42	10030703,1	805376	10030690	144,17
227	4+981	5+000	805376	10030690	805391,284	10030701,1	18,88
228	5+000	5+178	805391,284	10030701,1	805448	10030867	178,54

Nota. Adaptado de "Base de datos", por Consultora Hidrosoft, 2017.

En dichos tramos, se asumía que existen perdidas por infiltración, por tal motivo, se procedió a la medición del caudal que entra y sale, como se sugiere en la revisión bibliográfica previa. Los resultados obtenidos en dos tramos representativos por su tipo de revestimiento (suelo natural) y en los que se prevé que existan infiltraciones fueron los siguientes:

Tabla 44. Aforo de caudales para cálculo de infiltración

TRAMO	ABSCISADO	LONGITUD	COORDENADAS		AFORO INICIO (Q1)	AFORO FINAL (Q2)	PÉRDIDA
		(m)	UTM(X)	UTM(Y)	(L/s)	(L/s)	(L/s)
196	2+562	659,3	804371	10029222	675	652	23
	3+221		804319	10029815			
218	4+143	246,0	804731	10030440	596	588	8
	4+389		804916	10030554			

Como se puede observar, los valores de pérdidas por infiltración no son extremadamente altos. Es importante recordar que existen varios factores que afectan la infiltración; uno de ellos es la permeabilidad. Pues, (Krochin, 1986) (CAMICON, 2022) (EMAPA-I, 2022) a pesar de que el canal no posee revestimiento en ciertos tramos, el suelo es semi rocoso (cangahua), con permeabilidades bajas de acuerdo con su coeficiente k, que varía entre 1.35 x 10-6 y 4.48 x 10-6 m/s según Gaibor (2012). Otro factor es la edad del canal, Krochin (1986) señala que las pérdidas de agua por infiltraciones generalmente son máximas inmediatamente después de construido el canal y disminuye gradualmente con el tiempo. En el caso del canal “La Victoria”, se trata de un canal centenario que ha logrado consolidar e impermeabilizar en gran medida el fondo del canal como sus paredes laterales. Finalmente, otro de los factores para analizar es el caudal que transporte el canal. Las pérdidas de agua en función al caudal del canal “La Victoria” por kilómetro están en el orden del 5%, entendibles para un caudal de 0,5 m3/s a 1 m3/s. Los rangos establecidos por Krochin (1986) para este caso son del 4% al 6%.

De acuerdo con las mediciones, la infiltración no representaría una preocupación urgente para la Junta de Aguas “La Victoria”. Sin embargo, dentro del alcance de esta investigación, se planteará el diseño preliminar de alternativas para el reducir la infiltración. De manera representativa se detallará el diseño del tramo N°191, uno de los tramos críticos en el sistema de conducción de agua, mediante tubería PVC y revestimiento del canal con concreto.

Para el diseño ambas alternativas se utilizarán las coordenadas de inicio y final del tramo seleccionado y su longitud. Con respecto al caudal de diseño, se realizaron aforos entre los días 01 de julio del 2022 a 04 de julio del 2022 en distintos puntos del canal y se presentan a continuación:

Tabla 45. Aforo de caudales del canal “La Victoria”

TRAMO	ABSCISA	COORDENADAS		VELOCIDAD m/s	ÁREA m2	CAUDAL (l/s)
		UTM(X)	UTM(Y)			
172	0+000	804271	10027393	0,55	1,3	710
176	1+112	803779	10027836	0,52	1,3	680
185	2+070	804144	10028744	0,95	0,7	665
197	3+221	804319	10029815	0,93	0,7	650
215	4+038	804698	10030366	0,86	0,7	600
228	5+000	805391	10030701	0,81	0,7	568
239	6+277	806397	10031085	0,60	0,9	540
245	7+209	806979	10031204	0,66	0,7	460
251	8+040	806958	10031934	0,54	0,7	380
259	9+149	807460	10032652	0,49	0,7	340
267	10+080	807706	10033247	0,43	0,7	300
277	11+041	808247	10033874	0,36	0,7	250
292	12+268	809060	10034228	0,34	0,7	235
300	13+152	809608	10034716	0,32	0,7	225
308	14+149	809931	10035375	0,31	0,7	218
325	15+021	810158	10035994	0,30	0,7	210
341	16+480	810484	10036690	0,25	0,7	175
350	16+821	810214	10037266	0,36	0,4	145

Se puede notar que el caudal que se conduce en la abscisa inicial del canal es de 710 l/s. Es importante destacar que las mediciones han sido realizadas en época de verano y este podría incrementar en época de invierno. No obstante, la concesión de captación como la estructura de

captación del sistema de riego son para máximo 1000 l/s; por esta razón, se ha establecido como caudal de diseño los 1000 l/s.

La pendiente seleccionada para el diseño del canal es de 0,03%, considerando que no involucre altos costos de movimiento de tierras y sobre todo garantice el adecuado funcionamiento hidráulico de la línea de conducción de agua de riego.

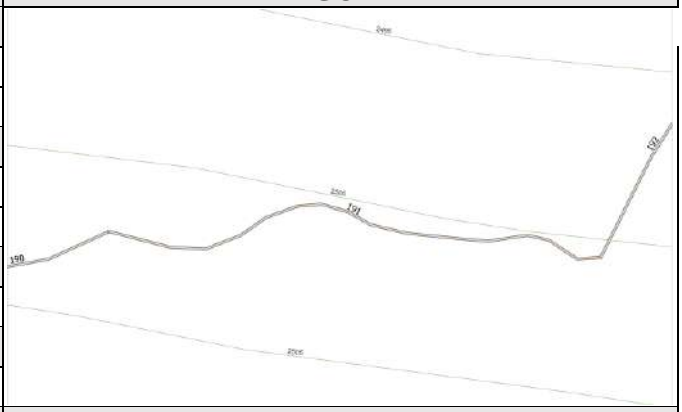
Así también, se adoptó un coeficiente de rugosidad (n) de 0,010 para la alternativa de PVC y de 0,017 para concreto sin acabado, según la tabla de valores del coeficiente de rugosidad publicada por Ven Te Chow (1994).

6.2.Diseño de alternativas

6.2.1. Diseño preliminar del canal con tubería PVC

Datos:

Tabla 46. Datos para el diseño preliminar del canal con tubería PVC

<table>
<tr><th colspan="3">TRAMO 191</th><th>FIGURA</th></tr>
<tr><td colspan="3">COORDENADAS</td><td rowspan="10"></td></tr>
<tr><td>INCIO (X,Y)</td><td>804304</td><td>10029052</td></tr>
<tr><td>FIN (X,Y)</td><td>804319</td><td>10029098</td></tr>
<tr><td colspan="3">ABSCISA</td></tr>
<tr><td>INCIO</td><td colspan="2">2+353</td></tr>
<tr><td>FIN</td><td colspan="2">2+404</td></tr>
<tr><td colspan="3">LONGITUD</td></tr>
<tr><td colspan="3">50,82 m</td></tr>
<tr><td colspan="3">CAUDAL DE DISEÑO (Qd)</td></tr>
<tr><td colspan="3">1000 L/s</td></tr>
<tr><td colspan="3">PENDIENTE DE DISEÑO (J)</td><td>DESCRIPCIÓN DEL TRAMO</td></tr>
<tr><td colspan="3">0,30%</td><td rowspan="3">CANAL SIN REVESTIR</td></tr>
<tr><td colspan="3">COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (n)</td></tr>
<tr><td colspan="3">0,010 (PVC)</td></tr>
</table>

- Cálculo del diámetro teórico (D_T)

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * J^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{Qn}{J^{1/2}} = A * R^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{Qn}{J^{1/2}} = \frac{\pi D^2}{4} * (\frac{D}{4})^{\frac{2}{3}}$$

$$D = 1{,}548 * (n * \frac{Q}{J^{\frac{1}{2}}})^{3/8}$$

$$D_{Teórico} = 1{,}548 * (n * \frac{Q_{diseño}}{J^{\frac{1}{2}}})^{3/8}$$

$$D_{Teórico} = 1{,}548 * (0{,}010 * \frac{1000\ l/s}{0{,}003^{\frac{1}{2}}})^{3/8}$$

$$D_T = 0{,}818 \text{ m}$$

- Cálculo del diámetro comercial ($D_{comercial}$)

$$D_{comercial} = 1000 \text{ mm}$$

- Cálculo del caudal con el tubo lleno (Qo)

$$Qo = 0{,}312 * \frac{{D_{diseño}}^{3/8} * J^{1/2}}{n}$$

$$Qo = 0{,}312 * \frac{1{,}0^{3/8} * 0{,}003^{1/2}}{0{,}010}$$

$$Qo = 1708{,}893\ l/s$$

- Comprobación relación caudal de diseño – caudal tubería lleno.

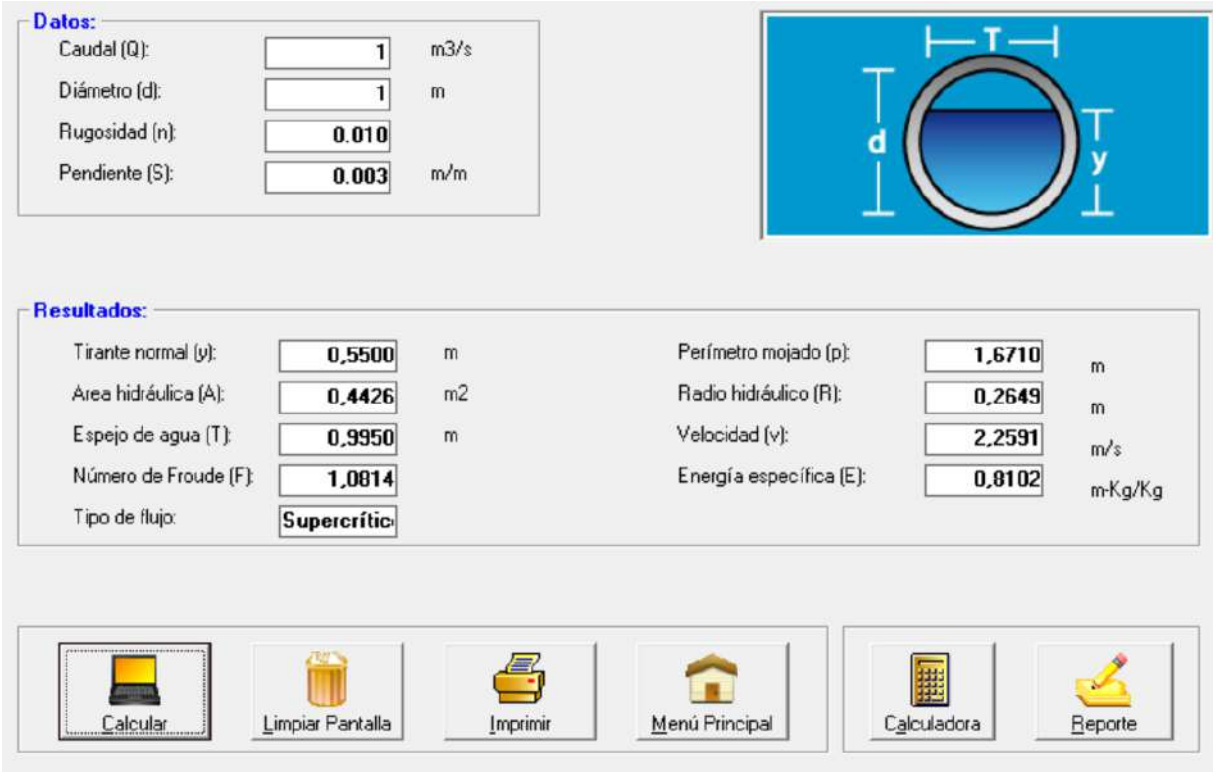
En conductos cerrados debe cumplirse que:

$$\frac{Q_{diseño}}{Q_o} < 0{,}90$$

$$\frac{1000\ L/s}{1708{,}893\ L/s} = 0{,}59 < 0{,}90\ OK$$

Para el análisis de más parámetros hidráulicos y complementar el diseño se utilizó el programa HCANALES.

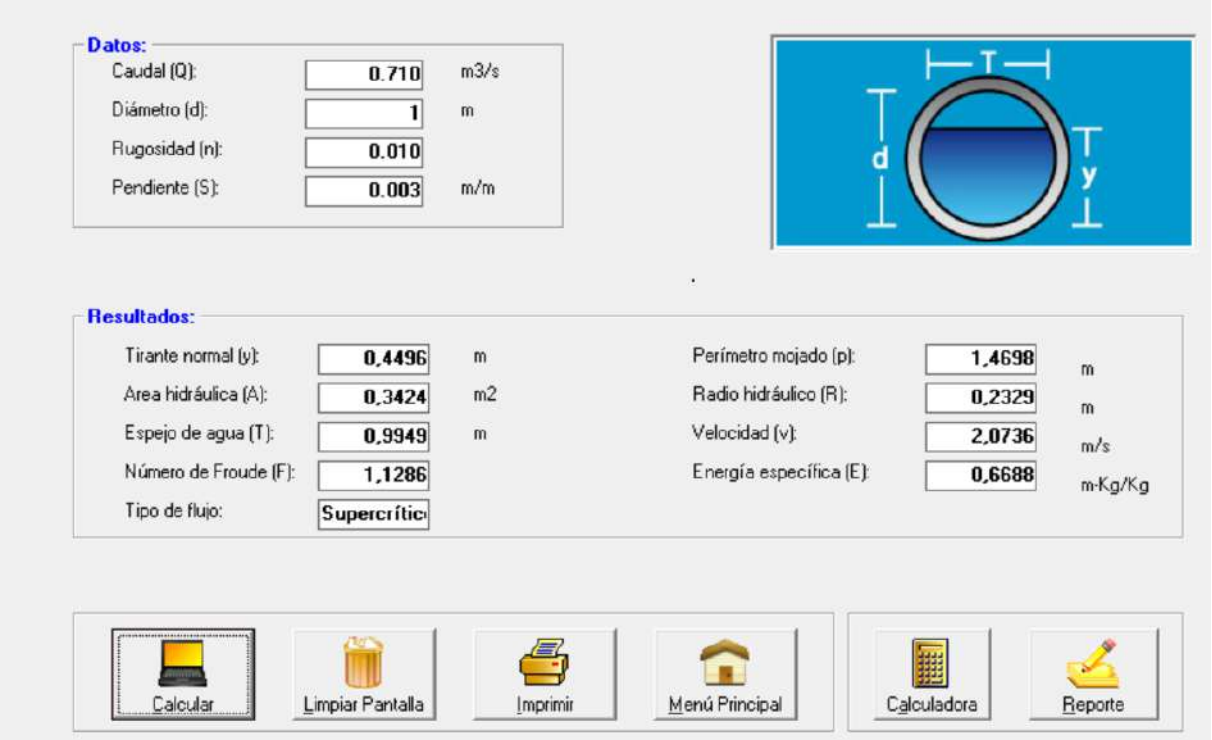
Figura 42. Simulación para un caudal de diseño de 1000 l/s y tubería PVC de diámetro 1000 mm



Nota. Tomado de HCANALES, 2022.

Además, se realizó otra simulación con el caudal aforado de 710 l/s y las dimensiones calculadas anteriormente para analizar el funcionamiento hidráulico en este caso.

Figura 43. Simulación para un caudal de diseño de 710 l/s y tubería PVC de diámetro 1000 mm

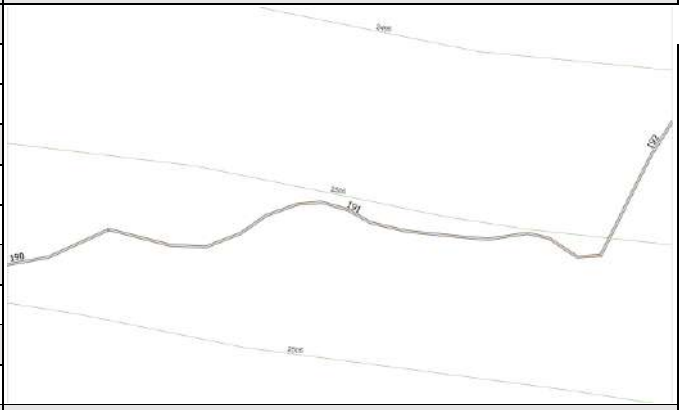


Nota. Tomado de HCANALES, 2022

6.2.2. Diseño preliminar del canal revestido de hormigón

Datos:

Tabla 47. Datos para el diseño preliminar del canal con revestimiento de hormigón

TRAMO 191			**FIGURA**
COORDENADAS			
INCIO (X,Y)	804304	10029052	
FIN (X,Y)	804319	10029098	
ABSCISA			
INCIO	2+353		
FIN	2+404		
LONGITUD			
50,82 m			
CAUDAL DE DISEÑO (Qd)			
1000 L/s			
PENDIENTE DE DISEÑO (J)			**DESCRIPCIÓN DEL TRAMO**
0,30%			CANAL SIN REVESTIR
COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (n)			

0,010 (PVC)	

- Cálculo del calado del canal

Se asume el ancho de solera es de 1.00 m debido a que existen tramos previos y posteriores al N°191 que mantienen este ancho.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * J^{\frac{1}{2}}$$

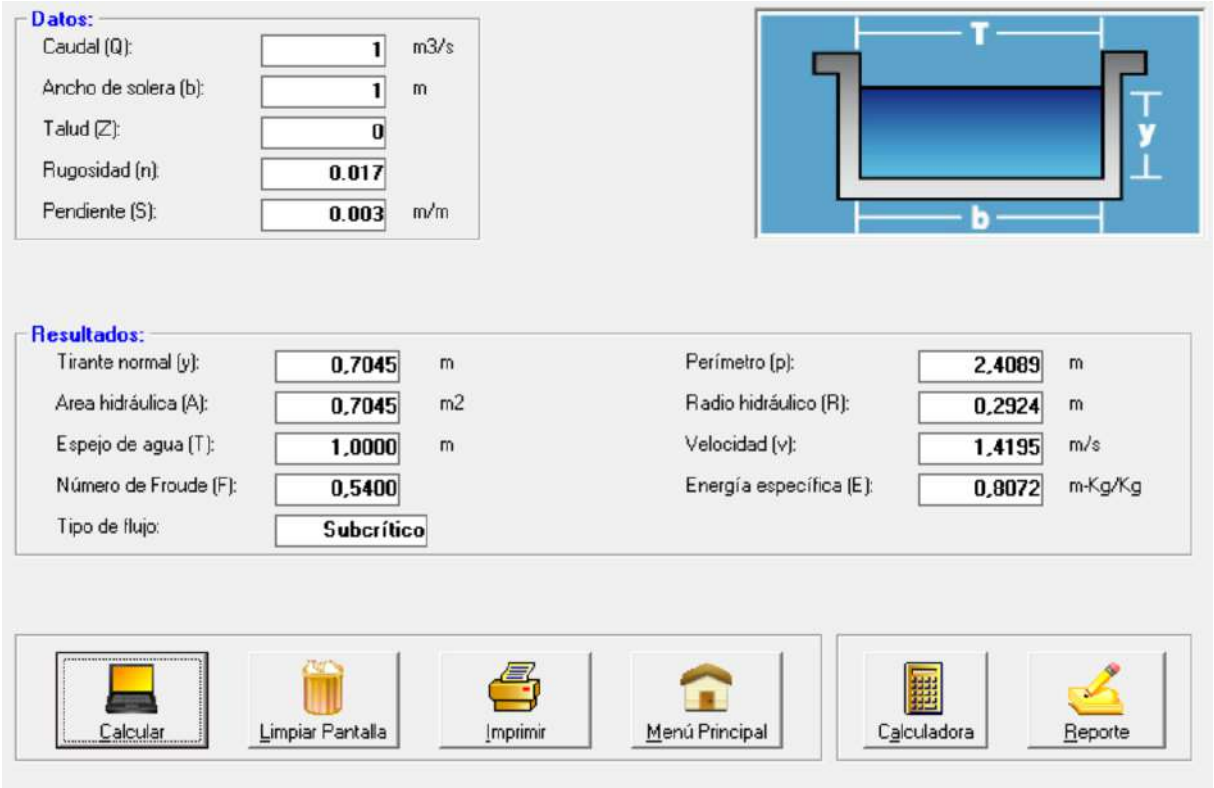
$$\frac{Qn}{J^{1/2}} = A * R^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{1m^3/s * 0{,}017}{0{,}003^{1/2}} = (1{,}0m * y) * (\frac{1{,}0m * y}{1{,}0m + 2y})^{\frac{2}{3}}$$

$$y = 0{,}70447m$$

Para el análisis de más parámetros hidráulicos y complementar el diseño se utilizó el programa HCANALES.

