



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

1859

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

**Evaluación de la eficiencia de conducción del canal principal
del Sistema de Riego El Ingenio (SRI), del Cantón Espíndola,
Provincia de Loja**

**Trabajo de Integración Curricular
previa a la obtención del título de
Ingeniero Agrícola**

AUTOR:

Esvin Paul Torres Jiménez

DIRECTOR:

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2024

Educamos para Transformar

Certificación

Loja, 18 de septiembre del 2024

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que se ha revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de la eficiencia de conducción del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio (SRI), del Cantón Espíndola, Provincia de Loja.** , previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, de autoría del estudiante **Esvin Paul Torres Jimenez**, con **cédula de identidad número 1150506754**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Esvin Paul Torres Jiménez**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cédula de identidad: 1150506754

Fecha: 19 de septiembre del 2024

Correo electrónico: esvin.torres@unl.edu.ec

Teléfono: 0980093940

Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total, y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Esvin Paul Torres Jimenez**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de la eficiencia de conducción del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio (SRI), del Cantón Espíndola, Provincia de Loja.**, como requisito para optar el título de **Ingeniero Agrícola**; autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los diecinueve días del mes de septiembre del año dos mil veinte y cuatro.

Firma:



Autor: Esvin Paul Torres Jiménez

Cédula: 1150506754

Dirección: Tnte Hugo Ortiz, Galileo Galilei- Los Cipres

Correo electrónico: esvin.torres@unl.edu.ec

Teléfono: 0980093940

DATOS COPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo Mgs.

Dedicatoria

De forma especial a mis padres, Delia y José; a mi familia por su apoyo constante e incondicional.

Esvin Paul Torres Jiménez

Agradecimiento

Expreso mi más sincera gratitud a mi tutor, el Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo, Mg. Sc. por su invaluable guía, paciencia, experiencia y conocimientos compartidos a lo largo de este proceso de investigación. Sus valiosas orientaciones y constante apoyo fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo.

De manera especial, a mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional. Gracias por creer en mí y alentarme a perseguir mis metas

A todos aquellos que de una u otra forma contribuyeron a hacer realidad este logro, mi más sincero agradecimiento.

Esvin Paul Torres Jiménez

Índice de contenidos

Portada.....	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xii
1. Título.....	1
2. Resumen	2
Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
4. Marco Teórico.....	6
4.1. Junta de Agua de Riego.....	6
4.2. Sistema de riego.....	7
4.3. Obras de conducción	7
4.4. Canales	8
4.4.1. Definición de canal	8
4.4.2. Secciones transversales frecuentes.....	8
4.4.3. Elementos geométricos de la sección transversal de un canal.....	9
4.4.4. Determinación del área del canal.....	11
4.4.5. Componentes de la conducción principal del Sistema de Riego El Ingenio	11
4.4.6. Sección transversal del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio ...	13
4.5. Velocidad de flujo.....	14
4.6. Caudal	14
4.6.1. Métodos para medición de caudales	14
4.6.2. Selección de los puntos de aforo.....	15
4.7. Caracterización de la infraestructura hidráulica	16

4.8.	Perdidas de Agua en el canal.....	16
4.8.1.	Factores que influyen en las perdidas	17
4.8.2.	Perdidas por filtración en canales revestidos.....	17
4.9.	Eficiencia de conducción.....	18
5.	Metodología.....	20
5.1.	Descripción del Sistema de Riego el Ingenio	20
5.2.	Metodología para el primer objetivo.....	21
5.2.1.	Caracterización física de la infraestructura hidráulica del canal principal..	21
5.2.2.	Ubicación de puntos	22
5.2.3.	Aforo	23
5.2.4.	Estimación de caudal.....	24
5.2.5.	Determinación de las perdidas volumétricas	24
5.3.	Metodología para el segundo objetivo	25
5.3.1.	Cálculo de la eficiencia	25
6.	Resultados.....	27
6.1.	Resultados del Objetivo 1.....	27
6.1.1.	Caracterización física de la infraestructura actual de la conducción principal del Sistema de Riego El Ingenio.	27
6.1.2.	Caudales in situ en el canal principal del Sistema de riego El Ingenio.....	36
6.1.3.	Perdidas volumétricas in situ en el canal principal del Sistema de riego El Ingenio	37
6.2.	Resultados del objetivo 2	39
6.2.1.	Eficiencia de conducción del canal principal del Sistema de riego El Ingenio	39
7.	Discusión	42
7.1.	Discusión para el primer objetivo específico	42
7.2.	Discusión para el segundo objetivo específico	43
8.	Conclusiones	47
9.	Recomendaciones.....	48
10.	Bibliografía	49
11.	Anexos.....	54

Índice de tablas:

Tabla 1. Secciones del canal principal del SRI.....	13
Tabla 2. Valores de Cd según Davis y Wilson	25
Tabla 3. Categorías de eficiencia de conducción según Villavicencio	26
Tabla 3. Obras existentes en la conducción principal del Sistema de Riego El Ingenio	29
Tabla 4. Estado actual de la infraestructura existente en el Sistema de Riego El Ingenio	30
Tabla 5. Redes de distribución derivados de la conducción principal	33
Tabla 6. Caudales obtenidos en los diferentes puntos de aforo del canal en general	36
Tabla 7. Caudales obtenidos en los puntos de aforo críticos del canal principal.....	37
Tabla 8. Perdidas volumétricas en los diferentes tramos del canal en general	38
Tabla 9. Perdidas volumétricas en los tramos críticos del canal principal	39
Tabla 10. Eficiencia de conducción del canal en general.....	40
Tabla 11. Eficiencia de conducción en los tramos críticos del canal.....	41

Índice de figuras:

Figura 1. Organigrama estructural de la JGUs del Sistema de Riego El Ingenio.....	6
Figura 2. Esquema sistema de riego.....	7
Figura 3. Secciones transversales abiertas más frecuentes.....	9
Figura 4. Secciones transversales cerradas más frecuentes.....	9
Figura 5. Elementos geométricos de la sección transversal de un canal.....	10
Figura 6. Área hidráulica.....	10
Figura 7. Perímetro mojado.....	11
Figura 8. Captación sobre el Río Chiriyacu	12
Figura 9. Sección del canal principal	13
Figura 10. Puntos de medición de la velocidad en la vertical	15
Figura 11. Sistema de Riego El Ingenio.....	21
Figura 12. Puntos de aforo	23
Figura 13. Obra de captación.....	27
Figura 14. Desarenador del Sistema de Riego El Ingenio.....	28

Índice de anexos:

Anexo 1. Solicitud de designación de asesor para la revisión del proyecto de integración Curricular.....	54
Anexo 2. Informe de estructura, coherencia y pertinencia del trabajo de integración curricular.	56
Anexo 3. Oficio de aprobación y designación de director del trabajo de integración curricular.	58
Anexo 4. Estado actual (junio 2024) de la infraestructura de la obra de captación	59
Anexo 5. Estado actual (mayo 2024) de la infraestructura de conducción principal	60
Anexo 6. Obtención de coordenadas geográficas y elevación del canal principal	61
Anexo 7. Aforo con medidor de caudal tipo Molinete Global Water modelo FP111	61
Anexo 8. Cálculos referentes al canal principal de forma general	62
Anexo 9. Cálculos referentes a los tramos críticos del canal principal	63
Anexo 10. Certificado de traducción del resumen.....	64