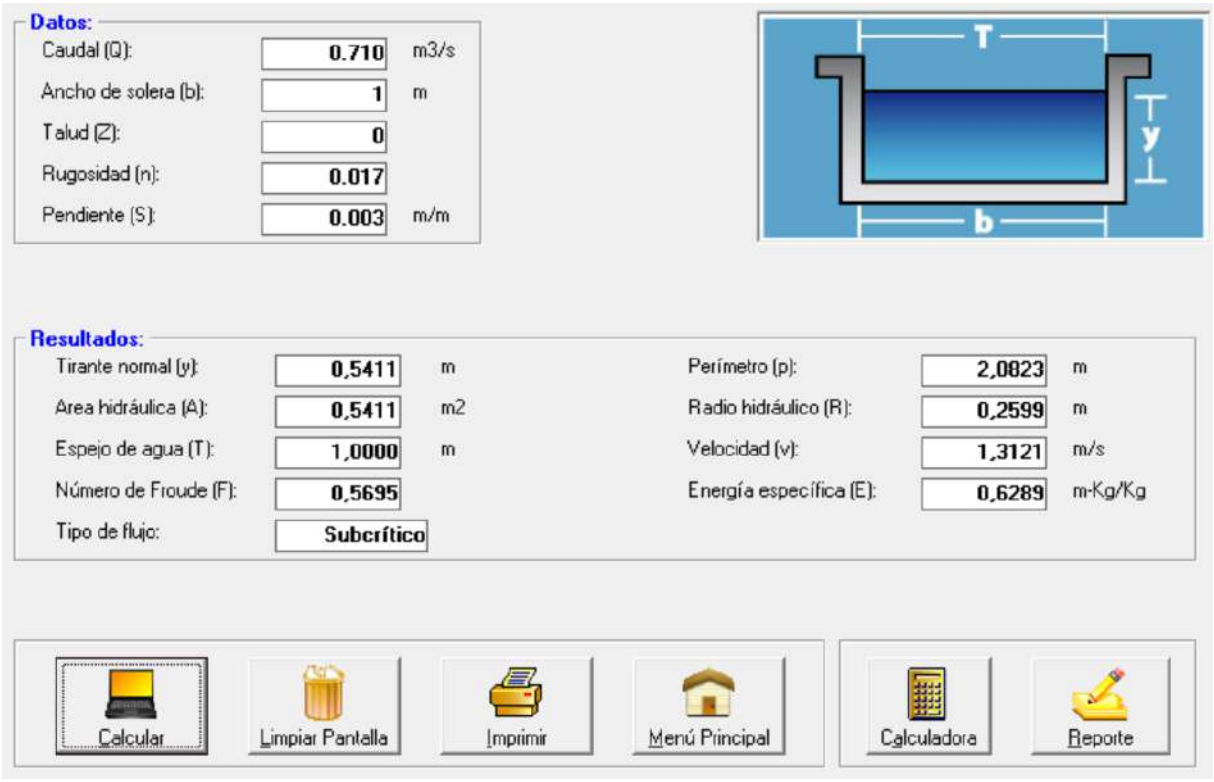
Figura 44. Simulación para un caudal de diseño de 1000 l/s y S=1.00 m x 1.00 m



Nota. Tomado de HCANALES, 2022.

Además, se realizó otra simulación con el caudal aforado de 710 l/s y las dimensiones calculadas anteriormente para analizar el funcionamiento hidráulico en este caso.

Figura 45. Simulación para un caudal de diseño de 710 l/s y S=1.00 m x 1.00 m



Nota. Tomado de HCANALES, 2022.

6.3.Comparación de alternativas y selección de mejor alternativa

Al observar que ambas alternativas cuentan con su respaldo técnico, se procederá a una comparación entre las ventajas de la colocación de tubería PVC en el canal frente al revestimiento del canal de hormigón y viceversa. Además, se establecerá un presupuesto referencial para cada una de ellas.

6.3.1. Ventajas del revestimiento de hormigón del canal

- Una de las grandes ventajas del revestimiento de hormigón frente a la colocación de tubería PVC es el menor costos en materiales. Además, la aplicación de esta alternativa

tampoco requeriría incrementar notablemente su costo en movimiento de tierras ya que actualmente se encuentra funcionando con un revestimiento natural. No ocurre lo mismo con la tubería ya que se requerirá excavar un ancho mínimo de zanja y una altura adicional para la seguridad de la tubería por arriba de ella y la cama de arena por debajo.

- Dada la baja complejidad que involucraría el revestimiento de hormigón del canal, no sería necesario mano de obra calificada.
- Uno de los puntos a considerar en la selección de la alternativa a favor del revestimiento de hormigón es que el 88% de la línea de conducción principal posee este revestimiento, por lo que las transiciones no generarían mayores complicaciones y se lograría homogeneizar el tipo de revestimiento en los canales que lo requieren.

6.3.2. Ventajas de la colocación de tubería PVC en el canal

- La ventaja que trae consigo la colocación de tubería de PVC frente al revestimiento de hormigón está ligada principalmente al tiempo de transporte e instalación del material; pues para los tramos de difícil acceso se deberá tomar en cuenta la facilidad que brinda el envío de la tubería al sitio.
- Otro punto clave que ofrece la colocación de tubería PVC es un menor mantenimiento al ser un conducto cerrado, no interferirá en el flujo de agua la caída de sólidos o derrumbes. Además, el diseño cuenta con una velocidad de autolimpieza y en caso de requerir mantenimiento por parte de sus operadores no involucra mayor complejidad.
- Ante la presencia de descargas domésticas que contaminan el canal, evidenciada en esta investigación, es importante mencionar que esta alternativa evitaría descargas de este tipo. Del mismo modo, colaboraría a la Junta de Aguas “La Victoria” en el control del caudal, impidiendo conexiones clandestinas que usurpen de caudal que no ha sido autorizado.
- Finalmente, dentro del funcionamiento hidráulico, el uso de tubería PVC ofrece varias

ventajas; cuenta con un coeficiente de rugosidad menor que el hormigón, lo que genera menos pérdidas de carga. Igualmente, se mantendría un caudal estable, imposibilitando aportes por la escorrentía en época lluviosa y pérdidas por evaporación en época de verano con temperaturas altas.

6.3.3. Análisis de presupuestos referenciales

El análisis de costos para este estudio se encuentra enfocando en los costos directos (equipos, mano de obra, materiales y transporte) de cada alternativa debido a que son los que se marcarán diferencias entre una alternativa y la otra. De esta manera, se tendrá una visión más clara en la parte financiera para la selección de una opción de revestimiento del canal. Para el cálculo del presupuesto referencial se usaron los valores de los rubros manejados por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra (EMAPA-I) para el 2022 y Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON) en su Revista Construcción de abril a junio del 2022.

Tabla 48. Presupuesto referencial colocación de tubería de PVC Di: 1000 mm.

COLOCACIÓN DE TUBERÍA DE PVC Di=1000mm				
RUBRO	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**PRECIO UNITARIO**	**PRECIO TOTAL**
Desbroce y limpieza	m2	50,82	$ 0,96	$ 48,79
Replanteo y nivelación	m2	50,82	$ 2,14	$ 108,75
Excavación de zanja a mano	m3	130,10	$ 11,66	$ 1.516,96
Suministro e instalación de tubería Di=1000mm	m	50,82	$ 192,92	$ 9.804,19
Relleno compactado con material de excavación	m3	81,31	$ 7,90	$ 642,36
TOTAL COSTOS DIRECTOS				$12.121,06

Nota. Adaptado de “Rubros EMAPA-I 2022”, por EMAPA-I, 2022 & “Revista Construcción”, por CAMICON, 2022.

Figura 46. Esquema de excavación para instalación de tubería

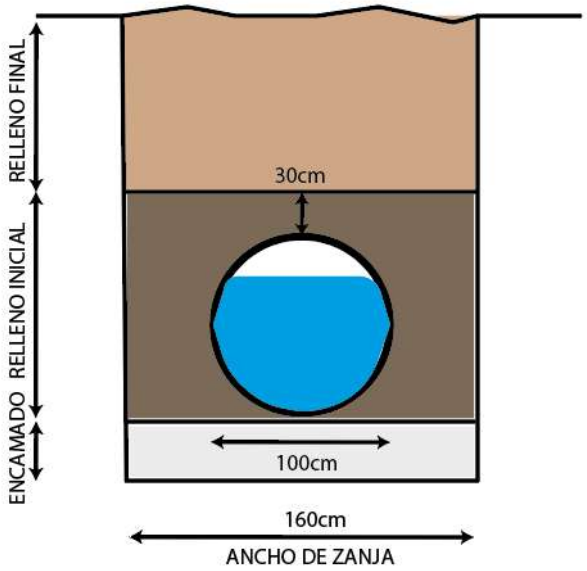
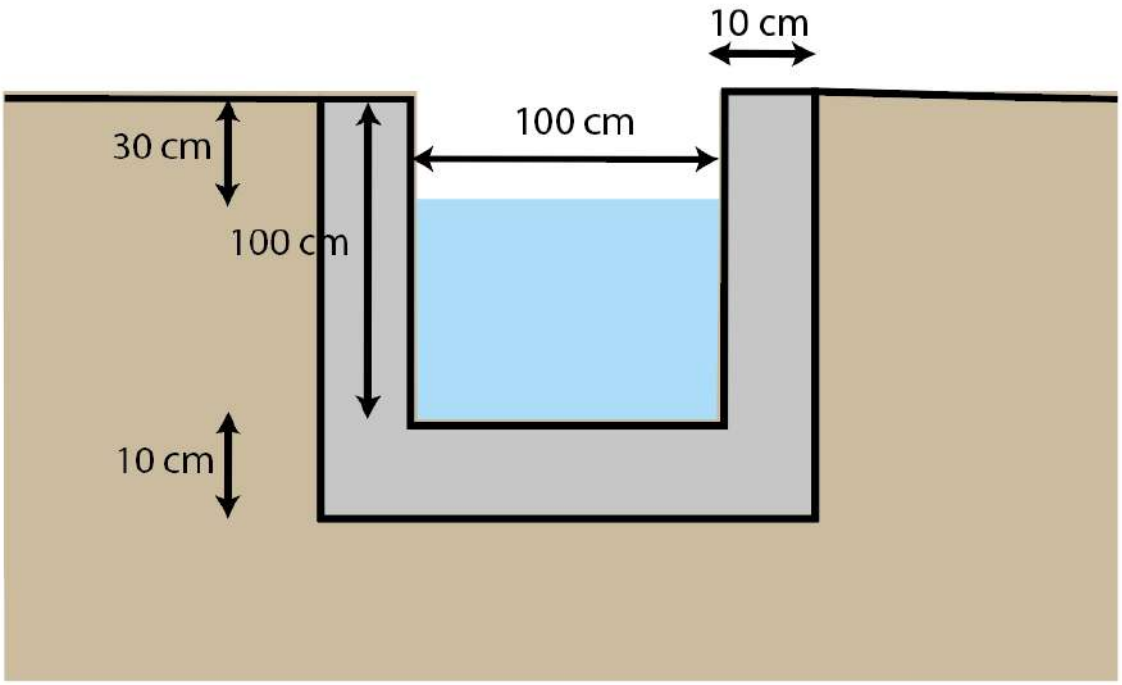


Tabla 49. Presupuesto referencial revestimiento de hormigón f´c=210 kg/cm2; S=1.00 m x 1.00 m; e:10 cm

REVESTIMIENTO DE HORMIGÓN f´c=210kg/cm2				
RUBRO	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**PRECIO UNITARIO**	**PRECIO TOTAL**
Desbroce y limpieza	m2	50,82	$ 0,96	$ 48,79
Replanteo y nivelación	m2	50,82	$ 2,14	$ 108,75
Excavación de zanja a mano	m3	67,0824	$ 11,66	$ 782,18
Encofrado	m2	101,64	$ 10,90	$ 1.107,88
Hormigón simple f'c=210 kg/cm2	m3	16,26	$ 159,48	$ 2.593,07
TOTAL COSTOS DIRECTOS				$ 4.640,67

Nota. Adaptado de "Rubros EMAPA-I 2022", por EMAPA-I, 2022 & "Revista Construcción", por CAMICON, 2022.

Figura 47. Esquema de dimensiones del revestimiento de hormigón de canal



La principal preocupación al aplicar esta alternativa sería el tiempo que tarde en finalizar la obra y en consecuencia la suspensión del agua para los regantes, pero el tramo N°191 tiene una longitud de apenas 50,82 m. Además, con el objetivo de reducir el tiempo de construcción del canal se ha considerado el uso de aditivos acelerantes para el hormigón.

En definitiva, cada una de las alternativas presenta una serie de beneficios como desventajas que se deberán analizar para cada situación. Sin embargo, dada la notable diferencia de casi el triple del costo de la tubería de PVC frente al revestimiento de hormigón, se sugiere la aplicación de esta última a menos que se disponga de un presupuesto formidable.

CAPÍTULO VII: PLANTEAMIENTO Y COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA

Una vez que se ha evaluado determinados parámetros de la calidad del agua del canal de riego "La Victoria" y los resultados han cumplido satisfactoriamente con los límites establecidos, se plantea una serie de acciones que ayudarán a mejorar y/o mantener los bajos niveles de contaminación reflejados en los resultados de los ensayos de laboratorio.

7.1. Planteamiento de alternativas

7.1.1. Obstrucciones a descargas directas al canal

Como se pudo observar en el diagnóstico de calidad del agua del canal, existen viviendas que aún poseen conexiones al canal y se sospecha que son usadas eventualmente. Cabe recalcar que, dichas viviendas ya cuentan con sus respectivas conexiones al sistema de alcantarillado; por tal motivo, se plantea que todas estas conexiones domésticas sean selladas definitivamente. La aplicación de esta medida no involucra grandes inversiones ni la temporal suspensión del flujo de agua del canal por lo que se considera una de las más viables.

7.1.2. Concientización a usuarios del canal de riego sobre problemas ocasionados por la contaminación del agua.

Otra de las medidas que pueden efectuarse, constituye la capacitación a los usuarios del canal de riego mediante la exposición de los daños que trae consigo la contaminación del agua de riego. Como se explicó en la revisión bibliográfica de esta investigación, existen efectos perjudiciales sobre todo para los cultivos que pueden evitarse con la adopción de alternativas que permitan regar con agua de calidad. La divulgación de estos riesgos puede realizarse de manera oral en la Asamblea General que lleva a cabo cada año la directiva de la Junta de Aguas la Victoria o de manera escrita en el folleto informativo que se entrega a cada uno de los regantes las oficinas.

7.1.3. Trabajo conjunto del GADM-AA y Junta de Aguas “La Victoria” para el cuidado del agua mediante la promulgación de ordenanzas

Una de las opciones que se plantean para conservar a futuro la calidad del agua de riego del canal, es la gestión de la directiva de la Junta de Aguas “La Victoria” con el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Antonio Ante. La aplicación de ordenanzas podrían ser una iniciativa que garantice el cumplimiento de ciertas disposiciones en pro de la protección del agua del canal de riego. Pues uno de los factores contaminantes que se analizó en la definición del tramo crítico para la evaluación de la calidad del agua del canal, fue el paso del canal por centros poblados identificando descargas directas de viviendas al canal. Considerando este hecho, se propone establecer un retiro para las construcciones que se planifiquen en el cantón y colinden con el canal de riego.

7.2. Comparación y selección de mejor alternativa

En resumen, todas las alternativas planteadas son viables ya que no involucran mayor costo financiero y pueden ejecutarse. Por ello la recomendación es trabajar en todas ellas de manera simultánea para obtener resultados con prontitud.

CAPÍTULO VIII: RESULTADOS MODELACIÓN HIDROLÓGICA

Ante la persistente solicitud de un mayor caudal para los cultivos de los usuarios del sistema de riego “La Victoria”, y los planes de la directiva por brindar un servicio óptimo a los actuales y futuros regantes, se analizó en un inicio las condiciones hidráulicas del canal. Si bien un diagnóstico hidráulico del canal contribuyó con el fin de esta investigación, se consideró importante un estudio de las condiciones hidrológicas de la zona para conocer la oferta de caudal para la acequia. No obstante, dadas las múltiples limitantes de información, en cuanto a datos meteorológicos y morfológicos de la cuenca, se realizó este modelo hidrológico como un ejercicio teórico, con el que se pueda tener una aproximación de la situación hidrológica de la microcuenca y el procedimiento para construir un modelo hidrológico. La metodología utilizada para la modelación de un evento, en una microcuenca que contiene al canal de riego “La Victoria”, se detalla a continuación:

8.1.Proceso de modelación hidrológica en HEC – HMS

Una vez que se ha obtenido la información y ha sido procesada previamente, en caso de requerirlo, como el caso de las características físicas de la cuenca en el software QGIS, se puede proceder al modelamiento en HEC – HMS.