1. Título

Evaluación de la eficiencia de conducción del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio (SRI), del Cantón Espíndola, Provincia de Loja

2. Resumen

El canal principal del Sistema de Riego El Ingenio construido en 1986, presenta problemas técnicos y de mantenimiento que afectan su eficiencia. Se identificaron obstrucciones en la obra de captación y un alto grado de deterioro en el colchón amortiguador, grietas y asentamientos en el canal, causando pérdidas de agua y reduciendo la capacidad de distribución del sistema hacia el área de riego. Los aforos realizados con el micro molinete muestran que el tramo E presenta mayores pérdidas volumétricas ($0,29 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$), en comparación con el tramo N ($0,11 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$), lo que se correlaciona con su estado de conservación. En comparación con otros estudios. La falta de mantenimiento preventivo y correctivo ha contribuido a este deterioro, alineándose con las recomendaciones de la FAO sobre la importancia del mantenimiento para prolonga la vida útil de la infraestructura. Se determinó que los tramos B y N tiene una eficiencia del 100%, mientras que los tramos E e I presentan una eficiencia crítica del 55%. La eficiencia promedio del canal es del 88,17%, considerada buena según la clasificación de Villavicencio. Sin embargo, la eficiencia en tramos críticos indica la necesidad urgente de implementar medidas de rehabilitación.

Palabras clave: eficiencia, deterioro, mantenimiento.

Abstract

The main canal of the El Ingenio Irrigation System, built in 1986, presents technical and maintenance problems that affect its efficiency. Obstructions were identified in the intake works and a high degree of deterioration in the buffer mattress, cracks and settlements in the canal, causing water losses and reducing the system's distribution capacity to the irrigation area. The gauging carried out with the micro windlass shows that the E section has higher volumetric losses ($0.29 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$), compared to the N section ($0.11 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$), which correlates with its state of conservation. In comparison with other studies. The lack of preventive and corrective maintenance has contributed to this deterioration, in line with FAO recommendations on the importance of maintenance to extend the useful life of the infrastructure. It was determined that sections B and N have an efficiency of 100%, while sections E and I have a critical efficiency of 55%. The average efficiency of the canal is 88.17%, considered good according to Villavicencio's classification. However, the efficiency in critical sections indicates the urgent need to implement rehabilitation measures.

Keywords: efficiency, deterioration, maintenance.

3. Introducción

En el año 2020, Ecuador contaba con una infraestructura instalada para regar una superficie aproximada de 1542474 hectáreas. Sin embargo, actualmente se riega solamente de forma efectiva 1012228 hectáreas, lo que indica una tasa de riego efectiva del 66%. Este porcentaje está relacionado con la eficiencia de los sistemas de riego, según el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE, 2022).

Lozada (2022) manifiesta, dentro de la provincia Loja existe una gran necesidad de riego con fines productivos y con ello producir sus tierras y mejorar la calidad de vida, el 70% de la provincia tiene potencialidades agropecuarias y poco o nada se ha hecho en buscar alternativas de solución donde se involucre la gestión integral del recurso hídrico. En la provincia de Loja existen 20 sistemas de riego estatales, de los cuales 14 han sido transferidos y 6 no, los mismos que son competencia directa del Gobierno Provincial, sumándole a estos aproximadamente 620 sistemas de riego comunitario que tiene la provincia, a los cuales su ultimo mantenimiento realizado por instituciones públicas fue por parte del ex Predesur

El Plan de Mejores 2017 – 2019 emitido por el Gobierno Provincial de Loja (GPL), identificó problemas significativos, como el estado regular de las obras de conducción, que provoca perdidas de agua por infiltraciones en el canal principal; además, esta infraestructura, construida 1986, está próxima a alcanzar su vida útil. Estas deficiencias generan conflictos entre la junta general y los usuarios, resultando en una distribución inadecuada del agua y en la entrega de turnos de riego fuera de tiempo, lo que afecta negativa la producción agrícola.

Según el GPL (2019), la diversificación de cultivos en el Sistema de Riego El Ingenio, estrategia para aumentar los ingresos de las familias beneficiarias, depende de la disponibilidad de agua en cantidad adecuada y el momento oportuno. Sin embargo, gran parte de la superficie de suelo no está siendo aprovechada de forma eficiente durante la temporada de verano. Los turnos de riego disponibles, que dependen de la cantidad de agua que se capta del Río Chiriyacu y de la que el canal es capaz de conducir, los usuarios no pueden diversificar la producción ni disponer de una superficie adecuada bajo riego que les permita considerar a la agricultura como una posible fuente de ingresos.

En este contexto, fue crucial abordar el problema de la insuficiencia de agua que enfrentan los usuarios debido a las perdidas en la conducción principal. Por ello, surgió la necesidad de este proyecto de investigación, que busco responder a la siguiente pregunta ¿Cuál

fue la eficiencia de conducción del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio?, mediante el cumplimiento de los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Contribuir al uso eficiente del agua mediante la determinación de la eficiencia de conducción del canal principal del Sistema de Riego el Ingenio.

Objetivos específicos

- Determinar *in situ* las pérdidas por filtración del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio.
- Establecer la eficiencia de conducción del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio.

4. Marco Teórico

4.1. Junta de Agua de Riego

Las juntas de riego se originan debido a la necesidad de ayudar y organizar a los usuarios en la administración del recurso agua y de la infraestructura de riego existente dentro de el/los sectores, a fin de aumentar la cobertura de área con la que se contribuirá en el aumento de la producción agrícola (Chorlango, 2012).

Llerena-Cepeda *et al.*, (2017) mencionan, las juntas cuentan con el apoyo de organismos públicos (MAG, GADs Provinciales, Instituciones académicas como universidades), quienes a través de sus actividades de vinculación con la sociedad pretenden contribuir al correcto uso del recurso hídrico.

La Junta General de Usuarios (JGUs) del Sistema de Riego El Ingenio está constituida por 229 usuarios, adquirió personería jurídica, mediante acuerdo Ministerial No. 081-MAG, el 15 de octubre de 1998. En ese entonces, la administración estaba a cargo de la Subcomisión Ecuatoriana PREDESUR, posteriormente respetando el Convenio Tripartito de Rehabilitación y Servicio de Apoyo, con fecha 5 de mayo del 2000 se realizó la transferencia de la infraestructura a la Junta General de Usuarios (JGUs), la organización de regantes cuenta con su Estatuto y Reglamentos que no han sido actualizados hasta la actualidad. En la Figura 1, se expone la estructura del directorio de la JGUs (Gobierno Provincial de Loja [GPL], 2016).

Figura 1. Organigrama estructural de la JGUs del Sistema de Riego El Ingenio.



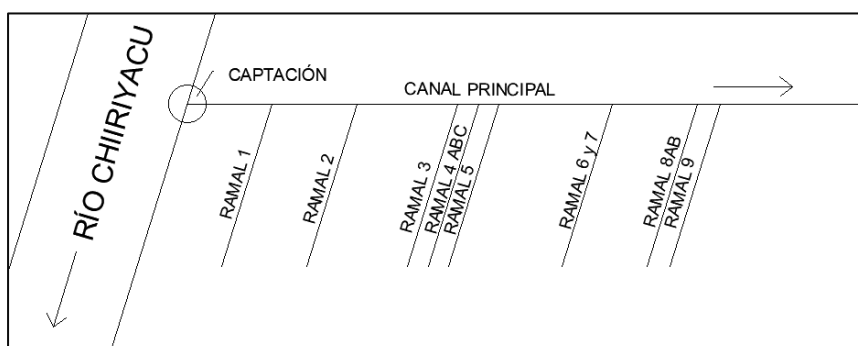
Fuente: Estatuto de la Junta General de Usuarios del Sistema de Riego El Ingenio

4.2. Sistema de riego

Como se muestra en la Figura 1, el sistema de riego es el conjunto de estructuras que permite que una determinada área pueda ser dotada con riego para que pueda ser cultivada. Consta de una serie de componentes, pero no necesariamente el sistema debe contar con todos ellos, ya que depende del método implementado (gravedad, aspersión, goteo). Según Espinosa *et al.*, (2016), un sistema de riego tiene como objetivo satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos de forma uniforme y eficiente.

El Sistema de Riego El Ingenio fue construido por la Ex subcomisión Ecuatoriana de Desarrollo PREDESUR, en el año 1986, y rehabilitado por la prefectura de Loja a través de la Empresa Pública de Riego y Drenaje del Sur RIDRENSUR EP, está ubicado en la parroquia El Ingenio del cantón Espíndola, provincia de Loja. La infraestructura está diseñada para captar el agua del Rio Chiriyacu, la cual, es conducida a través de un canal rectangular de hormigón armado a la zona de riego con el fin de mejorar la productividad de los cultivos.

Figura 2. Esquema sistema de riego



4.3. Obras de conducción

Conduce el agua en una determinada cantidad al lugar de aplicación de riego de una determinada área (Olazával *et al.*, 1999). En un sistema de riego existen diversas categorías de conductos:

- **Conducción principal.** Generalmente es canal abierto, parte de la bocatoma se desarrolla generalmente a media ladera y va entregando gradualmente a los canales secundarios por lo que su sección tiende a ir disminuyendo paulatinamente. El primer tramo entre la bocatoma y el primer canal secundario se llama tramo muerto ya que en este tramo no se riega ninguna parcela.

- **Conducción secundaria.** conductos laterales de segundo orden derivados de la canal principal ladera abajo mediante un partididor o toma lateral, permite trasladar el recurso al área a regar.
- **Red terciaria.** parte de la red de distribución al interior de un módulo de riego, llegan hasta las cabeceras de las parcelas.

4.4. Canales

4.4.1. *Definición de canal*

Villón (2008) menciona, los canales son conductos en donde el agua circula por acción de la gravedad y sin presión debido al contacto que existe entre la superficie libre del líquido y la atmosfera. Los canales pueden ser naturales (ríos o arroyos) o artificiales (construidos por el hombre). Dentro de estos últimos se incluyen conductos cerrados que trabajan parcialmente llenos como alcantarillas y tuberías.

4.4.2. *Secciones transversales frecuentes*

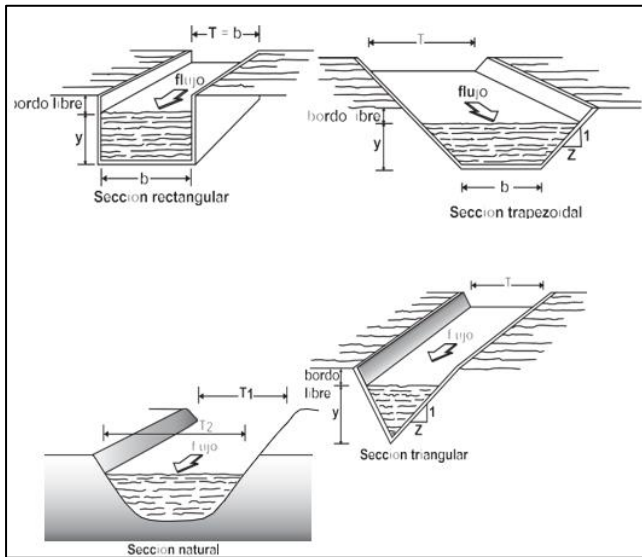
Según Villón (2008), en un canal natural, generalmente la sección transversal es muy irregular, mientras que en canales artificiales se diseñan usualmente con formas geométricas regulares (prismáticos), los más comunes son los siguientes:

Secciones abiertas

(Figura 3), entre las secciones abiertas más frecuentes se encuentran:

- **Sección trapezoidal:** usado para canales de tierra y revestidos.
- **Sección rectangular:** se emplea para acueductos de manera o de hierro, canales excavados en roca y canales revestidos.
- **Sección triangular:** se usa para cunetas revestidas en las carreteras, canales de tierra pequeños, principalmente por facilidad de trazo, por ejemplo, los surcos.
- **Sección parabólica:** a veces se emplea para canales revestidos y es la forma que suelen tomar muchos canales naturales y canales viejos de tierra.

Figura 3. Secciones transversales abiertas más frecuentes

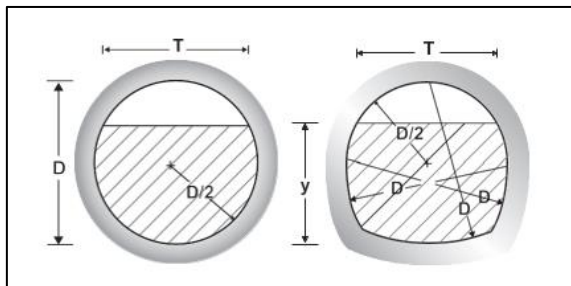


Fuente: (Villón, 2005)

Secciones cerradas

- **Sección circular y sección de herradura:** (Figura 4), esta sección comúnmente se usa para alcantarillas y estructuras hidráulicas importantes (Villón, 2008).

Figura 4. Secciones transversales cerradas más frecuentes

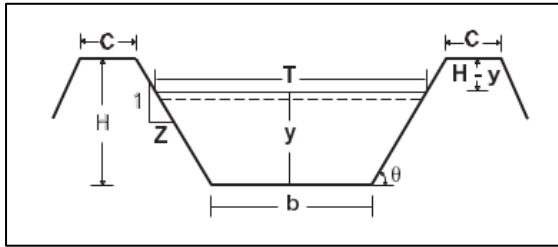


Fuente: (Villón, 2005)

4.4.3. Elementos geométricos de la sección transversal de un canal

En la Figura 5 se muestran los elementos geométricos de la sección transversal de un canal.

Figura 5. Elementos geométricos de la sección transversal de un canal



Fuente: (Villón, 2005)

Donde:

y = tirante de agua, es la profundidad máxima del agua en el canal

b = ancho de solera, ancho de plantilla, o plantilla, es el ancho de la base de un canal

T = espejo de agua, es el ancho de la superficie libre del agua

C = ancho de corona

H = profundidad total del canal

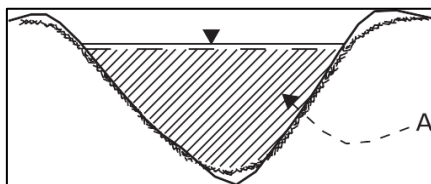
$H - y$ = bordo libre

θ = ángulo de inclinación de las paredes laterales con la horizontal

Z = talud, es la relación de la proyección horizontal a la vertical de la pared lateral (se llama también talud de las paredes laterales del canal). Es decir, Z es el valor de la proyección horizontal cuando la vertical es 1.