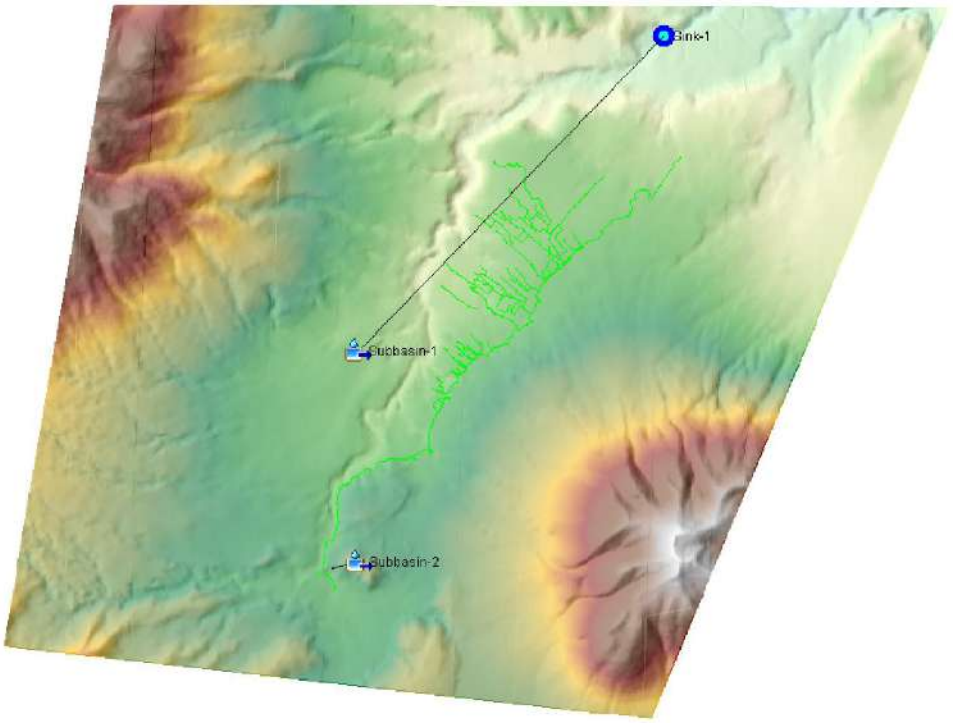
8.1.1. Modelo de la cuenca

El primer paso para la modelación hidrológica de una microcuenca es importar el modelo de elevación digital (DEM) a QGIS a través del comando *Terrain Data*, acompañado de su sistema de coordenadas. En este caso el (DEM) extraído de estudio previos, ya poseía su sistema de coordenadas por lo que se configuro automáticamente en el modelo de la cuenca.

Cabe señalar nuevamente que HEC – HMS permite importar capas procesadas de otros softwares. En este modelo se montó la red de conducción y el punto de captación del sistema

de riego “La Victoria”, para comprobar que los límites de la microcuenca contengan a todos los elementos del sistema.

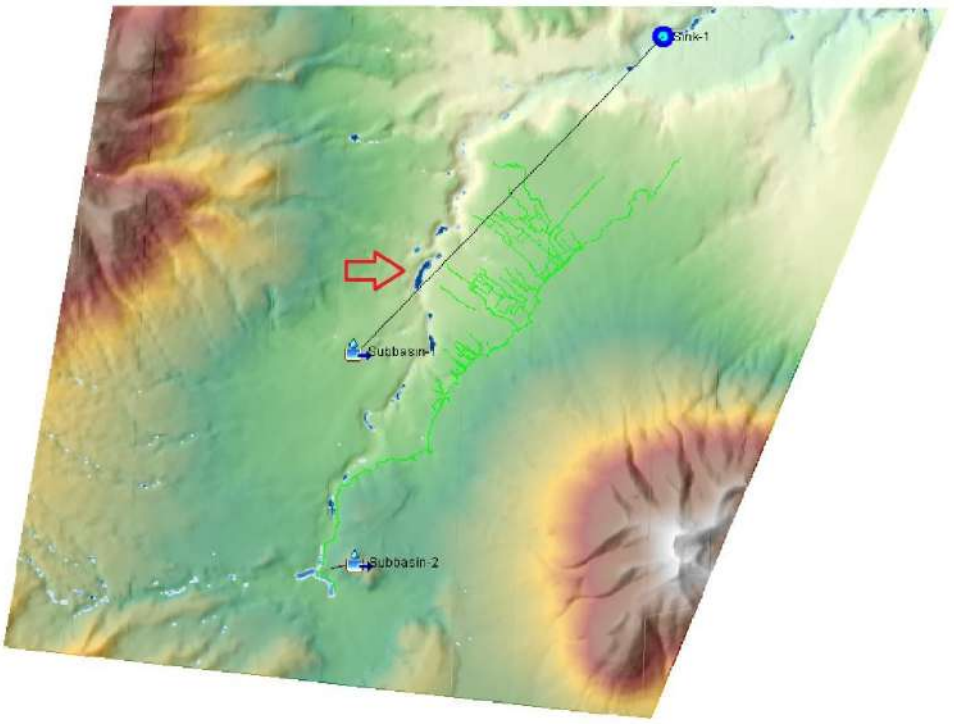
Figura 48. *Modelo de la microcuenca que contiene al canal de riego “La Victoria”*



Nota. Tomado de HEC – HMS, 2022.

En una segunda instancia, se corregirá los valores de las cotas que se encuentren fuera de lo normal en el modelo de elevación mediante el comando *Preprocess Sinks.* Se puede apreciar en la *Figura 49* como se rellenó estos valores atípicos y se muestran con color azul.

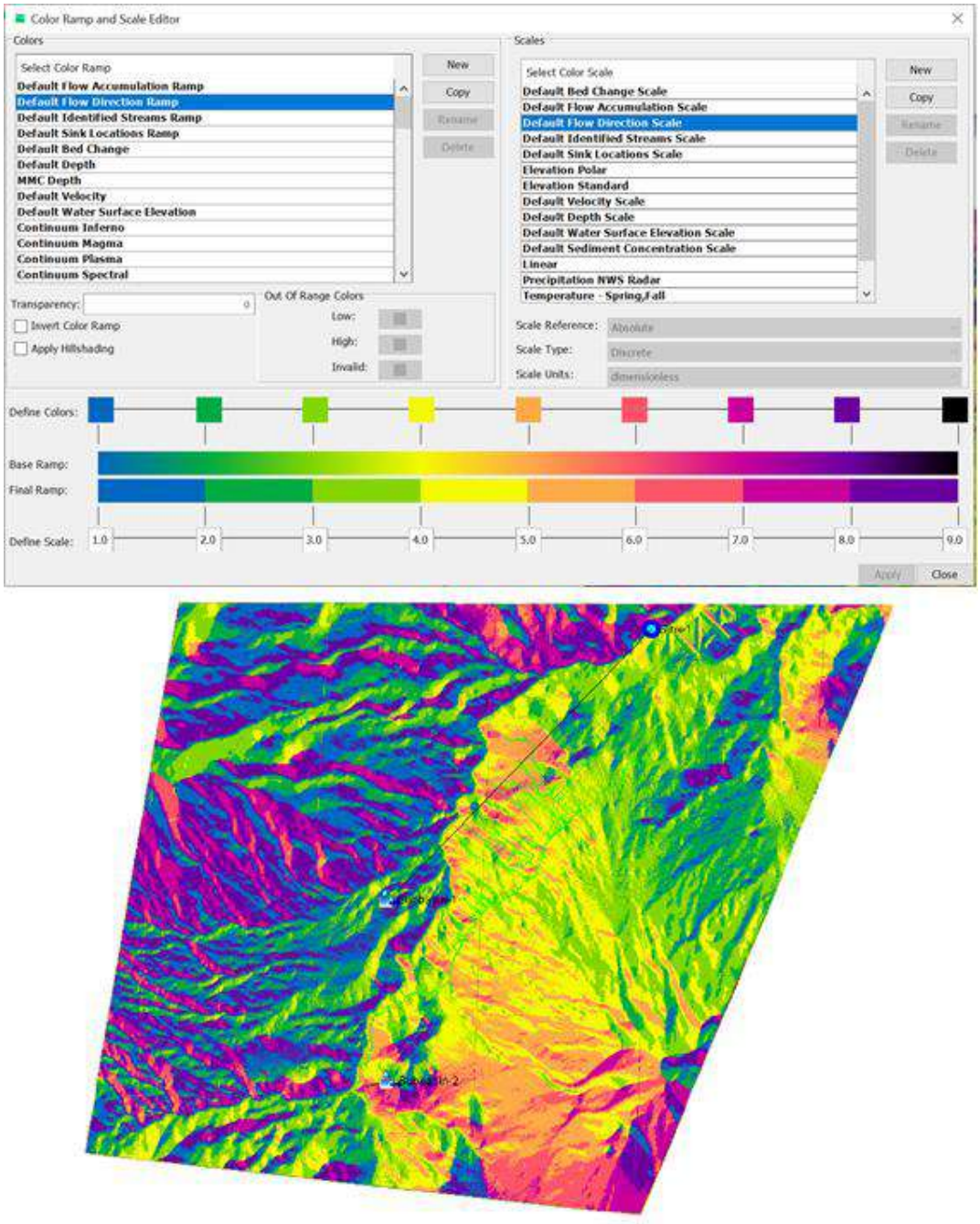
Figura 49. Corrección de valores anormales en elevación del modelo



Nota. Tomado de HEC – HMS, 2022.

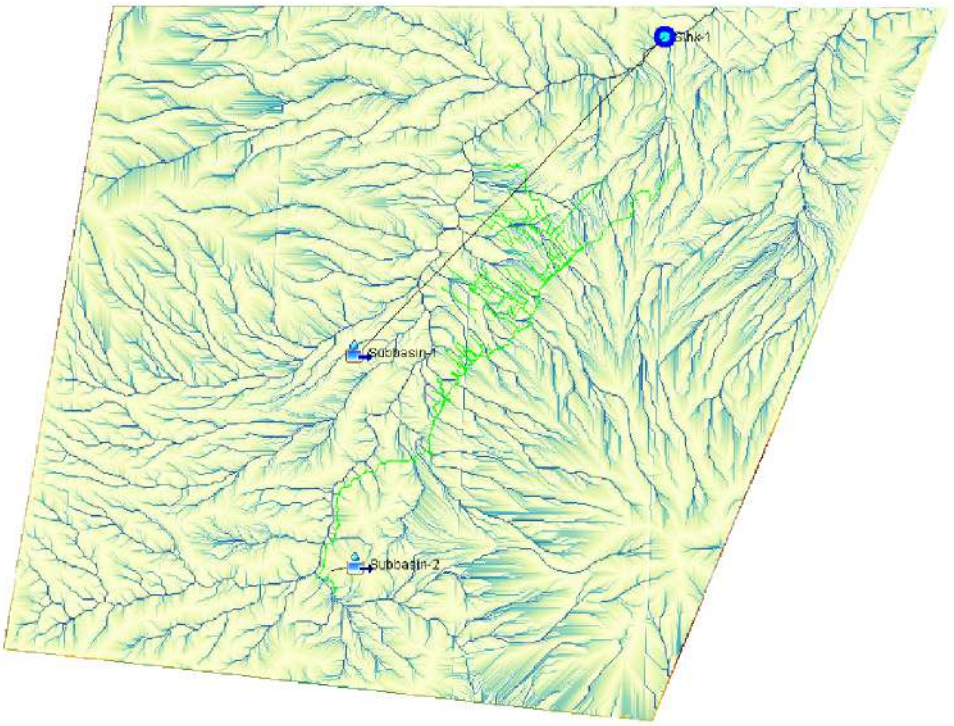
De igual manera, se procesará la cuenca analizando el drenaje, obteniendo como resultado la dirección de flujo y los puntos de acumulación por medio del comando *Preprocess Drainage*.

Figura 50. Dirección de flujo



Nota. Tomado de HEC – HMS, 2022.

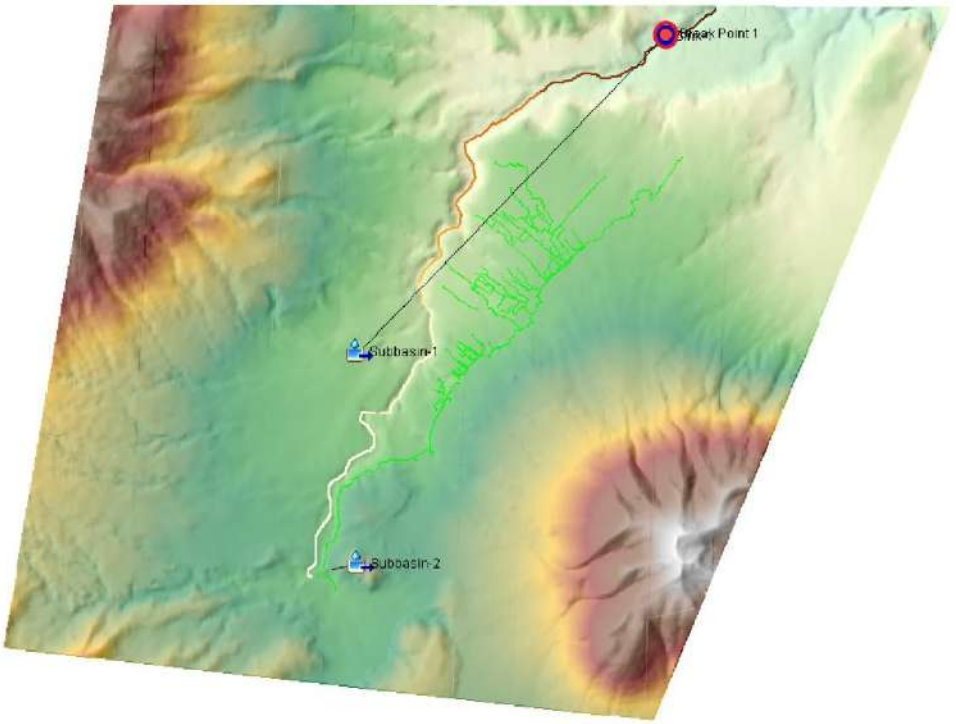
Figura 51. Acumulación de flujo



Nota. Tomado de HEC – HMS, 2022.

Para la delimitación de la microcuenca, es necesario conocer las corrientes originadas por las irregularidades topográficas, que el programa identifica recurriendo al comando *Identify Streams.* En esta etapa se puede observar como la corriente señalada corresponde a la fuente de agua del canal, el río Jatunyacu. Luego, se seleccionará un punto de quiebre dentro de la corriente, conocido en el programa como *Breakpoint.*

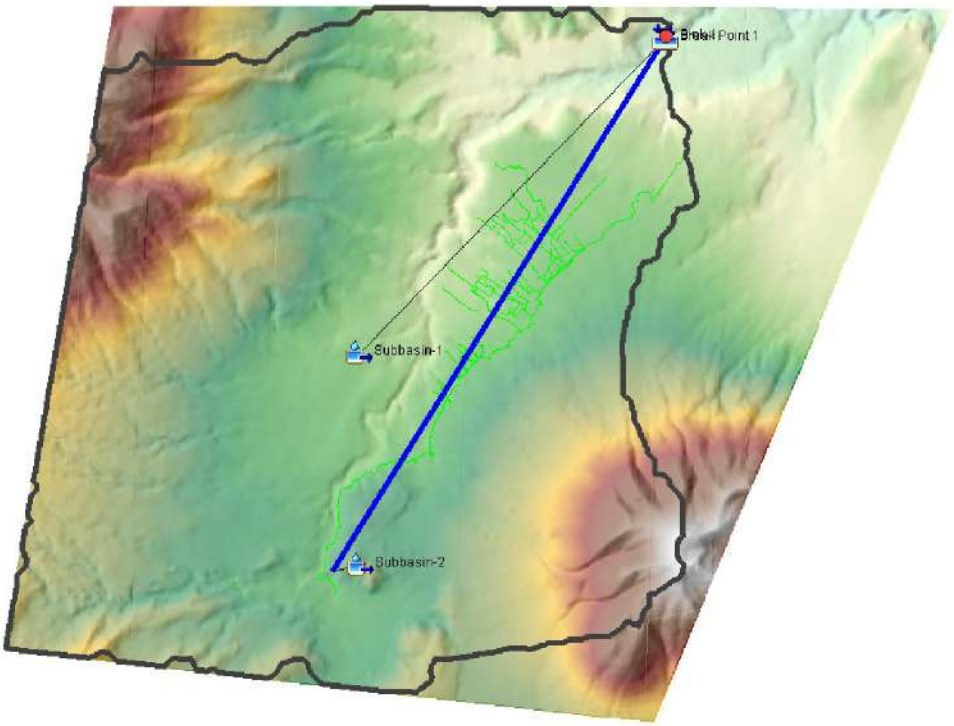
Figura 52. Identificación de corrientes y puntos de quiebre



Nota. Tomado de HEC – HMS, 2022.

Finalmente, aplicamos la herramienta *Delineate Elements* y se mostrará la microcuenca con sus elementos (*Subbasin, Reach, Sink)* que arroja por defecto el software. Además, se permite añadir elementos que se consideren relevantes para el estudio. En este caso, se añadió otro elemento *Subbasin,* con la finalidad de añadir otros parámetros para la cuenca y *Reach* para observar que sucede con el caudal en un tramo paralelo al canal de riego.

Figura 53. Delimitación de microcuenca



Nota. Tomado de HEC – HMS, 2022.

Una vez culminada la construcción morfológica de la microcuenca, se procede a insertar los datos que puedan representarla de mejor manera. Existe información que se solicita de manera obligatoria para realizar la corrida, entre estos requerimientos está el conectar los elementos que contiene la microcuenca e ingresar los valores para el *Área de la cuenca*, *Coordenadas, Método de transformación* y *Método para calcular las pérdidas.* En el último requerimiento se optó por Método SCS para abstracciones, como se explicó en la revisión bibliográfica de esta investigación, el método permite conocer la precipitación neta. De esta manera, se selecciona la curva número (CN) a través de tablas, la curva número es un parámetro empírico mediante la cual se estiman las abstracciones producto de fenómenos como la intercepción, detención superficial, etc. En estudios e investigaciones hidrológicas realizadas por el INAMHI (2015), específicamente en "Cuenca Río Mira: Mapa de escurrimiento", se determinó un factor de *73*,

3046, que corresponde a la curva número relacionada a la estación *H0015: Chota en Pte Carretera*, la cual se encuentra aproximadamente a 30 km del canal. Dicho factor se aplicó en el modelo, junto a información hidrometeorológica de la misma estación. No obstante, se podría zonificar la microcuenca para aplicar un factor a cada zona de acuerdo con sus condiciones, en caso de disponer de la información suficiente.

Del mismo modo que para la curva número se obtuvo el tiempo de retardo de *355*,13 min basado en el estudio de INAMHI (2015), que es el calculado a partir del tiempo de concentración y se solicita para la transformación de datos de precipitación a escorrentía.

Así también, se pidieron datos relacionados al flujo base. Sin emabrgo, este fue un parámetro del que se disponía de muy poca información, por lo que se optó por poner valores generales en inquietudes como *Descarga inicial, Constate de recesión y Ratio.*

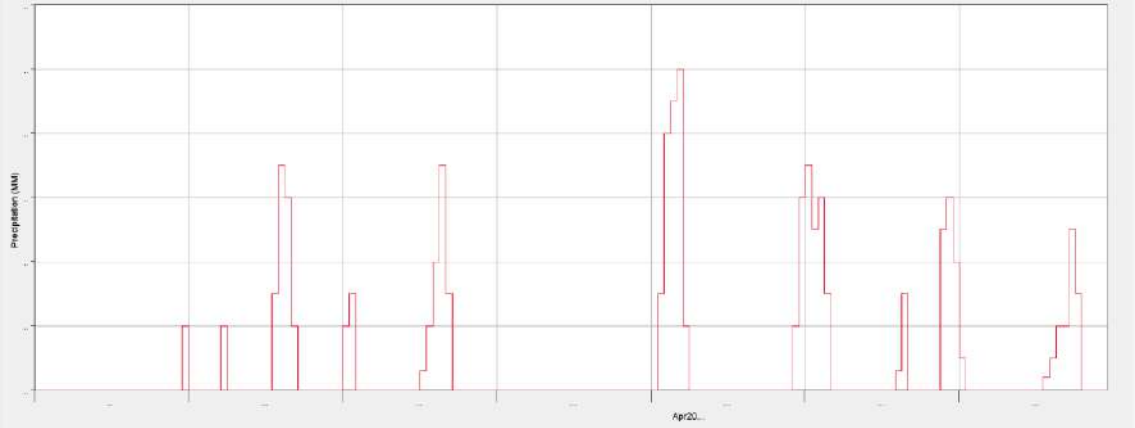
8.1.2. Datos de series de tiempo

A través de esta herramienta, el software permite ingresar varios datos hidrometeorológicos como precipitación, caudal, temperatura, evapotranspiración, humedad, entre otros. No obstante, se debe considerar que estos datos deberán tener una relación en cuanto al tiempo y espacio para que el modelo tenga coherencia.

- Precipitación de un evento

Dada la importancia de la precipitación, en el análisis hidrológico, fue el primer parámetro seleccionado como parte del input del modelo. Como se mencionó anteriormente, se añadieron valores en intervalos horarios proporcionados por el INAMHI, de una estación cercana. Una vez ingresado, se genera un hietograma y en caso de no tener más información hidrometeorológica compatible se continúa a la siguiente etapa.

Figura 54. Hietograma generado al ingresar datos de precipitación



Nota. Tomado de HEC – HMS, 2022.

- Temperatura y Evapotranspiración

Para los demás parámetros meteorológicos, como temperatura y evapotranspiración, existieron mayores dificultades para conseguir información específica en intervalos no mayores 1 día, que recepta el software. Por ello, se aprovechó la información disponible de promedios mensuales del período 2010-2021, y se procuró mantener este valor para abril, mes donde se ocurrió el evento en mención.

8.1.3. Modelo meteorológico

Este requerimiento del programa tiene la función de atar el modelo de la cuenca con los datos hidrometeorológicos. Es sumamente necesario para poder avanzar en el proyecto.

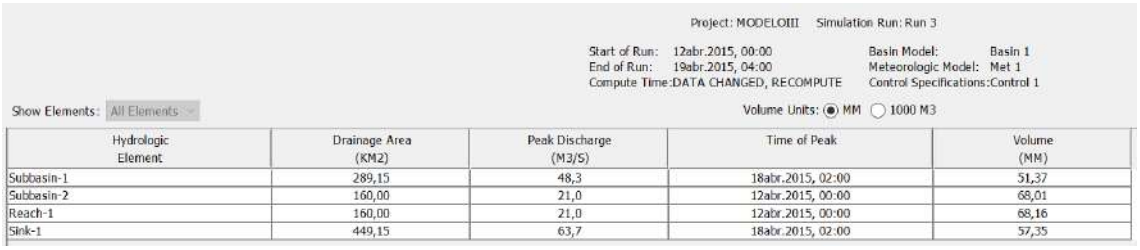
8.1.4. Especificaciones de control y corrida

Como etapa final, se definen los parámetros de control como el periodo en el que se realizará la corrida y los intervalos de tiempo en los que se desea que se muestren los resultados y se procede a computar los resultados.

8.2.Resultados del modelo hidrológico

Una vez realizada con éxito la corrida, se pueden visualizar los resultados. Principalmente, se obtuvo datos interesantes relacionados a la escorrentía superficial en la microcuenca. Como un resumen global se despliega una tabla donde se muestra el *Área de drenaje, Picos de descarga, Tiempo en el que ocurre el pico de descarga* y *Volumen* para cada elemento analizado.

Figura 55. Resumen global de todos los elementos de la cuenca.



Project: MODELOIII Simulation Run: Run 3

Start of Run: 12abr.2015, 00:00 Basin Model: Basin 1
End of Run: 19abr.2015, 04:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time:DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications:Control 1

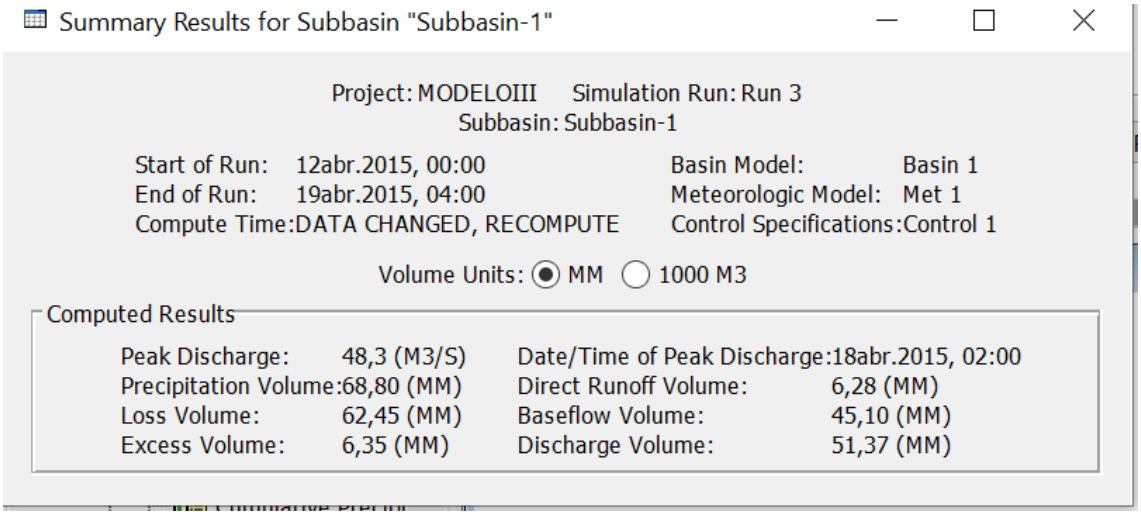
Show Elements: All Elements Volume Units: (•) MM ( ) 1000 M3

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Subbasin-1	289,15	48,3	18abr.2015, 02:00	51,37
Subbasin-2	160,00	21,0	12abr.2015, 00:00	68,01
Reach-1	160,00	21,0	12abr.2015, 00:00	68,16
Sink-1	449,15	63,7	18abr.2015, 02:00	57,35

Nota. Tomado de HEC – HMS, 2022.

De la misma manera, se puede observar resultados específicos de cada elemento con mayores detalles. De acuerdo, a las especificaciones de control, será posible ver hasta en intervalos horarios *Precipitación, Perdidas, Exceso, Flujo Directo, Flujo Base, Flujo Total.* Se anexa la tabla con todos los valores obtenidos.

Figura 56. Resumen de la Microcuenca - 1



Summary Results for Subbasin "Subbasin-1"

Project: MODELOIII Simulation Run: Run 3
Subbasin: Subbasin-1

Start of Run: 12abr.2015, 00:00 Basin Model: Basin 1
End of Run: 19abr.2015, 04:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time:DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications:Control 1

Volume Units: (•) MM ( ) 1000 M3

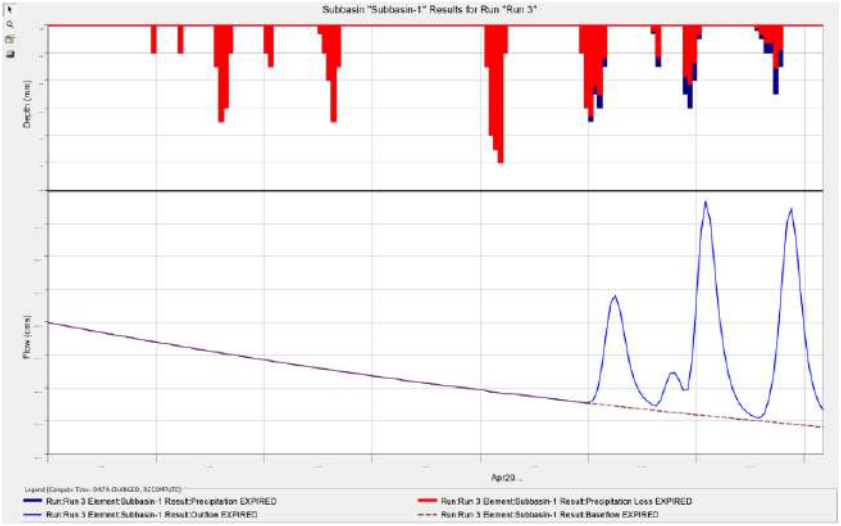
Computed Results

Peak Discharge: 48,3 (M3/S) Date/Time of Peak Discharge:18abr.2015, 02:00
Precipitation Volume:68,80 (MM) Direct Runoff Volume: 6,28 (MM)
Loss Volume: 62,45 (MM) Baseflow Volume: 45,10 (MM)
Excess Volume: 6,35 (MM) Discharge Volume: 51,37 (MM)

Nota. Tomado de HEC – HMS, 2022.

Además, se muestra también de manera gráfica, un hietograma e hidrograma, indicando el momento en el que el suelo se satura e inicia la precipitación neta, es decir se da lugar a la escorrentía en la microcuenca y se representa su variación en el período de tiempo seleccionado para el análisis.

Figura 57. Hietograma e Hidrograma resultantes de la Microcuenca – 1.



Nota. Tomado de HEC – HMS, 2022.

Adicionalmente, y suponiendo que se cuente con la información necesaria, se podría realizar una comparación de los valores obtenidos en el programa HEC - HMS con los solicitados al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), en parámetros como Caudal Medio Diario.

De los datos disponibles, se realizó un ejercicio donde se encontró las mayores similitudes en el día 14 de abril de 2015. Mientras una estación hidrológica cercana al canal de riego "La Victoria", y monitoreada por el INAMHI, midió un caudal medio de 26,8 m^3/s, a través de HEC – HMS se calculó un caudal de 23,15 m^3/s. Es decir, un error del 13,6 %. Se reitera que los resultados calculados pudieran ser más cercanos a los medidos directamente si se contase con toda la información necesaria que, a pesar de los esfuerzos y acercamientos a las entidades responsables, no pudo ser facilitada.

CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. Conclusiones

- Basado en los resultados de los análisis realizados en el laboratorio, el agua del canal de riego "La Victoria", actualmente si cumple con el estándar de calidad de aguas para uso agrícola en riego, ya que las concentraciones de Coliformes fecales, DBO5, Sólidos Disueltos Totales, pH, Parásitos (Nematodos intestinales) y Coliformes Totales no exceden el valor permisible establecido en el Libro I Anexo VI Del TULSMA.
- La intervención de la empresa privada Fabrinorte S.A. y el GADM de Otavalo, en el tratamiento de aguas que contaminaban al río Jatunyacu, fuente del caudal del canal, y la reducción del número de descargas clandestinas al canal, fueron factores que influyeron en la mejora de la calidad del agua, con respecto a años anteriores.
- Con base en los resultados de la aplicación del modelo hidráulico, se puede determinar que el funcionamiento del sistema de riego "La Victoria" actualmente cumple con las necesidades de conducción para el abastecimiento de los usuarios.
- Dada la baja inversión en los últimos años, no ha habido un mejoramiento sustancial de la red de conducción, por lo que actualmente queda pendiente un 10% por revestir. Es importante continuar con las mejoras de los tramos que requieren intervención, en función al presupuesto disponible en la Junta de Aguas, para optimizar el caudal captado y evitar incidentes que exijan la suspensión temporal del servicio.
- El ejercicio teórico de modelación hidrológica permitió conocer datos relevantes con respecto a la escorrentía en la *Microcuenca – 1*, por ejemplo, el caudal máximo fue de 48,3 m^3/s y la fecha y hora a la que este suceso ocurrió fue el 18 de abril de 2015 a las 2:00, entre otros datos que podrían ser utilizados para comprender las condiciones hidrológicas que determinan la oferta de caudal, en este caso para riego.
- Los resultados del modelo hidrológico durante el 14 de abril de 2015 obtuvieron un

13,6% de error, en el cálculo del caudal medio diario con respecto a datos reales captados de una estación hidrológica cercana. Para obtener resultados con un menor porcentaje de error, se requiere información meteorológica más detallada por parte del Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología (INAMHI).

9.2. Recomendaciones

- A pesar de que la calidad del agua del canal de riego "La Victoria" ya se encuentra dentro de los límites establecidos por el Anexo 1 del Libro VI de la TULSMA (2015), tanto en época de verano como de invierno, se sugiere realizar muestreos en el futuro para mantener monitoreada la calidad del agua.
- Es importante la ejecución de las alternativas planteadas en esta investigación para garantizar la calidad del agua, de manera coordinada con los organismos de apoyo a la Junta de Aguas "La Victoria" como el GADM-AA y el GADP-I.
- Se recomienda a la directiva de la Junta de Aguas de Riego "La Victoria" continuar con la gestión en conjunto con la Prefectura de Imbabura para la intervención de tramos restantes que aún no poseen revestimiento y representan el 10% de la longitud total del canal.
- Si bien en este estudio se determinó que existe el caudal suficiente para la demanda actual de los usuarios, se sugiere que las entidades competentes como el Ministerio de Agricultura, GADM-AA y GADP-I incentiven la conservación de la frontera agrícola para garantizar la seguridad alimentaria de la zona.
- Actualmente se dispone de un Plan Provincial de Riego y Drenaje 2017 – 2037 para Imbabura, sin embargo, se presenta la información de manera general para cada cantón. Es recomendable replicar estudios similares a este para otros sistemas de riego en la provincia.
- Ante la necesidad de información hidrometeorológica veraz, es recomendable plantear

un convenio interinstitucional con el Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología para acceder oportunamente a la información puesto que este es un inconveniente para las investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, A. (03 de Febrero de 2020). *El Comercio.* Obtenido de Empresas apuestan por la sustentabilidad para producir sus prendas en este 2020: https://www.elcomercio.com/tendencias/empresas-moda-sustentabilidad-produccion-prendas.html

Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Criterios de Diseño de Obras Hidráulicas para la Formulación de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico.* Lima.

Ayers, R., & Wescott, D. (1994). *Water quality for agriculture.* Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations: https://www.fao.org/3/t0234e/T0234E00.htm#TOC

Blair, E. (1979). *Riego por goteo.* San Jóse, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.

Bolaños, S., & Anrango, A. (2017). *Rediseño del canal de Riego la Victoria ubicado en las Parroquias San Roque, Atuntaqui, Chaltura, Natabuela e Imbaya del Cantón Antonio Ante, Provincia de Imbabura.* Quito.

Bonet, C., & Ricardo, M. (2011). *Calidad del agua de riego y su posible efecto en los rendimientos agrícolas en la Empresa de Cultivos Varios Sierra de Cubitas.* Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542011000300003

Cabrera, J. (s.f.). *Modelos Hidrológicos.* Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

CAF, B. (2015). *Agua y seguridad alimentaria.* Corea.

CAMICON. (2022). Boletín técnico. *Revista Construcción*.

Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego.* Honduras: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Castellón , J., Bernal, R., & Hernández, M. (2014). *Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala.*

Chigor, V., Umoh , V., Okuofu, C., Ameh, J., Igbinosa, E., & Okoh, A. (2012). Water quality assessment: surface water sources used for drinking and irrigation in Zaria, Nigeria are a public health hazard. *Enviromental Monitoring and Assessment*, 184 (5): 3389–3400 doi: 10.1007/s10661-011-2396-9.

Consultora Hidrosoft. (2017). *Base de datos.*

Crespo Pérez, D. (2015). *Propuesta de procedimiento para la evaluación y diagnóstico de obras.* Santa Clara.

Demin, P. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego.* San Fernando del Valle de Catamarca: Ediciones INTA.

Ecuador Documents. (10 de Octubre de 2015). *FDOCUMENTS.* Obtenido de Pérdidas por infiltración en canales: https://fdocuments.ec/document/perdidas-por-infiltracion-en-canales.html

EKOS. (03 de Diciembre de 2013). *Visitamos a Pinto.* Obtenido de https://www.ekosnegocios.com/articulo/visitamos-a-pinto

El Universo. (29 de noviembre de 2016). *Sistemas de riego: Complementan la actividad agrícola*. Obtenido de https://www.eluniverso.com/tendencias/2016/11/29/nota/5928832/sistemas-riego-complementan-actividad-agricola/

EMAPA-I. (2022). *Rubros EMAPA-I 2022.* Ibarra.

EMAPAO. (02 de diciembre de 2020). *EMAPAO - Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantaruillado de la ciudad de Otavalo.* Obtenido de ¡Trabajo permanente al servicio de todos!: https://emapao.gob.ec/web/trabajo-permanente-al-servicio-de-todos/

FAO. (2003). *Estructuras de conducción del agua.* Obtenido de Métodos sencillos para la acuicultura: https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6708/x6708s08.htm#top

FAO. (2008). *Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado.* Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2011). *El Estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo.* Madrid: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO, F. (2015). *Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA) Centroamérica.* Obtenido de Conceptos Básicos: https://www.fao.org/in-action/pesa-centroamerica/temas/conceptos-basicos/es/

French, R. H. (1988). *Hidráulica de canales abiertos.* McGraw-Hill Interamericana.

Gaibor, A., & Guano, M. (septiembre de 2012). *Resistencia de la cangahua en función de su composición mineralógica y contenido de humedad en dos sectores de Quito: Sur y Norte*. Obtenido de https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3981

García, Á. (Junio de 2012). *Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego.* Obtenido de International Plant Nutrition Institute (IPNI):

http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf

Gobierno Provincial de Tungurahua. (2014). *Anuario Meteorológico.* Ambato.

Holzapfel, E., Pannunzio, A., Lorite, I., Silva de Oliveira, A., & Farkas, I. (2009). *Design and Management of Irrigation Systems.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/228344571

IDEAM, I. d. (2018). *Protocolo de Modelación Hidrológica e Hidráulica.* Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023833/Protocolo_Modelacion_HH.pdf

IDEAM, I. d. (s.f.). *Modelización de sistemas hidrológicos.* Obtenido de Capítulo 39: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/012406/Cap39.pdf

IEE, I. (Julio de 2013). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1 : 25000.*

INAMHI, I. (2015). *Cuenca Río Mira.* Obtenido de Mapa de escurrimiento: https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DEL_MIRA_2.pdf

Indutexma Textiles. (2020). *Planta de Tratamiento Biológica PTAR.* Otavalo, Ecuador.