A = área hidráulica, es la superficie ocupada por el líquido en una sección transversal normal cualquiera (Figura 6).

Figura 6. Área hidráulica



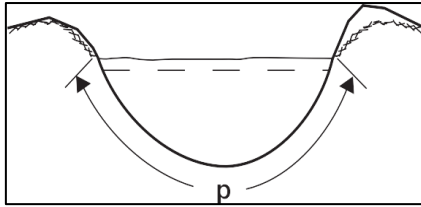
Fuente: (Villón, 2005)

p = perímetro mojado, es la parte del contorno del conducto que está en contacto con el líquido (Figura 7).

R = radio hidráulico, es la dimensión característica de la sección transversal, hace las funciones del diámetro en tuberías, se obtiene la siguiente relación:

$$R = \frac{A}{p}$$

Figura 7. Perímetro mojado



Fuente: (Villón, 2005)

\bar{y} = profundidad media, es la relación entre el área hidráulica y el espejo de agua, es decir:

$$\bar{y} = \frac{A}{T}$$

4.4.4. Determinación del área del canal

En el caso de un canal rectangular se multiplica el ancho promedio del canal por su profundidad, con todas las medidas expresadas en metros.

$$A = \frac{(a+b)}{2} \times h$$

La altura h se obtiene de un promedio de las alturas de agua a lo largo del canal en el sector elegido (Antonio y Pino, 2000).

4.4.5. Componentes de la conducción principal del Sistema de Riego El Ingenio

Captación o bocatoma

Conjunto de estructuras, necesarias para asegurar la desviación de una cantidad de agua determinada de una fuente hídrica. La obra de captación trata de asegurar que en todo tiempo y bajo cualquier condición se capte o derive el caudal previsto (Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas [IICA], 2020)

Los componentes de la bocatoma son: muros de ala, contención, muro azud, rejilla lateral y la cámara de derivación (desrripador). El muro azud está construido a lo ancho de la fuente de agua y su función es subir el nivel y dirigirla hacia la rejilla para el ingreso a la cámara de derivación. Los muros de ala se encuentran a los lados y su función es encauzar el agua y proteger las orillas de la fuente de captación (Gobierno Provincial de Loja [GPL], 2016).

La captación sobre el Río Chiriyacu (Figura 8), fue diseñada y construida para captar un caudal de 800 l s^{-1} ; el azud es de hormigón Ciclópeo. La entrada de agua es por medio de

una rejilla metálica, la cual, direcciona el flujo a la cámara de derivación y posterior al desarenador. Además, con el fin de poder hacer el control del agua que ingresa al canal según las necesidades del sistema, existe un limnómetro calibrado para que el administrador o canalero, deriven los caudales requeridos según la altura registrada en la regleta.

Figura 8. Captación sobre el Río Chiriyacu



Aliviadero

Ubicado entre la bocatoma y el desarenador, permite evacuar los excesos de agua que ingresan al canal, permitiendo regular en forma automática el nivel del agua de acuerdo a la capacidad máxima de diseño de la conducción principal (GPL, 2016).

Desarenador

Constituye la primera unidad de tratamiento. Estructura vital en las captaciones superficiales, sobre todo cuando la corriente de agua arrastra mucho sedimento. Es un tanque rectangular, mucho más largo que ancho, dentro del cual el agua circula a muy poca velocidad. Debido a esto, las partículas se asientan en el fondo, por acción de la fuerza de gravedad (GPL, 2016).

Conducción principal

Integrada por un canal abierto de sección rectangular de 6,30 km de longitud, 3 túneles que suman 154 m, un sifón, 1 acueducto y una rápida. Como obras de protección se dispone de 4 km de cunetas de coronación, 17 badenes y 18 alcantarillas. A lo largo del canal principal, existen cinco compuertas que permiten el lavado hidráulico de tramos del canal. Además, a lo

largo de la conducción principal existen 32 puntos de entrega, de las cuales 24 son individuales y 11 colectivas (GPL, 2016).

Red de distribución

Ramales que abastecen el área de riego, disponen de un desarenador de lavado manual, diseñado en base a los caudales de funcionamiento de la red .

4.4.6. Sección transversal del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio

Tal como se expone en la Figura 9 y en la Tabla 1, el canal principal del Sistema de Riego El Ingenio cuenta con dos secciones transversales, mismas que son rectangulares. Cabe mencionar que parte del canal es embaulado y otra parte sin embaular.

Figura 9. Sección del canal principal

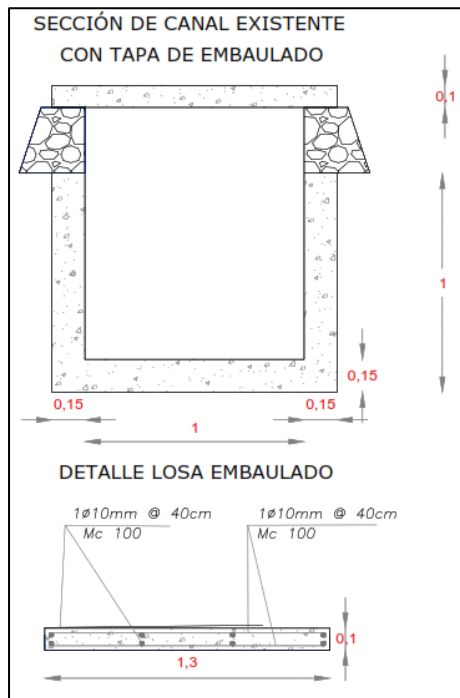


Tabla 1. Secciones del canal principal del SRI

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Sección B(m)	H(m)	Q l s ⁻¹ Posible
0+000	2+665	1,20	1,0	700
2+719	6+300	1,0	0,8	550

4.5. Velocidad de flujo

La velocidad de flujo de una corriente es la rapidez con la que el agua se mueve a través de una sección transversal. Determinada por el equilibrio existente entre la tensión gravitacional de la pendiente descendente como resultado de la pendiente de la corriente, y la pérdida o gasto de energía en la superación de la resistencia de la fricción del lecho del canal y los lados. Generalmente la mayor velocidad del flujo se da en el centro del canal, justo debajo de la superficie (Chow, 1998)

4.6. Caudal

El caudal corresponde a una cantidad de agua que pasa por un conducto (canal, tubería, entre otros) en una cierta cantidad de tiempo, es decir, corresponde a un volumen de agua (litros, metros cúbicos, entre otros), por unidad de tiempo (segundos, minutos, horas, entre otros) (Antonio y Pino, 2000).

4.6.1. Métodos para medición de caudales

Los métodos más utilizados para medir el caudal de una corriente de conductos abiertos son las estructuras hidráulicas como orificios, vertederos y el aforador Parshall. Por otra parte, teniendo en cuenta la velocidad y el área de la sección transversal de un caudal o río se emplean los métodos del molinete, flotadores, limnímetros y el método de Manning (Legarda y Ruiz, 2000).

Método del molinete o correntómetro.