INEC, I. N. (2016). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2016.*

INEN. (2013). *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.* . Quito, Ecuador.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos , (. (2013). *ENCUESTA DE SUPERFICIE Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA CONTINUA.* Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-

inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac%202013/Sintesis_metodologicaESPAC2013.pdf

Junta de aguas de riego "Acequia La Victoria". (2017). *Estatuto reformado de la junta de aguas de riego "Acequia La Victoria" del Cantón Antonio Ante.* Atuntaqui.

Krochin, S. (1986). *Diseño Hidráulico.* Quito: Editorial de la Escuela Politécnica Nacional.

Linsley, R., Kohler, M., & Paulus, J. (1977). *Hidrología para ingenieros.* Bogotá: McGraw-Hill Latinoamericana, S.A.

Losada, A. (01 de Octubre de 1997). *Glosario sobre temas de riego.* Obtenido de Ingeniería del agua: https://doi.org/10.4995/ia.1997.2736

MAGAP. (2011). *Plan Nacional de Riego y Drenaje.*

Menchaca, S., Ornelas, O., & Héctor, H. (01 de abril de 2019). *Contaminación antrópica por organismos microbiológicos en la microcuenca del río Pixquiac*. Obtenido de https://doi.org/10.25009/uvserva.v0i7.2604

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura . (2013). *Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a nivel nacional escala 1: 25 000.* Antonio Ante.

Ministerio del Ambiente, A. y. (07 de marzo de 2017). *Las descargas de aguas residuales son controladas por el Ministerio del Ambiente.* Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/las-descargas-de-aguas-residuales-son-controladas-por-el-ministerio-del-ambiente/

Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería.* Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Munnaf, A., Islam , M., Tusher, T., Kabir, M., & Molla, M. (2014). Investigation of Water Quality Parameters Discharged from Textile Dyeing. *J. Environ. Sci. & Natural Resources*, 7(1): 257– 63. ISSN 1999-7361.

ONU, O. (2021). *Objetivos de Desarrollo Sostenible.* Obtenido de Objetivo 2: Poner fin al hambre: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/

Prefectura de Imbabura. (2017). *Plan Provincial de Riego y Drenaje de Imbabura 2017-2037.*

Prefectura de Imbabura. (09 de enero de 2018). *3000 usuarios de la acequia La Victoria de Antonio Ante se benefician. La Prefectura aporta para el mejoramiento de la distribución de agua de riego.* Obtenido de imbabura.gob.ec/index.php/component/k2/item/1132-3000-usuarios-de-la-acequia-la-victoria-de-antonio-ante-se-benefician-la-prefectura-aporta-para-el-mejoramiento-de-la-distribucion-de-agua-de-riego

Prefectura de Imbabura. (2020). *Rendición de cuentas: Gestión 2020.*

PROAIN. (08 de octubre de 2020). *PROAIN tecnología agrícola.* Obtenido de Calidad del agua para riego agrícola: https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/calidad-del-agua-para-riego-agricola

PUCESI. (2017). *Propuesta de un Sistema de Tratamiento para Mejorar la Calidad de Agua de Riego de la Acequia "La Victoria", Ubicada en el Cantón Antonio Ante.".*

Quinteros, J., Gómez, J., Solano, M., Llumiquinga, G., Burgos, C., & Carrera, D. (12 de diciembre de 2019). *Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Togllahuayco.* Obtenido de https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641

Sánchez García , A., García Navarro, P., & Playán Jubillar, E. (2002). *Modelo de simulación de riego por surcos inundados.* Obtenido de Ingeniería del agua, 9. (3): 333–346.: https://doi.org/10.4995/ia.2002.2623

Sevillano, A. (2018). *Tratamiento de agua en la canalización de la acequia "La Victoria" en el cantón Antonio Ante en la provincia de Imbabura.*

SNI, S. N. (2013). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. Sistemas Productivos. Cantón Antonio Ante.* Antonio Ante.

TULSMA, T. U. (2015). Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo1.

U.S. Geological Survey. (29 de Agosto de 2017). *Calidad del Agua.* Obtenido de https://water.usgs.gov/gotita/waterquality.html

US Army Corps of Engineers. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS.* Washington DC.

USGS, U. (2022). *EarthExplorer*. Obtenido de https://earthexplorer.usgs.gov/

Ven Te Chow. (1994). *Hidráulica de canales abiertos.* Santafé de Bogotá, Colombia.: McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A.

WFP, P. (2021). *Anual Country Report 2021 Ecuador.* Obtenido de Programme Performance: https://www.wfp.org/operations/annual-country-report?operation_id=EC01&year=2021#/22294/22296

WFP, P. M. (2021). *Informe de Seguridad Alimentaria Evaluacion Remota Ecuador (4ta Ronda – AGOSTO 2021).*

Yaku Company. (2017). *Estudio de Impacto Ambiental Ex Post FABRINORTE CÍA. LTDA.* . Quito.

Zapatta, A., & Gasselin, P. (2005). *El riego en el Ecuador: problemática, debate y políticas. Camaren Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas.* Obtenido de https://hal.inrae.fr/hal-02833506

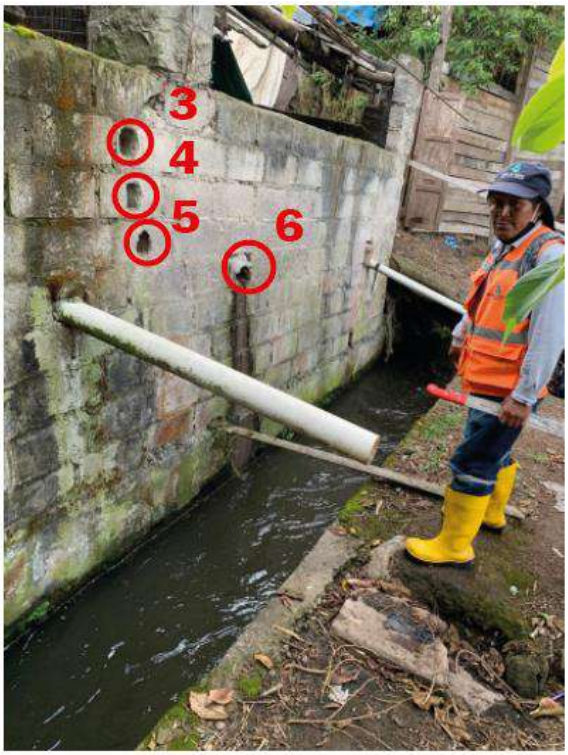
Zucarelli, G., & del Valle, M. (s.f.). *Flujo en canales abiertos: caracterización en cursos de la Provincia de Santa Fé.* Argentina.

ANEXOS

FOTOGRAFÍAS DEL LEVANTAMIENTO DE DESCARGAS EN TRAMO CRÍTICO

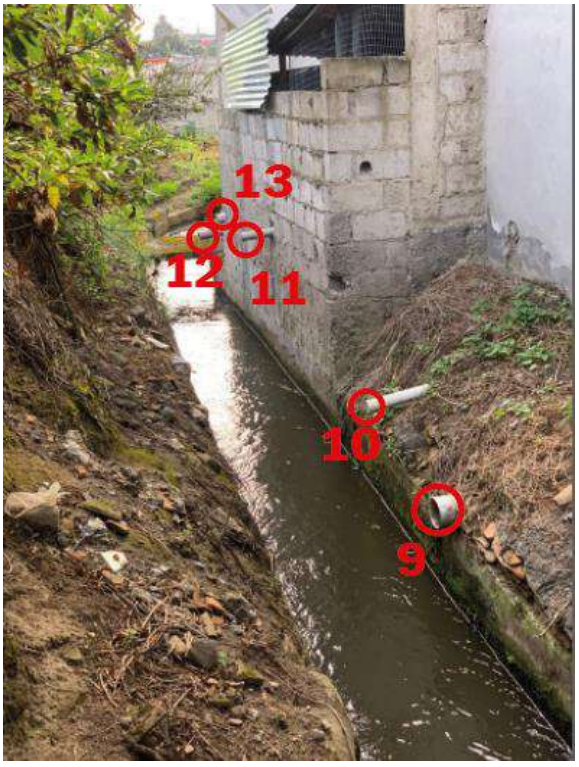





3
4
5
6


7


8


13
12
11
10
9

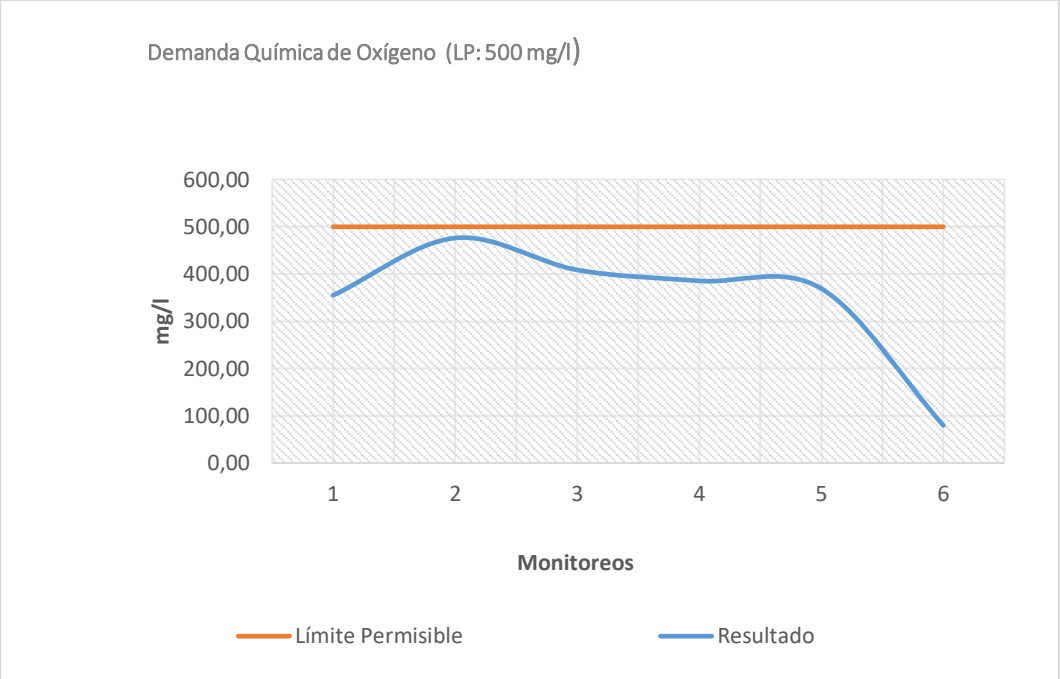

16
15
14


17


19
18

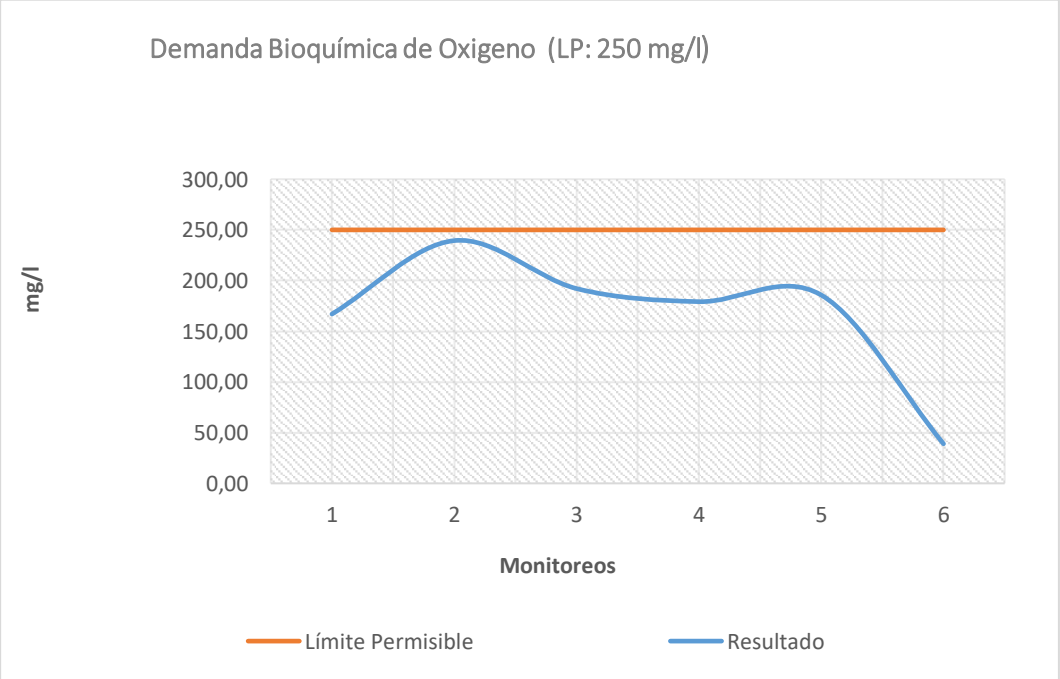
MONITOREOS ADICIONALES REALIZADOS POR FABRINORTE CÍA LTDA.

Monitoreo semestral de DQO.



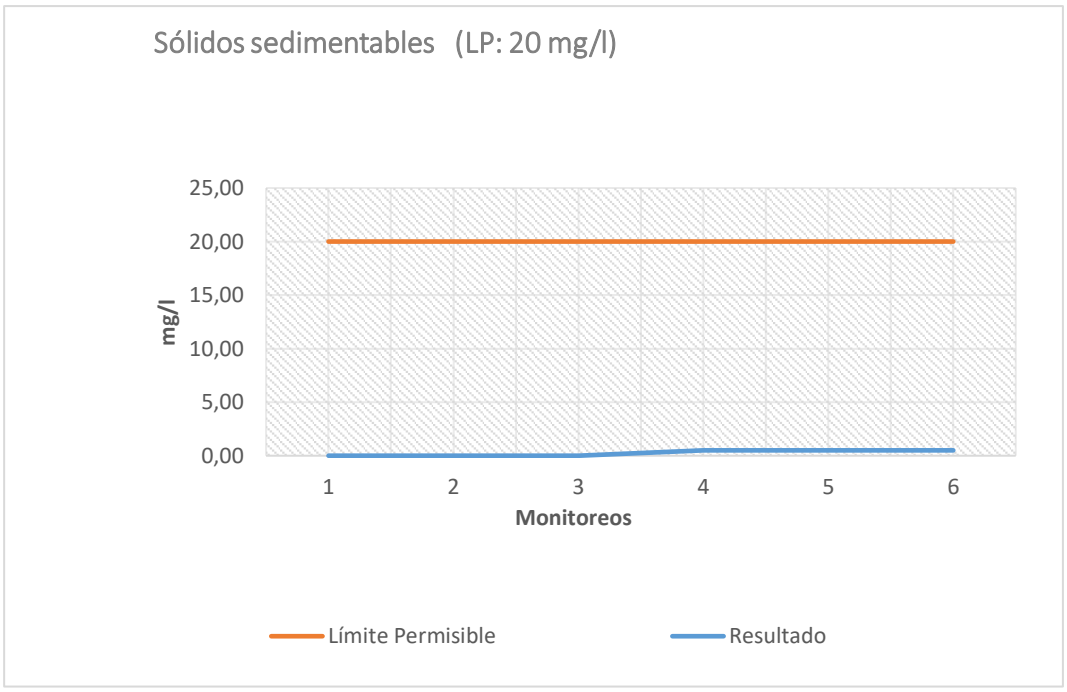
Nota. Tomado de "Planta de Tratamiento Biológica PTAR", por Indutexma Textiles, 2020.

Monitoreo semestral de DBO.



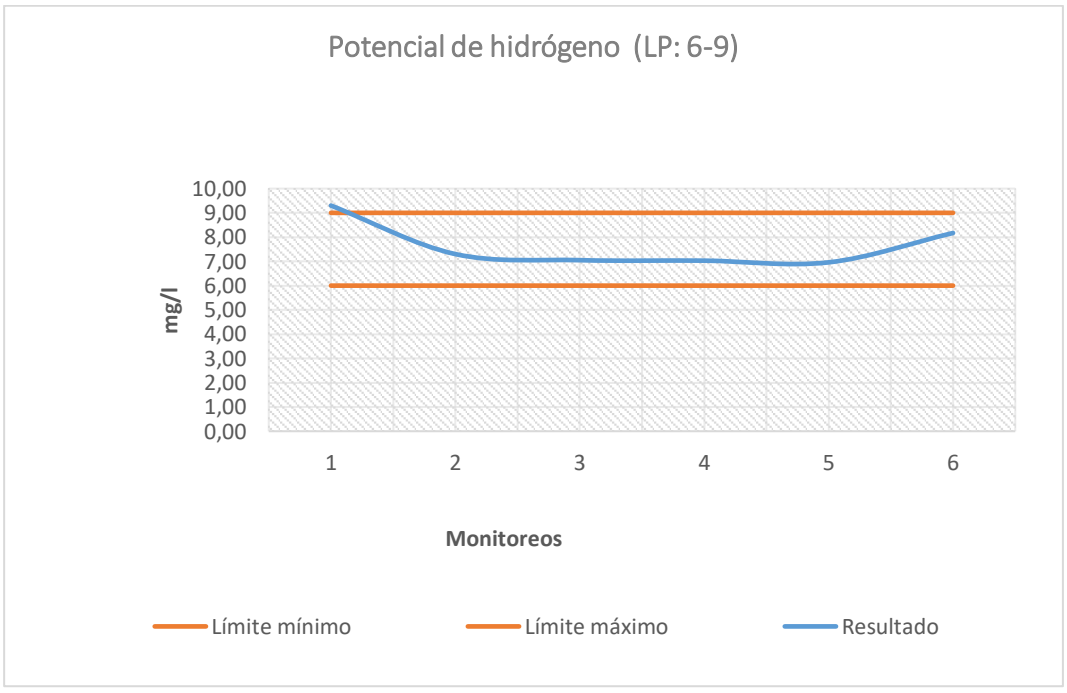
Nota. Tomado de "Planta de Tratamiento Biológica PTAR", por Indutexma Textiles, 2020.

Monitoreo semestral de Sólidos Sedimentables.



Nota. Tomado de "Planta de Tratamiento Biológica PTAR", por Indutexma Textiles, 2020.

Monitoreo semestral de pH.



Nota. Tomado de "Planta de Tratamiento Biológica PTAR", por Indutexma Textiles, 2020.