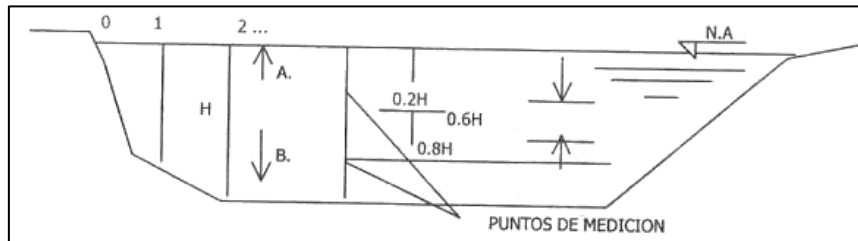
Instrumento que permite medir o aforar la velocidad de una corriente de agua. En conductos grandes se utiliza el molinete y para pequeñas corrientes se utiliza el micromolinete. La selección de este equipo varía según la corriente en donde se va a utilizar, el costo y los requerimientos técnicos determinan la selección del equipo a utilizar .

Según Legarda y Ruiz, (2000), un molinete es un elemento mecánico que gira sobre un eje vertical u horizontal con una velocidad angular que depende de la velocidad lineal del flujo del agua en el punto de medición. El elemento giratorio puede ser una hélice o un sistema de cazoletas.

El aforo puede ser por vadeo cuando la corriente es poco profunda y poco caudalosa que permite vadearla; a pie y por suspensión cuando se hace en ríos caudalosos y profundos por medio de puentes, tarabitas, cables, etc. En el método por vadeo considerando la poca

profundidad del agua se emplea principalmente dos formas: método $0,2H - 0,8H$ (dos décimas – ocho décimas de la altura) y el promedio a 6 décimas de altura tal como se muestra en la Figura 10 (Legarda y Ruiz, 2000).

Figura 10. Puntos de medición de la velocidad en la vertical



Fuente: (Legarda y Ruiz, 2000)

Método del flotador

Según (Legarda y Ruiz, 2000), son aquellos que flotan en la superficie del agua y miden la velocidad superficial de la corriente. Se toma el 80% de la velocidad superficial; sin embargo, el problema que se presenta este método, es que está influenciado por el viento, por las corrientes y por las olas. El procedimiento consiste en lo siguiente: se toma un tramo de 5 a 10 metros de longitud de la corriente, en la cual, se determinan las áreas en 4 puntos, por ejemplo, si la distancia seleccionada es 10 metros, las lecturas se realizan a 0 m; 2,5 m; 7 m y 10 m y se obtiene un promedio de lecturas. Con el flotador (pelota de ping – pong) se determina el tiempo que tarde en recorrer los 10 metros y se calcula la velocidad al 80%.

4.6.2. Selección de los puntos de aforo

Según el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, (2019), la selección de los puntos de aforo permite medir y controlar el caudal de agua que fluye a través del canal, además, menciona que la sección escogida debe cumplir con los siguientes requisitos:

- **Sección estable:** la sección escogida para realizar la determinación del caudal mediante aforo líquido debe ubicarse en un tramo recto, lo más homogéneo posible con el fin de garantizar la distribución adecuada de las velocidades verticales en cada punto y la estimación de caudal para la sección. Además, debe presentar una altura de lámina suficiente para permitir el uso de los instrumentos y presentar un lecho que permita la medición y el desplazamiento del encargado, evitando obstrucciones o barreras.
- **Condiciones de flujo:** debe presentar un flujo lo más uniforme y permanente posible sin vértices o zonas muertas que puedan generar reversiones en el flujo y alterar las

mediciones de velocidad. También, debe encontrarse alejada de estructuras hidráulicas, vertimientos que puedan afectar las mediciones de velocidad o las estimaciones de caudal, así como también evitar pendientes del lecho pronunciadas o escalones.

- **Accesibilidad:** la sección debe contar con acceso para el encargado de efectuar las mediciones y pueda ingresar al cuerpo de agua, de manera segura.

4.7. Caracterización de la infraestructura hidráulica

Según Houtte y Palmieri, (2014), la caracterización de la infraestructura hidráulica de un canal de riego consiste en la descripción y el análisis de las características geométricas e hidráulicas del canal (longitud, pendiente, sección transversal, caudal, velocidad, estructuras de control, mantenimiento y conservación, redes de distribución, eficiencia, análisis de pérdidas, ubicación espacial).

4.8. Pérdidas de Agua en el canal

Dentro de las pérdidas a lo largo de la conducción se le atribuye la filtración, evaporación y pérdidas por operación. De las cuales, las pérdidas por filtración pueden llegar a ser la de mayor consideración. En estudios realizados y para canales de tierra no revestidos se puede suponer que del total del agua derivada para aprovechamiento un tercio de la misma se perderá por concepto de filtración, evaporación y operación (Torres, 1987).

Por otro lado, el mismo autor manifiesta, los canales revestidos de concreto, de forma apropiada, las pérdidas deberían ser relativamente pequeñas. Sin embargo, fracasos parciales subsiguientes o mala construcción o mantenimiento inadecuado del revestimiento del concreto pueden provocar grandes pérdidas. Otros tipos de revestimiento son susceptibles de pérdidas de filtración en cantidades variables, dependiendo del tipo, la calidad de construcción y los factores naturales relacionados. En los canales revestidos de concreto es frecuente considerar el 5% como pérdidas en volumen, por concepto de filtración. En cuanto a la evaporación en canales usualmente es una cantidad muy pequeña, en comparación con las pérdidas por filtración, que se puede despreciar.

Por otra parte, Krochin, (1986) indica, si las pérdidas por filtración en los canales sobrepasan los $0,46 \text{ mm día}^{-1}$ este debe ser revestido. De acuerdo con Defelsko, (2012), al utilizar el revestimiento de hormigón siempre y cuando este sea de calidad, se podría disminuir estas pérdidas a $0,0122 \text{ mm día}^{-1}$. Es así como el revestimiento de los canales con hormigón es una solución efectiva para reducir las pérdidas por filtración; sin embargo, es decisivo que el

hormigón empleado sea de calidad para garantizar la efectividad del revestimiento ya que un hormigón de baja calidad puede ser susceptible a fisuras, grietas y porosidad. Cabe mencionar, el mantenimiento regular de los revestimientos como la detección y la reparación oportuna de cualquier daño o deterioro en el revestimiento es crucial para asegurar su efectividad a lo largo del tiempo.

4.8.1. Factores que influyen en las pérdidas

Según Krochin, (1986), la filtración en los canales depende de varios factores, se cita como principales, los siguientes:

- **La permeabilidad del lecho del canal:** depende de la permeabilidad del suelo y son tanto mayores cuando poroso y grueso es el suelo.
- **La vida útil del canal:** la pérdida de agua en los canales es generalmente máxima inmediatamente después de construidos, y después disminuye gradualmente con el tiempo a medida que el fondo y los lados son cubiertos por el fango. Las partículas de limo y arcilla llevadas por el agua son atraídas por las corrientes de percolación y se incrustan en los poros obstruyéndolos.
- **La longitud del canal:** las pérdidas son directamente proporcionales a la longitud del canal de conducción.
- **El caudal:** las pérdidas son proporcionalmente menores en los canales grandes que en los pequeños.
- **La temperatura:** mientras la temperatura va aumentando, el agua va disminuyendo su viscosidad, esto lo hace más escurridizo entre los poros del suelo.

4.8.2. Pérdidas por filtración en canales revestidos

De acuerdo a Castro y Muñoz, (2000), el revestimiento en canales debe cumplir los siguientes requerimientos:

- Crear una barrera impermeable al paso del agua disminuyendo las pérdidas de esta.
- Evitar daños por filtración en las tierras de los colindantes eliminando con eso la necesidad de costosas obras de drenaje.
- Proteger el canal contra la erosión, permitiendo mayor velocidad.
- Evitar el crecimiento de plantas acuáticas.

- Reducir considerablemente los costos de mantenimiento.
- Las características de un buen revestimiento deben ser las siguientes:
- Impermeable.
- Resistente a la erosión.
- De bajo costo en cuanto a la construcción, como mantenimiento.
- Durable ante la acción de agentes atmosféricos, plantas y animales.

Por la dureza y rigidez del hormigón, le permiten resistir velocidades de hasta 12 m s⁻¹. Cuando el agua está libre de elementos químicos que degraden la calidad del hormigón y no hay cambios bruscos de dirección, la duración de los revestimientos de hormigón es de alrededor de 40 años. Al utilizar revestimiento las pérdidas por filtración no se eliminan en su totalidad, siempre se producen a través de las grietas como se puede evidenciar en el canal principal del Sistema de Riego El Ingenio (ver anexos). Sin embargo, puede utilizarse aditivos con los cuales se obtiene revestimientos prácticamente impermeables (Torres, 1987).

4.9. Eficiencia de conducción

Indica la pérdida que se produce en la conducción del agua. Además, es la relación existente entre el caudal efectivamente entregado a los canales de distribución y el caudal derivado en la fuente de abastecimiento y se expresa en porcentaje (Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador [CONGOPE], 2017).

La eficiencia de la conducción tiene que ser determinada para cada una de las estaciones del año, prestando particular atención al periodo de estiaje del año cuando el agua es escasa (Almansa *et al.*, 1999). Es fundamental realizar la evaluación y monitoreo en esta época, ya que las pérdidas en la conducción pueden tener un impacto significativo en la disponibilidad de agua para riego, afectando la productividad agrícola.

Núñez, (2015) menciona, la eficiencia de conducción permite evaluar la pérdida de agua en el canal principal desde la Bocatoma hasta el punto final del canal principal. Además, permite identificar posibles puntos de pérdida, ya sea por fugas o infiltración, y tomar medidas correctivas para mejorar la eficiencia del sistema de riego. Lo que puede implicar la reparación de fugas, el mantenimiento de canales, la optimización de la distribución de agua e incluso la implementación de tecnológicas que reduzcan las pérdidas durante el transporte.

Existen casos que no es factible tener cerrado las compuertas de los canales laterales de distribución L1, L2, L3,..., Ln los mismos que se consideran en la forma de cálculo de la eficiencia de Conducción, para su cálculo se emplea la siguiente ecuación:

$$Ef_c = \frac{\text{Caudal que llega al final del Canal Principal} + \Sigma \text{caudales de distribución}}{\text{Caudal de agua que entra al canal principal}} \times 100$$

La sumatoria de canales de distribución se asume cero, en caso de que las compuertas se encuentren cerradas.

Núñez, (2015) menciona también, si el porcentaje de eficiencia es alto, significa que las pérdidas de agua son mínimas debido al buen estado en el que se encuentra el canal principal que conduce el agua. Lo cual quiere decir lo siguiente:

- De preferencia el canal principal sea revestido, para perdidas por filtración.
- Que no tenga roturas, ni en la base, ni en los taludes, ni en los bordes.
- No tenga mucho espejo de agua expuesto a la evaporación.
- No se produzcan hurtos o sustracciones de agua en el recorrido, como el caso de usuarios informales, carguío de agua en sistemas, abastecimiento permanente de uso pecuario, etc.
- Que se deriven los caudales mínimos recomendables técnicamente, para tener velocidad aceptable y no producir sedimentación que reduce la capacidad del canal o erosión que deforma la sección, exponiendo una mayor superficie a la filtración.

5. Metodología

5.1. Descripción del Sistema de Riego el Ingenio

Al sur oriente de la provincia de Loja, en la parroquia El Ingenio del cantón Espíndola, se ubica el Sistema de Riego El Ingenio (Figura 11) que forma parte de la cuenca del Río Catamayo, sub cuenca del Río Macará, microcuenca del Río Chiriyacu; delimita al Norte y Oeste con el Río Pindo, al Sur con la Quebrada del Castillo, y al Este con el cerro Consaguana.

El Sistema de Riego El Ingenio se ubica en las coordenadas: 9513677 m N; 671240 m E y 9509556 m N; 676493 m E; la captación se encuentra en la cota 1270 y la parte más baja 1102 m s.n.m. Comprende las comunidades: Las Villas, Las Pampas, La Florida, La Tejería, La Delicia, La Fragua, Maizales, San José, El Verde, Las Campanas.

Según estudios realizados por la Prefectura de Loja, (2015), la topografía del terreno en su mayor parte va de ligeramente plana a ondulada, con pendientes fuertes en la parte alta, donde se evidencian elevaciones pequeñas que quiebran la regularidad del terreno, las pendientes oscilan de 0 a 55 %. En cuanto a los suelos, existen cuatro texturas dispersas en todo el sistema, entre ellas: Franco Arcilloso, Franco Arcillo Arenoso, Arcillo Arenoso y Arcilloso, con mayor representatividad de los suelos arcillosos con un 40,94 %.

La conducción principal tiene una longitud de 6310 m y la red de distribución alcanza los 15137,67 m.

Figura 11. Sistema de Riego El Ingenio.



5.2. Metodología para el primer objetivo

Determinar in situ las pérdidas por filtración del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio.

El presente proyecto tuvo en principio efectuar las coordinaciones pertinentes para acceder a la zona de estudio, se solicitó y coordinó con el encargado de la operación de la Junta General de Usuarios de El Ingenio, se destinó los 6,3 km del canal principal para la ejecución de la investigación. Se prosiguió a la recopilación de la información de las características generales del área de estudio.