RESULTADOS NESAYOS DE LABORATORIO

EMAPA-I LABORATORIO — LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE RESULTADOS | FIT-INFORMES-REQ7.8-01 Revisión 03

Informe de Resultados Nro: IRNE21-471 | Pág. 1 de 2

Cliente: David Calderón

Dirección: Atuntaqui — **Teléfono:** 0985400877

Fecha de recepción: 22 de Noviembre del 2021 — **Orden de Trabajo autorizada N°:** OTELABEMAPAI119

Tipo de Muestra: Agua Natural — **Toma de muestra realizada *por:*** El Cliente

Identificación muestra cliente: Muestra 1. Otavalo

Código de Laboratorio: MEN21-047 — **Lugar de análisis:** Laboratorio EMAPA-I

Fecha de realización de ensayos: 22-29/11/2021 — **Fecha de emisión informe:** 02 de Diciembre del 2021

RESULTADOS PARÁMETROS FÍSICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	ITEM DE ENSAYO MEN21-047		[1] VALOR MAXIMO
pH / Temp. de medición	PEE-EMAPA-I-01 SM 4500-H+B	upH / °C	7,52	20,1	-
Turbiedad (*)	Standard Methods 2130B	NTU	44		-
Sólidos totales disueltos (*)	Standard Methods 2510B	mg/l	195		3000

RESULTADOS PARÁMETROS QUÍMICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	ITEM DE ENSAYO MEN21-047	[1] VALOR MAXIMO
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) (*)	Standard Methods 5210 D	mg /l	12	-

RESULTADOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	ITEM DE ENSAYO MEN21-047	[1] VALOR MAXIMO
Coliformes Totales (*)	Standard Methods 9222 J	NMP/100ml	92	-

Av. Atahualpa, Planta de Tratamiento Caranqui / Telf. (06) 2641-176 ext:117 / laboratorioemapai@gmail.com
Ibarra – Ecuador

EMAPA-I LABORATORIO

LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE RESULTADOS	FIT-INFORMES-REQ7.8-01 Revisión 03
Informe de Resultados Nro: IRNE21-471	Pág. 2 de 2

INCERTIDUMBRE DE LOS RESULTADOS: La incertidumbre expandida de los resultados se ha estimado con un factor de cobertura K=2, que corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente 95%

PARÁMETRO	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	Incertidumbre expandida con K=2
pH	PEE-EMAPA-I-01 SM 4500-H+B	upH	± 0,14 upH

Condiciones Ambientales de Análisis:		
Área	Temperatura (C°)	Humedad Relativa (%)
Potables/Naturales	24,6	52,6
Residuales	-	-
Microbiología	21,9	65,6

OBSERVACIONES:

A solicitud del cliente se compara resultados con valores de referencia(Ver consideraciones)

CONSIDERACIONES:

La temperatura que se reporta con el valor de pH corresponde a la temperatura de la muestra al momento de la medición y no representa el resultado de un ensayo específico de temperatura.
Los ensayos marcados con (*) están fuera del Sistema de Gestión del Laboratorio bajo la norma NTE-INEN ISO/IEC 17025:2018 .
El laboratorio NO emite declaraciones de conformidad.
Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.
Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.
Este informe NO se podrá reproducir parcial o totalmente sin autorización del Laboratorio EMAPA-I.
1 Valores de referencia tomados del AM097A TULSMA ANEXO 1, 2015. Tabla 5: Criterios de calidad de aguas para uso pecuario

Revisado por Msc. C. Tafur :
RESPONSABLE TÉCNICO

Msc. Carla Villarreza
JEFE DE LABORATORIO

Av. Atahualpa. Planta de Tratamiento Caranquí / Telf. (06) 2641-176 ext:117 / laboratorioemapai@gmail.com
Ibarra – Ecuador

EMAPA-I LABORATORIO

LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE RESULTADOS	FIT-INFORMES-REQ7.8-01 Revisión 03
Informe de Resultados Nro: IRNE21-472	Pág. 1 de 2

Cliente: David Calderón

Dirección: Atuntaqui **Teléfono:** 0985400877

Fecha de recepción: 22 de Noviembre del 2021 **Orden de Trabajo autorizada N°:** OTELABEMAPAI119

Tipo de Muestra: Agua Natural **Toma de muestra realizada por:** El Cliente

Identificación muestra cliente: Muestra 2. San Roque

Código de Laboratorio: MEN21-048 **Lugar de análisis:** Laboratorio EMAPA-I

Fecha de realización de ensayos: 22-29/11/2021 **Fecha de emisión informe:** 02 de Diciembre del 2021

RESULTADOS PARÁMETROS FÍSICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	ITEM DE ENSAYO MEN21-048		(1) VALOR MAXIMO
pH / Temp. de medición	PEE-EMAPA-I-01 SM 4500-H+B	upH / °C	7,78	20,1	-
Turbiedad (*)	Standard Methods 2130B	NTU	45		-
Sólidos totales disueltos (*)	Standard Methods 2510B	mg/l	190		3000

RESULTADOS PARÁMETROS QUÍMICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	ITEM DE ENSAYO MEN21-048	(1) VALOR MAXIMO
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) (*)	Standard Methods 5210 D	mg/l	6	-

RESULTADOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	ITEM DE ENSAYO MEN21-048	(1) VALOR MAXIMO
Coliformes Totales (*)	Standard Methods 9222 J	NMP /100ml	54	-

Av. Atahualpa, Planta de Tratamiento Caranqui / Telf. (06) 2641-176 ext:117 / laboratorioemapai@gmail.com
Ibarra – Ecuador

EMAPA-I LABORATORIO

LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE RESULTADOS	FIT-INFORMES-REQ7.8-01 Revisión 03
Informe de Resultados Nro: IRNE21-472	Pág. 2 de 2

INCERTIDUMBRE DE LOS RESULTADOS: La incertidumbre expandida de los resultados se ha estimado con un factor de cobertura K=2, que corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente 95%

PARÁMETRO	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	Incertidumbre expandida con K=2
pH	PEE-EMAPA-I-01 SM 4500-H+B	upH	± 0,14 upH

Condiciones Ambientales de Análisis:		
Área	Temperatura (C°)	Humedad Relativa (%)
Potables/Naturales	24,6	52,6
Residuales	-	-
Microbiología	21,9	65,6

OBSERVACIONES:

A solicitud del cliente se compara resultados con valores de referencia(Ver consideraciones)

CONSIDERACIONES:

La temperatura que se reporta con el valor de pH corresponde a la temperatura de la muestra al momento de la medición y no representa el resultado de un ensayo específico de temperatura.
Los ensayos marcados con (*) están fuera del Sistema de Gestión del Laboratorio bajo la norma NTE-INEN ISO/IEC 17025:2018.
El laboratorio NO emite declaraciones de conformidad.
Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.
Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.
Este informe NO se podrá reproducir parcial o totalmente sin autorización del Laboratorio EMAPA-I.
1 Valores de referencia tomados del AM097A TULSMA ANEXO 1, 2015. Tabla 5: Criterios de calidad de aguas para uso pecuario

Revisado por Msc. C. Tafur:
RESPONSABLE TÉCNICO

Msc. Carla Valarezo
JEFE DE LABORATORIO

Av. Atahualpa, Planta de Tratamiento Caranqui / Telf. (06) 2641-176 ext:117 / laboratorioemapal@gmail.com
Ibarra – Ecuador

EMAPA-I LABORATORIO

LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE RESULTADOS	FIT-INFORMES-REQ7.8-01 Revisión 08
Informe de Resultados Nro: IRNE21-473	Pág. 1 de 2

Cliente: David Calderón

Dirección: Atuntaqui **Teléfono:** 0985400877

Fecha de recepción: 22 de Noviembre del 2021 **Orden de Trabajo autorizada N°:** OTELABEMAPAI119

Tipo de Muestra: Agua Natural **Toma de muestra realizada por:** El Cliente

Identificación muestra cliente: Muestra 3. Atuntaqui

Código de Laboratorio: MEN21-049 **Lugar de análisis:** Laboratorio EMAPA-I

Fecha de realización de ensayos: 22-29/11/2021 **Fecha de emisión informe:** 02 de Diciembre del 2021

RESULTADOS PARÁMETROS FÍSICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	ITEM DE ENSAYO MEN21-049		[1] VALOR MAXIMO
pH / Temp. de medición	PEE-EMAPA-I-01 SM 4500-H+B	upH / °C	8,06	19,8	-
Turbiedad (*)	Standard Methods 2130B	NTU	40		-
Sólidos totales disueltos (*)	Standard Methods 2510B	mg/l	184		3000

RESULTADOS PARÁMETROS QUÍMICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	ITEM DE ENSAYO MEN21-049	[1] VALOR MAXIMO
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) (*)	Standard Methods 5210 D	mg/l	4	-

RESULTADOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	ITEM DE ENSAYO MEN21-049	[1] VALOR MAXIMO
Coliformes Totales (*)	Standard Methods 9222 J	NMP/100ml	45	-

Av. Atahualpa, Planta de Tratamiento Caranqui / Telf. (06) 2641-176 ext:117 / laboratorioemapoi@gmail.com
Ibarra – Ecuador

EMAPA-I LABORATORIO **LABORATORIO EMAPA-I**

INFORME DE RESULTADOS	FIT-INFORMES-REQ7.8-01 Revisión 03
Informe de Resultados Nro: IRNE21-473	Pág. 2 de 2

INCERTIDUMBRE DE LOS RESULTADOS: La incertidumbre expandida de los resultados se ha estimado con un factor de cobertura K=2, que corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente 95%

PARÁMETRO	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	Incertidumbre expandida con K=2
pH	PEE-EMAPA-I-01 SM 4500-H+B	upH	± 0,14 upH

Condiciones Ambientales de Análisis:		
Área	Temperatura (C°)	Humedad Relativa (%)
Potables/Naturales	24,6	52,6
Residuales	-	-
Microbiología	21,9	65,6

OBSERVACIONES:

A solicitud del cliente se compara resultados con valores de referencia(Ver consideraciones)

CONSIDERACIONES:

La temperatura que se reporta con el valor de pH corresponde a la temperatura de la muestra al momento de la medición y no representa el resultado de un ensayo específico de temperatura.
Los ensayos marcados con (*) están fuera del Sistema de Gestión del Laboratorio bajo la norma NTE-INEN ISO/IEC 17025:2018.
El laboratorio NO emite declaraciones de conformidad.
Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.
Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.
Este informe NO se podrá reproducir parcial o totalmente sin autorización del Laboratorio EMAPA-I.
1 Valores de referencia tomados del AM097A TULSMA ANEXO 1, 2015. Tabla 5: Criterios de calidad de aguas para uso pecuario

Revisado por Msc. C. Tafur :
RESPONSABLE TÉCNICO

Msc. Carla Valarezo
JEFE DE LABORATORIO

Av. Atahualpa, Planta de Tratamiento Caranqui / Telf. (06) 2641-176 ext:117 / laboratorioemapal@gmail.com
Ibarra – Ecuador

alfanalitica

Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos:
Aguas, Alimentos y Afines

Informe Nº:	12 -2022

DATOS DEL CLIENTE

Análisis solicitado por:	Sr. David Sebastián Calderón Bolaños
RUC/CI:	1003669585
Dirección:	Atuntaqui
Ciudad/Provincia:	Atuntaqui/Imbabura
Teléfono:	O985400877
email:	dcalderon970@puce.edu.ec

DATOS DE LA MUESTRA

Agua: Natural de Sequia - Sector Otavalo

Tipo de muestra:	Agua	**Descripción:**	Muestra Única
Fecha de recepción:	08 de junio de 2022	**Número de muestras:**	1
Peso/vol declarado:	4000 ml	**Fecha de elaboración:**	No aplica
Tipo de conservación:	N/A	**Lote:**	No aplica
Tipo de envase:	Envase de polietileno	**Fecha de caducidad:**	No aplica

DATOS DE LABORATORIO

Fecha de análisis:	08 de junio de 2022
Fecha de entrega informe:	10 de junio de 2022
Código Interno	Ju-08-01

Resultado Biológico

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado	Método de Ensayo
Recuento Coliformes Fecales	NMP/100 ml	500	APHA 9221E
Examinación de Nematodos Intestinales	Unidad	No se identifica	APHA 10750 B

Observaciones

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

El laboratorio no se responsabiliza del uso que el cliente pueda dar al presente informe.

Los informes se almacenarán por un periodo de dos años a partir del ingreso de la muestra al laboratorio

Tiempo de almacenamiento de las muestras: 10 días a partir de la entrega del informe

Responsable:

Dra. Verónica Espinoza Torres
Gerente General

Dirección: Manuel Peñaherrera 4-106 y Rafael Troya – Parque Boyacá. – Ibarra
Teléfonos: 0983064170, 0989753573, 0983382115
e-mail: alfanalitica@outlook.com, alfanalitica.ibarra@gmail.com

alfanalítica

Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos:
Aguas, Alimentos y Afines

Informe Nº:	13 -2022

DATOS DEL CLIENTE

Análisis solicitado por:	Sr. David Sebastián Calderón Bolaños
RUC/CI:	1003669585
Dirección:	Atuntaqui
Ciudad/Provincia:	Atuntaqui/Imbabura
Teléfono:	0985400877
email:	dcalderon970@puce.edu.ec

DATOS DE LA MUESTRA

Agua: Natural de Sequia - Sector San Roque

Tipo de muestra:	Agua	Descripción:	Muestra Única
Fecha de recepción:	08 de junio de 2022	Número de muestras:	1
Peso/vol declarado:	4000 ml	Fecha de elaboración:	No aplica
Tipo de conservación:	N/A	Lote:	No aplica
Tipo de envase:	Envase de polietileno	Fecha de caducidad:	No aplica

DATOS DE LABORATORIO

Fecha de análisis:	08 de junio de 2022
Fecha de entrega informe:	10 de junio de 2022
Código Interno	Ju-08-02

Resultado Biológico

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado	Método de Ensayo
Recuento Coliformes Fecales	NMP/100 ml	33	APHA 9221E
Examinación de Nematodos Intestinales	Unidad	No se identifica	APHA 10750 B

Observaciones

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

El laboratorio no se responsabiliza del uso que el cliente pueda dar al presente informe.

Los informes se almacenarán por un periodo de dos años a partir del ingreso de la muestra al laboratorio

Tiempo de almacenamiento de las muestras: 10 días a partir de la entrega del informe

alfanalítica
Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos
Aguas, Alimentos y Afines
Ibarra - Ecuador

Responsable:

Dra. Verónica Espinoza Torres
Gerente General

Dirección: Manuel Peñaherrera 4-106 y Rafael Troya – Parque Boyacá. – Ibarra
Teléfonos: 0983064170, 0989753573, 0983382115
e-mail: alfanalitica@outlook.com, alfanalitica.ibarra@gmail.com

Informe N.º:	14 -2022

DATOS DEL CLIENTE

Análisis solicitado por:	Sr. David Sebastián Calderón Bolaños
RUC/CI:	1003669585
Dirección:	Atuntaqui
Ciudad/Provincia:	Atuntaqui/Imbabura
Teléfono:	0985400877
email:	dcalderon970@puce.edu.ec

DATOS DE LA MUESTRA

Agua: Natural de Sequia - Sector Atuntaqui

Tipo de muestra:	Agua	Descripción:	Muestra Única
Fecha de recepción:	08 de junio de 2022	Número de muestras:	1
Peso/vol. declarado:	4000 ml	Fecha de elaboración:	No aplica
Tipo de conservación:	N/A	Lote:	No aplica
Tipo de envase:	Envase de polietileno	Fecha de caducidad:	No aplica

DATOS DE LABORATORIO

Fecha de análisis:	08 de junio de 2022
Fecha de entrega informe:	10 de junio de 2022
Código Interno	Ju-08-03

Resultado Biológico

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado	Método de Ensayo
Recuento Coliformes Fecales	NMP/100 ml	26	APHA 9221E
Examinación de Nematodos Intestinales	Unidad	No se identifica	APHA 10750 B

Observaciones

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

El laboratorio no se responsabiliza del uso que el cliente pueda dar al presente informe.

Los informes se almacenarán por un periodo de dos años a partir del ingreso de la muestra al laboratorio

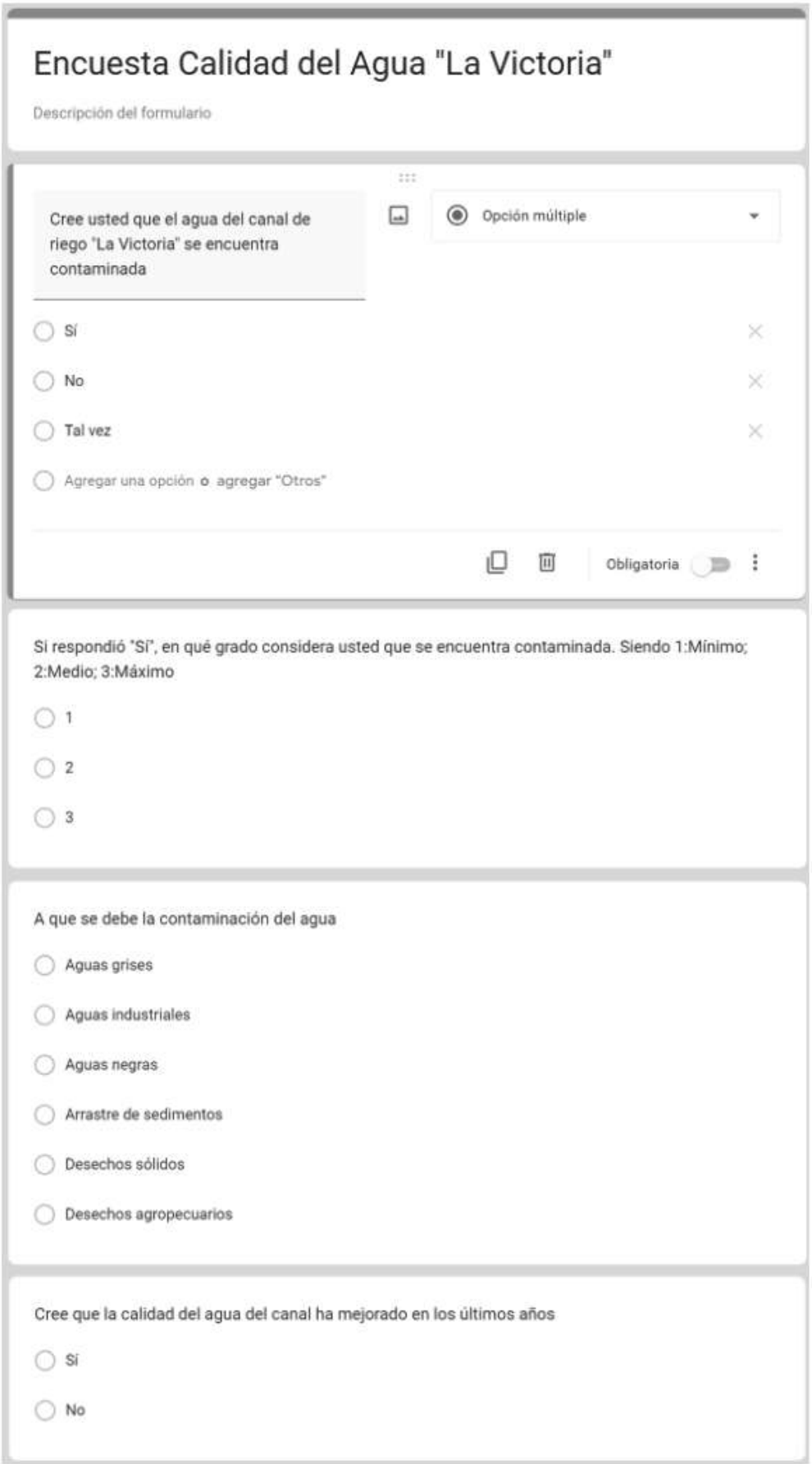
Tiempo de almacenamiento de las muestras: 10 días a partir de la entrega del informe

Responsable:

Verónica Espinoza T.