5.2.1. Caracterización física de la infraestructura hidráulica del canal principal

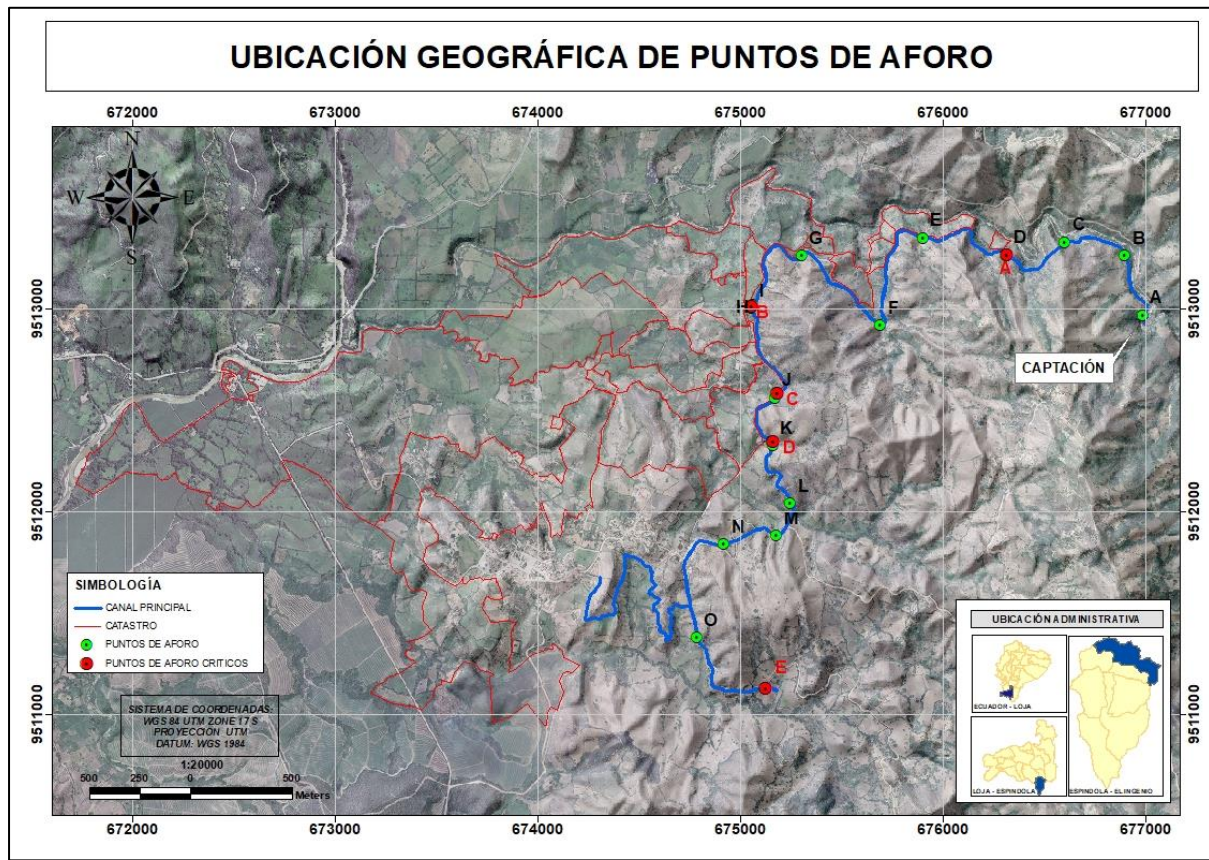
Se realizó un recorrido en la conducción principal del Sistema de Riego El Ingenio, partiendo desde la obra de captación localizada al margen derecho aguas abajo del río Chiriyacu. En el recorrido se enfatizó puntos donde se evidenció deterioro del canal con el fin de verificar la existencia de afloramientos de agua, mismos que fueron considerados como puntos de interés para determinar la eficiencia de conducción. Se identificó el estado actual de

la infraestructura hidráulica del canal principal y se caracterizó cualitativamente, mediante la observación de los distintos componentes y parámetros. Con el registro de los siguientes datos: material de construcción, estado y referenciación de las obras (coordenadas, abscisas), tipo y dimensiones de la sección transversal. Cabe mencionar que para la referenciación de las obras se empleó equipos topográficos como la estación total y estación GPS diferencial a fin de obtener precisión en la toma de coordenadas.

5.2.2. Ubicación de puntos

Se establecieron 16 puntos de aforo que representan el canal principal en general y 5 puntos que figuran los tramos críticos (Figura 12), considerando que estos cumplan con los requisitos para garantizar mediciones de aforo precisas y confiables. La selección de los puntos se basó en la sección transversal del canal, asegurando que el tramo sea recto a fin de contar con una distribución uniforme de velocidades verticales en cada punto; además, se consideró que la sección de aforo no este ubicado cerca de estructuras u obstáculos que produzcan remansos, para evitar el cambio de la distribución de velocidad de flujo y así garantizar uniformidad y permanencia del flujo en cada punto para evitar alteraciones en las mediciones; finalmente, se tomó en cuenta la accesibilidad de la sección para facilitar las mediciones.

Figura 12. Puntos de aforo



5.2.3. Aforo

En cada punto de aforo establecido, se tomó las coordenadas UTM con un GPS; además, con un flexómetro se procedió a tomar las dimensiones de la sección (solera y tirante) para efectuar la fórmula de obtención del área. Se obtuvo el valor promedio de la velocidad vertical con el medidor de caudal tipo Molinete Global Water modelo FP111, instrumento que consiste en un sensor de desplazamiento positivo turbo propulsor de agua, protegido y acoplado con un mango de sonda expansible que termina en una pantalla de lectura digital.

En el canal principal del Sistema de Riego El ingenio se presentan diferentes secciones en las abscisas 0+000 hasta la 2+665 y desde la 2+719 hasta la 6+300. Debido a que los valores de ancho de solera son de 1,20 m y 1,0 m respectivamente, se dividió la sección en subsecciones para realizar mediciones de velocidad vertical en los tramos con el valor mayor de ancho de solera (5 lecturas) y en el ancho de solera menor (4 lecturas). Estas mediciones se efectuaron cada 20 centímetros, desde las paredes del canal, mismos puntos que fueron señalados para sumergir perpendicularmente el medidor de caudal de forma lenta en los puntos correspondientes de cada subsección. Posteriormente, se estimó el promedio de la velocidad

vertical en toda la sección del punto de aforo y se llenó los datos en la hoja de registró diseñada para este propósito.

5.2.4. Estimación de caudal

El área de la sección mojada transversal del canal se obtuvo al multiplicar el espejo de agua por el tirante hidráulico, todas las unidades expresadas en metros.

$$A = T \times y$$

Donde:

A = área de la sección transversal mojada del canal, en m²

T = espejo de agua, es el ancho de la superficie libre del agua, en m

y = tirante de agua, es la profundidad del agua en el canal, en m

Posteriormente, con los datos promedio de velocidades verticales obtenidos con el medidor de caudal tipo Molinete Global Water modelo FP111 y el área de la sección, el caudal de agua que pasa por cada sección evaluada se obtuvo multiplicando su área por el promedio de las velocidades registradas en dicha sección.

$$Q = A \times V$$

Donde:

Q = caudal en la sección, en m³ s⁻¹

A = área de la sección transversal mojada del canal, en m²

V = velocidad promedio de la sección, en m s⁻¹

5.2.5. Determinación de las pérdidas volumétricas

Para determinar las pérdidas volumétricas se aplicó la fórmula propuesta por Davis y Wilson, citada por Domínguez *et al.* (2009), misma que se aplica con parámetros ya conocidos y un coeficiente de permeabilidad para el concreto (Tabla 2), la cual permite calcular la cantidad de agua que se pierde por infiltración y poder evaluar los puntos más críticos a lo largo del canal de estudio .

$$P = \frac{C_d y^{\frac{1}{3}} (b + 2y\sqrt{1 + Z^2})}{8861 + 8\sqrt{v}}$$

Donde:

P: pérdidas en metros cúbicos por segundo por kilómetro, m³ s⁻¹ km⁻¹

b: ancho, solera en metros, m

y: tirante en metros, m

Z: talud lateral

v: velocidad media en metros por segundo, m s⁻¹

C_d: coeficiente de la permeabilidad en metros por segundo, m s⁻¹

Tabla 2. Valores de Cd según Davis y Wilson

Tipo de Suelo	Cd
Concreto con espesor de 10 cm	1
Concreto con espesor de 15 cm	4
Suelo arcilloso	12
Suelo franco - arcilloso	15
Suelo franco	20
Suelo franco - arenoso	25
Arcilla limosa	30
Arena	40 - 70

Fuente: (Villón, 2005)

5.3. Metodología para el segundo objetivo

Establecer la eficiencia de conducción del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio.