Dra. Verónica Espinoza Torres
Gerente General

ENTREVISTAS A USUARIOS



RESULTADOS ENTREVISTA

	NOMBRES	APELLIDOS	CÉDULA	ÓVALO	Cree usted que el agua del canal de riego "La Victoria " se encuentra contaminada	Si respondió "Sí", en qué grado considera usted que se encuentra contaminada. Siendo 1:Mínimo; 2:Medio; 3:Máximo	A que se debe la contaminación del agua	Cree que la calidad del agua del canal ha mejorado en los últimos años
1	CADENA LOMAS	CESAR ANTONIO	1000206217	PERUGAL	Sí	3	Aguas industriales	Sí
2	FLORES ESPINOSA	JAIME RODRIGO	300808508	SAN JOSÉ MENESES	Sí	2	Aguas industriales	Sí
3	ORTIZ CHAVARREA-	CARLOS MIGUEL	1001028842	LOURDES	Tal vez	2	Aguas grises	Sí
4	ALBUJA MATEUS	LUIS AUGUSTO	1000109049	SANTA ROSA	Sí	3	Desechos agropecuarios	No
5	BOLAÑOS CHAVEZ	MARIA MAGDALENA	1000226652	SANTA ROSA	No	2	Aguas grises	Sí
6	FLORES YACELGA	NELLY MERCEDES	1001977147	PERUGAL	Sí	2	Arrastre de sedimentos	No
7	CALDERON BOLAÑOS	VICENTE FABIAN	1000802650	SAN ROQUE 2 EL SALADO	Sí	2	Desechos agropecuarios	Sí
8	MORAN CORDOVA	MARIA DOLORES	1002139507	SAN ROQUE 1 CENTRO	Sí	2	Desechos sólidos	No
9	VISARREA CACHIGUANGO	YOLANDA MERCEDES	1001795762	TUMBIBICHE	Sí	3	Arrastre de sedimentos	Sí
10	AGUIRRE AVILA.	LUIS FERNANDO	1717704546	LOURDES	Tal vez	2	Desechos agropecuarios	Sí
11	IBADANGO IMBAQUINGO	ERNESTO ABDON	1001938776	PAILATOLA	Tal vez	2	Desechos sólidos	No
12	DE LA CRUZ LEON	VICENTE TARQUINO	1000030294	TUMBIBICHE	Tal vez	2	Desechos sólidos	No

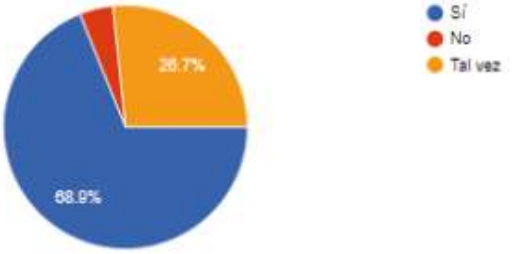
13	DE LA TORRE QUINCHIGUANGO	JOSE MIGUEL	1000974327	SAN ROQUE 1 AGUALONGO	Sí	2	Aguas negras	Sí
14	VINUEZA CORRALES	ELSA TARGELIA	1000415214	EL TRIUNFO CHALTURA	Sí	2	Aguas grises	Sí
15	VEGA BOLAÑOS	PABLO ROMAN	1001987690	SAN JOSÉ MENESES	Tal vez	2	Aguas negras	Sí
16	VILLEGAS SILVA-	TERESA EDUVIJES	1000217719	LOURDES	Sí	3	Desechos sólidos	Sí
17	FARINANGO CONEJO	MERCEDES	1001520723	PERUGAL	Tal vez	2	Desechos agropecuarios	Sí
18	ARIAS RUIZ E HIJOS	AUDELIA JUDITH	1000220085	SAN ROQUE 2 SAN ALFONSO	Sí	2	Aguas grises	Sí
19	TERAN ZUMARRAGA	LUCIA CRISTINA	1002176624	PAILATOLA	Sí	3	Aguas industriales	No
20	MUZO REMACHE Y HNA.	LUIS FELIX	1712131190	EL TRIUNFO CHALTURA	Tal vez	2	Aguas negras	No
21	TITUAÑA CALDERON	JORGE EDUARDO	1002613402	PERUGAL	Sí	3	Desechos sólidos	Sí
22	ESCOBAR VALLES	CARMEN EMPERATRIZ	1000564961	CENTRO UNO	Sí	2	Aguas industriales	Sí
23	MONTALVO ESPINOZA	CARLOS ENRIQUE	1001524667	SANTO DOMINGO	Tal vez	2	Aguas negras	No
24	PAREDES VALLEJOS	MARIA ESTHELA	1000204063	ONTAÑÓN PERUGAL	Tal vez	2	Aguas grises	Sí
25	MORALES AGUIRRE	LUIS OLMEDO	1001108594	SAN ROQUE 2 EL SALADO	Sí	2	Desechos agropecuarios	Sí
26	ALVARADO GOMEZ	LUIS TARQUINO	1001450905	PERUGAL	No	1	Aguas negras	No
27	IPIALES TIGSILIMA.	CESAR RAFAEL	1000000388	SANTO DOMINGO	Sí	2	Arrastre de sedimentos	No
28	PAREDES RIVERA	ZOILA AMELIA	1000884450	ONTAÑÓN PERUGAL	Sí	3	Desechos sólidos	Sí
29	PONCE JIJON	MARIA INES	1001177458	CENTRO UNO	Tal vez	2	Desechos agropecuarios	No
30	MORA DELGADO	PEDRO PABLO	1002648689	PAILATOLA	Sí	1	Desechos agropecuarios	No
31	CALDERON AGUIRRE	SEGUNDO ABRAHAN	1000995645	SAN ROQUE 2 EL SALADO	Sí	3	Aguas industriales	No
32	ERAZO ERAZO	JORGE EDUARDO	1709489148	SAN ROQUE 2 SAN ALFONSO	Sí	3	Aguas grises	No

33	LIMA COTACACHI	JOSE PABLO	1001301546	PERUGAL	Sí	3	Aguas grises	No
34	DE LA CRUZ LEON	JESUS AMABLE	1001357571	TUMBIBICHE	Sí	3	Aguas industriales	No
35	CHAVEZ JARAMILLO	WILLIAN ANTONIO	1102820402	CENTRO UNO	Sí	3	Aguas grises	No
36	ROSERO PINCHAO	WILLIAN PAUL	401014709	SANTA MARTHA	Sí	2	Desechos sólidos	Sí
37	ARIAS MEDINA	GALO RAMIRO	1000563823	SAN ROQUE 1 CENTRO	Tal vez	2	Aguas negras	Sí
38	NARVAEZ GUACHALA	ROSA ISABEL DEL PILAR	1001625258	SANTO DOMINGO	Sí	2	Desechos agropecuarios	Sí
39	SEVILLANO PINEDA.	JOSE OLIVO	1001786712	PERUGAL	Sí	2	Aguas negras	Sí
40	IPIALES	CARLOS MANUEL	1000954097	SAN ROQUE 1 CENTRO	Sí	3	Desechos sólidos	No
41	IPIALES TIGSILIMA.	CESAR RAFAEL	1000000388	SANTO DOMINGO	Sí	2	Desechos agropecuarios	Sí
42	MORALES PAREDES	CARLA ELIZABETH	1003547849	ONTAÑÓN PERUGAL	Sí	3	Desechos agropecuarios	No
43	TERAN JATIVA	HECTOR GERMANICO	1001404977	SAN ROQUE 1 CENTRO	Sí	3	Desechos sólidos	No

Cree usted que el agua del canal de riego "La Victoria" se encuentra contaminada

Copiar

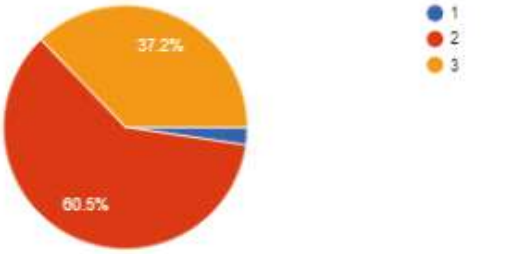
43 respuestas



Si respondió "Sí", en qué grado considera usted que se encuentra contaminada. Siendo 1:Mínimo; 2:Medio; 3:Máximo

Copiar

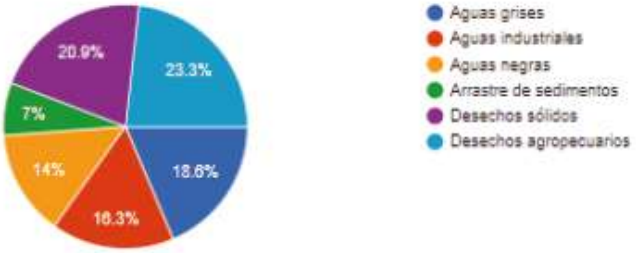
43 respuestas



A que se debe la contaminación del agua

Copiar

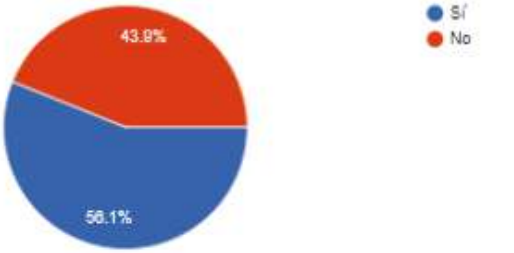
43 respuestas



Cree que la calidad del agua del canal ha mejorado en los últimos años

Copiar

43 respuestas



ACTUALIZACIÓN HIDRÁULICA

TRAMO	ABSCISA INICIO	LONGITUD (m)	TIPO DE CONDUCCIÓN	SECCIÓN TRANSVERSAL	MATERIAL DE REVESTIMIENTO	ESTADO	ANCHO (m)	ALTO SECCION (h) (m)
172	0+000	531,462041	TUNEL	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1,60
173	0+531	41,69130355	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1,00
174	0+573	31,66428178	TUNEL	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	1,60
175	0+605	241,2933338	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1,00
176	0+846	265,9053605	TUNEL	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	1,60
177	1+112	35,77778274	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1,00
178	1+148	60,19951841	TUNEL	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	1,60
179	1+208	38,95935259	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1,00
180	1+247	24,51354187	TUNEL	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	1,60
181	1+271	19,72084361	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1,00
182	1+291	496,5956387	TUNEL	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	1,60
183	1+788	179,9542026	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1,00
184	1+968	102,4223751	TUNEL	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1,2	2,20
185	2+070	12,62430243	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1,00
186	2+083	84,88383212	TUNEL	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	1,60
187	2+168	36,38307154	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1,00
188	2+204	15,48412207	TUNEL	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	1,60
189	2+220	45,24316008	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1,00
190	2+265	87,97732264	TUNEL	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	1,60
191	2+353	50,82184089	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
192	2+404	105,3123942	TUNEL	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
193	2+509	7,723303922	TUNEL	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
194	2+517	32,8947797	TUNEL	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
195	2+550	12,19224802	TUBERIA	CIRCULAR	PVC	B	1,2	
196	2+562	659,3415286	TUNEL	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	VARIABLE	VARIABLE

197	3+221	16,59578481	TUBERIA	CIRCULAR	PVC	A	1	
198	3+238	31,61347741	TUNEL	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	VARIABLE	VARIABLE
199	3+269	62,25310642	TUBERIA	CIRCULAR	PVC	B	1	
200	3+332	100,2643219	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	VARIABLE	VARIABLE
201	3+432	100,1760391	TUNEL	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	VARIABLE	VARIABLE
202	3+532	30,84115088	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1,1	1,2
203	3+563	10,48091137	TUBERIA	CIRCULAR	PVC	B	1	
204	3+573	190,6660314	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	VARIABLE	VARIABLE
205	3+764	9,638847939	TUBERIA	CIRCULAR	PVC	B	1	
206	3+774	12,04295762	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	VARIABLE	VARIABLE
208	3+786	131,2929793	TUNEL	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	VARIABLE	VARIABLE
209	3+917	12,05620681	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
210	3+929	18,583083	TUNEL	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
211	3+948	4,359655949	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
212	3+952	34,54041639	TUNEL	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
213	3+986	7,555697042	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
214	3+994	43,95289098	TUNEL	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
215	4+038	25,31962548	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
216	4+063	3,428678326	PASO ELEVADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
217	4+067	75,94919623	TUNEL	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
218	4+143	245,9641951	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
219	4+389	42,47687586	PASO ELEVADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	0,9	1
220	4+431	288,2953639	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
221	4+719	24,61048272	TUBERIA	CIRCULAR	PVC	B	1	
222	4+744	16,18984612	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
223	4+760	60,13624064	TUBERIA	CIRCULAR	PVC	B	1	
224	4+820	9,678512472	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
225	4+830	6,669017369	PASO ELEVADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1,2	1,1
226	4+837	144,1718381	TUNEL	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE

227	4+981	18,88377843	PASO ELEVADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	0,9	1
228	5+000	178,5430273	TUNEL	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
229	5+178	22,13594362	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
230	5+200	232,4450155	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
231	5+433	33,48413336	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1,6
232	5+466	73,67304386	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
233	5+540	6,039261846	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1,2
234	5+546	190,5967461	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1
235	5+737	35,99039509	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1,2
236	5+773	191,5003777	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1
237	5+964	8,925259567	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1,2
238	5+973	304,6277418	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1
239	6+278	10,30762227	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1,2
240	6+288	143,0006828	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1
241	6+431	20,52530168	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1,2
242	6+452	143,6733351	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1
243	6+595	10,61191454	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	2,4	0,7
244	6+606	603,9085355	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
245	7+210	12,05575977	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
246	7+222	27,81660448	TUNEL	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	VARIABLE
247	7+250	11,92927432	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
248	7+262	448,1950433	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
249	7+710	17,1923107	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
250	7+727	313,1213919	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1
251	8+040	6,553972271	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
252	8+047	304,7401995	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
253	8+351	20,95822688	PASO ELEVADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
254	8+372	416,8034611	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
255	8+789	17,30984024	PASO ELEVADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1

256	8+806	10,15026877	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
257	8+817	135,5214951	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
258	8+952	196,896786	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
259	9+149	8,160778551	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
260	9+157	257,9563807	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
261	9+415	75,63577406	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
262	9+491	8,149407757	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1
263	9+499	222,362184	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
264	9+721	35,21219992	PASO ELEVADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
265	9+756	211,8129009	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
266	9+968	112,2978469	EMBAULADO	CIRCULAR	TUBO DE CONCRETO	A	1	1
267	10+081	99,39848387	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
268	10+180	66,79611972	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	1
269	10+247	77,77151329	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
270	10+325	36,61970244	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	1
271	10+361	22,84513456	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
272	10+384	96,4790286	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
273	10+480	398,762137	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
274	10+879	89,87184598	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
275	10+969	16,26028387	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
276	10+985	56,29131058	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
277	11+042	23,32187292	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
278	11+065	78,23939286	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
279	11+143	56,68072402	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1,2
280	11+200	32,33366049	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	1
281	11+232	92,28562355	TUNEL	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1,2	1,6
282	11+325	67,61295616	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	
283	11+392	17,58922194	PASO ELEVADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
284	11+410	117,349274	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE

286	11+527	102,9820487	TUBERIA	CIRCULAR	TUBO DE CONCRETO	A	1	1
287	11+630	21,03126184	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
288	11+651	17,44979847	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1,2
289	11+669	219,3765155	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
290	11+888	5,088892441	PASO ELEVADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
291	11+893	375,7825716	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
292	12+269	50,66004377	TUNEL	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	VARIABLE
293	12+319	9,607412023	PASO ELEVADO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	B	1	1
294	12+329	247,6732868	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1
296	12+577	7,330207955	EMBAULADO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	B	1,2	1
297	12+584	336,2296339	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
298	12+920	5,279134643	EMBAULADO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	B	1	VARIABLE
299	12+926	226,6978728	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
300	13+152	21,84507454	PASO ELEVADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
301	13+174	130,1215678	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
302	13+304	42,40500521	TUNEL	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
303	13+347	45,06490216	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
304	13+392	10,79574601	PASO ELEVADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
305	13+402	451,3633371	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1
306	13+854	12,39060171	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
307	13+866	283,5710667	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
308	14+150	54,21363192	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	1	1
309	14+204	7,803524274	PASO ELEVADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	VARIABLE
310	14+212	245,5698415	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
314	14+457	4,374044666	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	VARIABLE
315	14+462	119,0366539	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	1	VARIABLE
316	14+581	8,120561119	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	VARIABLE
317	14+589	9,988742058	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
318	14+599	12,42012642	TUBERIA	CIRCULAR	TUBO DE CONCRETO	B	1	

319	14+611	185,5237211	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	VARIABLE	VARIABLE
320	14+797	21,46852243	EMBAULADO	RECTANGULAR	PVC	B	1,2	1,2
321	14+818	102,0776772	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	VARIABLE	VARIABLE
322	14+920	17,6119823	TUNEL	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	VARIABLE
323	14+938	12,14850798	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
324	14+950	70,83913634	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	0,8	0,8
325	15+021	8,774439282	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	1
326	15+030	66,68719302	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	0,8	0,8
327	15+096	23,71597612	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	1
328	15+120	11,20667918	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
329	15+131	81,58188629	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	0,8	0,8
330	15+213	15,50638331	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
331	15+228	58,09098666	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	0,8	0,8
332	15+287	10,35360765	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
333	15+297	96,32496779	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	A	0,8	0,8
334	15+393	10,52342156	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	0,8	VARIABLE
335	15+404	191,2027393	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	0,8	0,8
336	15+595	11,25026507	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
337	15+606	26,86126429	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	0,8	0,8
338	15+633	134,3137239	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	0,8	0,8
339	15+767	192,2730083	TUBERIA	CIRCULAR	TUBO DE CONCRETO	B	1	
340	15+960	40,03636994	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	1
341	16+000	480,4699089	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	1	1
342	16+480	27,28489515	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	1	1
343	16+507	23,57923583	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	0,8	0,8
344	16+531	144,7928787	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	0,8	0,8
345	16+676	16,7631897	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	0,8	0,8
346	16+693	13,01216857	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	B	0,8	0,8
349	16+706	22,43888515	EMBAULADO	RECTANGULAR	CONCRETO SIN ACABADO	C	0,8	0,8

350	16+728	93,08977297	CANAL ABIERTO	RECTANGULAR	SUELO NATURAL	C	0,8	VARIABLE

Nota. Adaptado de “Base de datos”, por Consultora Hidrosoft, 2017.

ANÁLISIS PRECIOS UNITARIOS – RUBROS MÁS IMPORTANTES

EMAPA-I EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DE PROYECTO:	RUBROS_2022 ENTREGA
FECHA:	feb-22
CODIGO RUBRO:	517396
RUBRO:	SUM. INST. TUB. PVC ALCANTARILLADO 1035mm (Di 1000) EMAPA_I
UNIDAD:	m
DETALLE:	

EQUIPO

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor EMAPA	1,00	0,50	0,50	0,2461	0,12
Retroexcavadora	1,00	28,00	28,00	0,2461	6,89
TOTAL EQUIPO:					7,01

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Maestro mayor de ejecucion de obra (Estr.Oc C1)	0,10	4,29	0,43	0,2461	0,11
Albañil (Estr.Oc D2)	1,00	3,87	3,87	0,2461	0,95
Peon (Estr.Oc E2)	3,00	3,83	11,49	0,2461	2,83
TOTAL MANO DE OBRA:					3,89

MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
		A	B	C = A x B
Tub. PVC alcantarillado corrugado D=1000mm opción2 EMAPA_I	m	1,00	139,20	139,20
Union PVC Alcantarillado Di=1000mm EMAPA_I	u	0,17	54,93	9,34
TOTAL MATERIALES:				148,54

TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B

TOTAL TRANSPORTE		0,00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		159,44
COSTOS INDIRECTOS:	21,00%	33,48
COSTO TOTAL DEL RUBRO:		192,92

CIENTO NOVENTA Y DOS dolares NOVENTA Y DOS centavos
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA

Nota. Adaptado de "Rubros EMAPA-I 2022", por EMAPA-I, 2022 & "Revista Construcción", por CAMICON, 2022.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBROS_2022

NOMBRE DE PROYECTO: ENTREGA
FECHA: feb-22
CODIGO RUBRO: 517396
RUBRO: HORMIGÓN SIMPLE F´C=210 KG/CM2
UNIDAD: m3
DETALLE:

EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor EMAPA	1,00	0,50	0,50	0,4200	0,12
Vibrador	1,00	3,50	3,50	0,4200	1,47
Concretera	1,00	30,00	30,00	0,4200	12,60
TOTAL EQUIPO:					14,19
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Maestro mayor de ejecucion de obra (Estr.Oc C1)	1,00	4,29	4,29	0,4200	1,80
Albañil (Estr.Oc D2)	2,00	3,87	7,74	0,4200	3,25
Peon (Estr.Oc E2)	6,00	3,83	22,98	0,4200	9,65
TOTAL MANO DE OBRA:					14,70
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Aditivo	kg	5,50	0,75	4,13	
Cemento	kg	513,33	0,17	87,27	
Agua	m3	0,45	1,00	0,45	
Triturado 3/4	m3	1,54	20,00	30,80	
Arena	m3	0,91	8,00	7,24	
Curador para hormigón	kg	0,35	2,00	0,70	

TOTAL MATERIALES:					130,58
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
TOTAL TRANSPORTE					0,00
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			159,48
		COSTOS INDIRECTOS:	21,00%		33,49
		COSTO TOTAL DEL RUBRO:			192,97

CIENTO NOVENTA Y DOS dolares NOVENTA Y SIETE centavos

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA

Nota. Adaptado de “Rubros EMAPA-I 2022”, por EMAPA-I, 2022 & “Revista Construcción”, por CAMICON, 2022.

INFORMACIÓN HIDROMETEORLÓGICA – INAMHI

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Precipitación Total Mensual (mm) 25/01/2022

S E R I E S M E N S U A L E S D E D A T O S M E T E O R O L O G I C O S

NOMBRE: HDA.LA MARIA-ANEXAS(LETICIA) CODIGO: M0328

PERIODO: 2010 - 2021 LATITUD: 0G 20' 54" N LONGITUD: 78G 16' 11" W
ELEVACION: 2600.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2010	39.0	28.5	28.1	174.6	142.0	63.6				68.0	197.4	174.6		
2011	88.1	242.0	154.3	292.9	67.0	102.1	49.4	29.9	43.7	96.9	127.5	207.9	1501.7	125.1
2012	142.1	149.0	66.1	263.4	18.6	8.2	2.9	4.0	4.2	86.8	78.5	70.1	893.9	74.4
2013	67.4	221.0	38.6	92.7		8.1	37.3	10.2	90.1	136.8	85.2			
2014	75.4	48.9	155.4	69.8	194.3	24.2	2.4	1.4	23.6	195.3	199.5	58.9	1049.1	87.4
2015	66.5	122.3	131.6	56.7	18.9	2.8	17.1	0.0	2.0	56.9	82.3	2.7	559.8	46.6
2016	90.8	2.2	80.0	174.5	69.0	33.0								
suma	569.3	813.9	654.1	1124.6	509.8	233.9	79.9	72.6	83.7	594.0	822.0	599.4	6157.2	513.1

media 81.3 116.2 93.4 160.6 84.9 38.9 15.9 14.5 16.7 99.0 137.0 99.9 958.7 79.8

minima 39.0 2.2 28.1 56.7 18.6 2.8 2.4 0.0 2.0 56.9 78.5 2.7 0.0

maxima 142.1 242.0 155.4 292.9 194.3 102.1 49.4 37.3 43.7 195.3 199.5 207.9 292.9

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Precipitación Total Mensual (mm) 25/01/2022

S E R I E S M E N S U A L E S D E D A T O S M E T E O R O L O G I C O S

NOMBRE: ATUNTAQUI CODIGO: M0021

PERIODO: 2010 - 2021 LATITUD: 0G 21' 13" N LONGITUD: 78G 13' 39" W
ELEVACION: 2200.00

AÑOS ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC SUMA MEDIA

2010 27.7 67.6 55.4 182.0 135.0 78.1 63.4 44.3 75.9 56.8 236.0 107.2 1129.4 94.1

2011 44.0 117.0 11.0 66.6 41.6 38.4 40.5 14.2 49.0 53.8 64.0

2012 107.0 73.4 111.9 173.6 31.3 10.0 4.0 0.0 3.1 36.7 41.6 49.0 641.6 53.4

2013 32.6 114.3 29.6 81.4 62.8 21.6 18.8 7.0 0.0 54.2 97.9 24.5 544.7 45.3

2014 52.6 13.3 75.4 44.5 146.6 20.5 3.0 2.7 33.1 66.5 74.8 115.7 648.7 54.0

2015 42.0 97.4 62.6 36.1 21.6 10.3 14.6 1.0 1.1 46.2 49.6 0.0 382.5 31.8

2016 62.8 5.5 51.1 102.2 56.7 10.0 0.0 3.7 21.4 51.8 29.3 46.0 440.5 36.7

2017 151.2 9.8 162.2 74.6 107.0 43.8 0.0 0.0 18.1 83.7 17.0 120.9 788.3 65.6

2018 3.0 34.0 45.3 86.3 138.8 17.7

suma 522.9 532.3 593.5 791.7 766.4 253.6 142.2 99.2 166.9 444.9 600.0 527.3 5440.9 453.4

media 58.1 59.1 74.1 87.9 85.1 28.1 17.7 12.4 20.8 55.6 75.0 65.9 640.2 53.3

minima 3.0 5.5 29.6 11.0 21.6 10.0 0.0 0.0 0.0 36.7 17.0 0.0 0.0

maxima 151.2 117.0 162.2 182.0 146.6 78.1 63.4 44.3 75.9 83.7 236.0 120.9 236.0

Nota. Adaptado de"Base de dator", por INAMHI, 2022.

(Consultora Hidrosoft, 2017)

RESULTADOS HORARIOS MICROCUENCA 1 / HEC-HMS

Date	Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct Flow (m3/s)	Baseflow (m3/s)	Total Flow (m3/s)
12abr.2015	0:00				0	30	30
12abr.2015	1:00	0	0	0	0	29,9	29,9
12abr.2015	2:00	0	0	0	0	29,7	29,7
12abr.2015	3:00	0	0	0	0	29,6	29,6
12abr.2015	4:00	0	0	0	0	29,5	29,5
12abr.2015	5:00	0	0	0	0	29,3	29,3
12abr.2015	6:00	0	0	0	0	29,2	29,2
12abr.2015	7:00	0	0	0	0	29,1	29,1
12abr.2015	8:00	0	0	0	0	29	29
12abr.2015	9:00	0	0	0	0	28,8	28,8
12abr.2015	10:00	0	0	0	0	28,7	28,7
12abr.2015	11:00	0	0	0	0	28,6	28,6
12abr.2015	12:00	0	0	0	0	28,5	28,5
12abr.2015	13:00	0	0	0	0	28,3	28,3
12abr.2015	14:00	0	0	0	0	28,2	28,2
12abr.2015	15:00	0	0	0	0	28,1	28,1
12abr.2015	16:00	0	0	0	0	28	28
12abr.2015	17:00	0	0	0	0	27,8	27,8
12abr.2015	18:00	0	0	0	0	27,7	27,7
12abr.2015	19:00	0	0	0	0	27,6	27,6
12abr.2015	20:00	0	0	0	0	27,5	27,5
12abr.2015	21:00	0	0	0	0	27,4	27,4
12abr.2015	22:00	0	0	0	0	27,2	27,2
12abr.2015	23:00	0	0	0	0	27,1	27,1
13abr.2015	0:00	1	1	0	0	27	27
13abr.2015	1:00	0	0	0	0	26,9	26,9
13abr.2015	2:00	0	0	0	0	26,8	26,8
13abr.2015	3:00	0	0	0	0	26,6	26,6
13abr.2015	4:00	0	0	0	0	26,5	26,5
13abr.2015	5:00	0	0	0	0	26,4	26,4
13abr.2015	6:00	1	1	0	0	26,3	26,3
13abr.2015	7:00	0	0	0	0	26,2	26,2
13abr.2015	8:00	0	0	0	0	26,1	26,1
13abr.2015	9:00	0	0	0	0	26	26
13abr.2015	10:00	0	0	0	0	25,8	25,8
13abr.2015	11:00	0	0	0	0	25,7	25,7
13abr.2015	12:00	0	0	0	0	25,6	25,6
13abr.2015	13:00	0	0	0	0	25,5	25,5
13abr.2015	14:00	1,5	1,5	0	0	25,4	25,4
13abr.2015	15:00	3,5	3,5	0	0	25,3	25,3
13abr.2015	16:00	3	3	0	0	25,2	25,2

13abr.2015	17:00	1	1	0	0	25,1	25,1
13abr.2015	18:00	0	0	0	0	24,9	24,9
13abr.2015	19:00	0	0	0	0	24,8	24,8
13abr.2015	20:00	0	0	0	0	24,7	24,7
13abr.2015	21:00	0	0	0	0	24,6	24,6
13abr.2015	22:00	0	0	0	0	24,5	24,5
13abr.2015	23:00	0	0	0	0	24,4	24,4
14abr.2015	0:00	0	0	0	0	24,3	24,3
14abr.2015	1:00	1	1	0	0	24,2	24,2
14abr.2015	2:00	1,5	1,5	0	0	24,1	24,1
14abr.2015	3:00	0	0	0	0	24	24
14abr.2015	4:00	0	0	0	0	23,9	23,9
14abr.2015	5:00	0	0	0	0	23,8	23,8
14abr.2015	6:00	0	0	0	0	23,7	23,7
14abr.2015	7:00	0	0	0	0	23,6	23,6
14abr.2015	8:00	0	0	0	0	23,5	23,5
14abr.2015	9:00	0	0	0	0	23,4	23,4
14abr.2015	10:00	0	0	0	0	23,3	23,3
14abr.2015	11:00	0	0	0	0	23,2	23,2
14abr.2015	12:00	0	0	0	0	23,1	23,1
14abr.2015	13:00	0,3	0,3	0	0	23	23
14abr.2015	14:00	1	1	0	0	22,9	22,9
14abr.2015	15:00	2	2	0	0	22,8	22,8
14abr.2015	16:00	3,5	3,5	0	0	22,7	22,7
14abr.2015	17:00	1,5	1,5	0	0	22,6	22,6
14abr.2015	18:00	0	0	0	0	22,5	22,5
14abr.2015	19:00	0	0	0	0	22,4	22,4
14abr.2015	20:00	0	0	0	0	22,3	22,3
14abr.2015	21:00	0	0	0	0	22,2	22,2
14abr.2015	22:00	0	0	0	0	22,1	22,1
14abr.2015	23:00	0	0	0	0	22	22
15abr.2015	0:00	0	0	0	0	21,9	21,9
15abr.2015	1:00	0	0	0	0	21,8	21,8
15abr.2015	2:00	0	0	0	0	21,7	21,7
15abr.2015	3:00	0	0	0	0	21,6	21,6
15abr.2015	4:00	0	0	0	0	21,5	21,5
15abr.2015	5:00	0	0	0	0	21,4	21,4
15abr.2015	6:00	0	0	0	0	21,3	21,3
15abr.2015	7:00	0	0	0	0	21,2	21,2
15abr.2015	8:00	0	0	0	0	21,1	21,1
15abr.2015	9:00	0	0	0	0	21	21
15abr.2015	10:00	0	0	0	0	20,9	20,9
15abr.2015	11:00	0	0	0	0	20,8	20,8
15abr.2015	12:00	0	0	0	0	20,7	20,7
15abr.2015	13:00	0	0	0	0	20,7	20,7
15abr.2015	14:00	0	0	0	0	20,6	20,6

15abr.2015	15:00	0	0	0	0	20,5	20,5
15abr.2015	16:00	0	0	0	0	20,4	20,4
15abr.2015	17:00	0	0	0	0	20,3	20,3
15abr.2015	18:00	0	0	0	0	20,2	20,2
15abr.2015	19:00	0	0	0	0	20,1	20,1
15abr.2015	20:00	0	0	0	0	20	20
15abr.2015	21:00	0	0	0	0	19,9	19,9
15abr.2015	22:00	0	0	0	0	19,9	19,9
15abr.2015	23:00	0	0	0	0	19,8	19,8
16abr.2015	0:00	0	0	0	0	19,7	19,7
16abr.2015	1:00	0	0	0	0	19,6	19,6
16abr.2015	2:00	1,5	1,5	0	0	19,5	19,5
16abr.2015	3:00	4	4	0	0	19,4	19,4
16abr.2015	4:00	4,5	4,5	0	0	19,3	19,3
16abr.2015	5:00	5	5	0	0	19,3	19,3
16abr.2015	6:00	1	1	0	0	19,2	19,2
16abr.2015	7:00	0	0	0	0	19,1	19,1
16abr.2015	8:00	0	0	0	0	19	19
16abr.2015	9:00	0	0	0	0	18,9	18,9
16abr.2015	10:00	0	0	0	0	18,8	18,8
16abr.2015	11:00	0	0	0	0	18,8	18,8
16abr.2015	12:00	0	0	0	0	18,7	18,7
16abr.2015	13:00	0	0	0	0	18,6	18,6
16abr.2015	14:00	0	0	0	0	18,5	18,5
16abr.2015	15:00	0	0	0	0	18,4	18,4
16abr.2015	16:00	0	0	0	0	18,3	18,3
16abr.2015	17:00	0	0	0	0	18,3	18,3
16abr.2015	18:00	0	0	0	0	18,2	18,2
16abr.2015	19:00	0	0	0	0	18,1	18,1
16abr.2015	20:00	0	0	0	0	18	18
16abr.2015	21:00	0	0	0	0	17,9	17,9
16abr.2015	22:00	0	0	0	0	17,9	17,9
16abr.2015	23:00	1	1	0	0	17,8	17,8
17abr.2015	0:00	3	2,99	0,01	0	17,7	17,7
17abr.2015	1:00	3,5	3,32	0,18	0,1	17,6	17,8
17abr.2015	2:00	2,5	2,23	0,27	0,5	17,6	18,1
17abr.2015	3:00	3	2,53	0,47	1,5	17,5	19
17abr.2015	4:00	1,5	1,21	0,29	3,4	17,4	20,8
17abr.2015	5:00	0	0	0	5,7	17,3	23,1
17abr.2015	6:00	0	0	0	8,3	17,3	25,5
17abr.2015	7:00	0	0	0	10,2	17,2	27,3
17abr.2015	8:00	0	0	0	10,9	17,1	28
17abr.2015	9:00	0	0	0	10,7	17	27,7
17abr.2015	10:00	0	0	0	9,6	17	26,6
17abr.2015	11:00	0	0	0	8,2	16,9	25
17abr.2015	12:00	0	0	0	6,5	16,8	23,3

17abr.2015	13:00	0	0	0	5	16,7	21,7
17abr.2015	14:00	0	0	0	3,8	16,7	20,4
17abr.2015	15:00	0,3	0,24	0,06	3	16,6	19,6
17abr.2015	16:00	1,5	1,17	0,33	2,6	16,5	19,1
17abr.2015	17:00	0	0	0	2,6	16,4	19,1
17abr.2015	18:00	0	0	0	3,1	16,4	19,4
17abr.2015	19:00	0	0	0	3,8	16,3	20,1
17abr.2015	20:00	0	0	0	4,2	16,2	20,4
17abr.2015	21:00	0	0	0	4,3	16,2	20,4
17abr.2015	22:00	2,5	1,88	0,62	4,4	16,1	20,5
17abr.2015	23:00	3	2,15	0,85	5,3	16	21,3
18abr.2015	0:00	2	1,37	0,63	7,4	15,9	23,4
18abr.2015	1:00	0,5	0,33	0,17	11	15,9	26,9
18abr.2015	2:00	0	0	0	15,4	15,8	31,2
18abr.2015	3:00	0	0	0	19,2	15,7	34,9
18abr.2015	4:00	0	0	0	21,3	15,7	36,9
18abr.2015	5:00	0	0	0	21,3	15,6	36,9
18abr.2015	6:00	0	0	0	19,7	15,5	35,3
18abr.2015	7:00	0	0	0	17,1	15,5	32,6
18abr.2015	8:00	0	0	0	13,9	15,4	29,2
18abr.2015	9:00	0	0	0	10,7	15,3	26
18abr.2015	10:00	0	0	0	8,1	15,3	23,4
18abr.2015	11:00	0	0	0	6,3	15,2	21,5
18abr.2015	12:00	0	0	0	4,9	15,1	20
18abr.2015	13:00	0	0	0	3,8	15,1	18,9
18abr.2015	14:00	0,2	0,13	0,07	3	15	18
18abr.2015	15:00	0,5	0,33	0,17	2,5	14,9	17,5
18abr.2015	16:00	1	0,65	0,35	2,6	14,9	17,4
18abr.2015	17:00	1	0,64	0,36	3,3	14,8	18,1
18abr.2015	18:00	2,5	1,56	0,94	5,3	14,7	20,1
18abr.2015	19:00	1,5	0,9	0,6	8,7	14,7	23,4
18abr.2015	20:00	0	0	0	12,9	14,6	27,5
18abr.2015	21:00	0	0	0	17,4	14,5	32
18abr.2015	22:00	0	0	0	20,8	14,5	35,3
18abr.2015	23:00	0	0	0	22,1	14,4	36,5
19abr.2015	0:00	0	0	0	21,4	14,3	35,7
19abr.2015	1:00	0	0	0	19,2	14,3	33,5
19abr.2015	2:00	0	0	0	16,3	14,2	30,5
19abr.2015	3:00	0	0	0	13	14,2	27,2
19abr.2015	4:00	0	0	0	9,9	14,1	24