5.3.1. Cálculo de la eficiencia

Se aplicó la fórmula propuesta por Nuñez, (2015), misma que relaciona el caudal de salida con el caudal de entrada y el/los caudales de distribución y se multiplicó por 100 para obtener la eficiencia de conducción en porcentaje.

$$Ec = \frac{Qs+Qd}{Qe} \times 100$$

Donde:

Ec: eficiencia de conducción del agua en porcentaje, %

Qs = caudal al inicio del tramo en metros cúbicos por segundo, m³/s

Qd = caudal que se distribuyen en los ramales del tramo en metros cúbicos por segundo, m³/s

Qe: caudal al final del tramo en metros cúbicos por segundo, m³/s

Por otro lado, para la clasificación de la eficiencia de conducción se adoptará la clasificación según Villavicencio.

Tabla 3. Categorías de eficiencia de conducción según Villavicencio

Tipo de Suelo	Cd
Excelente	90 - 100
Buena	80 - 90
Aceptable	70 - 80
Inaceptable	< 70

Fuente: INIA Raihuén (2021)

6. Resultados

6.1. Resultados del Objetivo 1.

Determinar in situ las pérdidas por filtración del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio

6.1.1. Caracterización física de la infraestructura actual de la conducción principal del Sistema de Riego El Ingenio.

La obra de captación (Figura 13), se encuentra ubicada en el Río Chiriyacu, de las cuales se derivan los caudales concesionados para los sistemas de riego El Ingenio (muro lateral del margen izquierdo del río aguas abajo) y el sistema Chiriyacu-Lucero (muro lateral del margen derecho del río aguas abajo). Está conformada por un azud con muros laterales con sus respectivas rejillas. Junto a la captación se encuentra el desarenador de lavado intermitente que tiene como función hacer que todo el sedimento se asiente en la base, para luego ser evacuado a través del lavado del desarenador.

Figura 13. Obra de captación



El desarenador (Figura 14), desemboca el agua formando el canal principal construido con hormigón, su función es conducir el agua a los distintos sectores de riego. Tiene una longitud de 6304,87 metros, está conformada de la siguiente manera: canal de hormigón simple de sección rectangular libre de 1,0 m x 1,0 m con una longitud de 483,30 m distribuido en distintos tramos de la conducción; canal de hormigón simple de sección rectangular embaulado de 1,0 m x 1,0 m con una longitud de 5351,91 m distribuido en distintos tramos de la conducción.

Figura 14. Desarenador del Sistema de Riego El Ingenio



La conducción principal está conformada por las siguientes obras: tres túneles con varias longitudes (103,20 m, 18,85 m y 117,95 m; un sifón de PVC de 650 mm de diámetro con una longitud de 88,35 m; un acueducto de 18,85 m; una rápida de 42,25 m y las siguientes obras complementarias: 17 alcantarillas, 13 pasos de agua y 4 aliviaderos, tal como se observa en la Tabla 3.

Además, lo largo del canal principal, existen cinco compuertas que permiten el lavado hidráulico de tramos del canal, ubicado:



- Abscisa 2+240, para evacuar el agua a la quebrada
- Abscisa 4+321, para evacuar el agua a la quebrada San José
- Abscisa 4+470, antes de la entrada al sifón, que evacua a la quebrada San José
- Abscisa 5+011, salida del acueducto, quebrada La Tina.
- Abscisa 5+732, que evacua las aguas en la Quebrada Sin Nombre

Tabla 4. Obras existentes en la conducción principal del Sistema de Riego El Ingenio



Tipo de obra	Coordenadas inicio			Coordenadas fin			Detalles
	Latitud	Longitud	Altitud	Latitud	Longitud	Altitud	
Canal rectangular de Hormigón - Sección libre 1,00 x 1,00m, e = 0,10m	9512969	676985	1254	9511104	675187	1243	L=483,30m Varias abscisas
Canal Rectangular de Hormigón – Embaulado: 1,00 x 1,00m, e = 0,10m	9512969	676985	1254	9511104	675187	1243	L=5351,91m Varias abscisas
Túnel 1	9513330	676596	1254	9513255	676523	1254	L=103,2m Absc:0+723
Túnel 2	9513233	675387	1254	9513185	675413	1254	L=18,85m Absc:2+712
Sifón	9512019	675264	1249	9511932	675236	1248	L=88,35m Absc:4+617
Túnel 3	9511900	675063	1253	9511849	674956	1253	L=117,95m Absc:4+939
Acueducto en H°S°	9511838	674934	1248	9511831	674916	1248	L=18,85m Absc:5+137
Rápida	9511134	675144	1243	9511122	675184	1235	L=42,25m Absc:6+195
Quebrada	9511122	675184	1235	9511101	675181	1234	L=21,28m Absc:6+216

En la tabla 4 se expone el estado actual de la infraestructura de la conducción principal, donde se destacan las siguientes características. En la captación, el muro azud construido con hormigón armado, el cual se encuentra obstruido por material pétreo y el colchón amortiguador presenta un alto grado de deterioro. Por su parte, en el desarenador, se observan grietas y el sellado de la compuerta de lavado no es de calidad. En el canal, se identificaron importantes grietas, asentamiento de la plataforma en ciertos tramos y presencia de maleza. Por el contrario, los túneles y sifón se encuentran en buen estado y son funcionales. Con respecto al acueducto y la rápida, estos presentan grietas y presencia de maleza en las paredes. Finalmente, la mayor parte de las compuertas de distribución a los distintos sectores de riego se encuentran deterioradas debido al poco mantenimiento que reciben.



Tabla 5. Estado actual de la infraestructura existente en el Sistema de Riego El Ingenio



Tipo de infraestructura y estado actual de la conducción principal			
Infraestructura	Tipo de material	Estado	Imagen
Captación	Hormigón armado	El muro azud se encuentra obstruido por material pétreo y muro lateral con rejilla; la estructura se encuentra en estado regular, sin embargo, es funcional; el colchón amortiguador requiere mantenimiento por lo cual no es funcional a su propósito	
Desarenador	Hormigón armado	Estructura funcional en estado regular por presencia de grietas y compuerta de lavado intermitente con sellado ineficiente, regleta de medición de caudal en estado disfuncional	

Tipo de infraestructura y estado actual de la conducción principal

Infraestructura	Tipo de material	Estado	Imagen
Canal	Hormigón armado	<p>Aproximadamente 5835,2 m de canal; 483,30 metros sin embaular, un aproximado de 5351,91 metros embaulados, en estado regular en su funcionamiento; se requieren reposiciones de tapas en tramos embaulados, evidencia de grietas en distintos puntos, desplazamiento de las paredes por empujes de relleno externo, asentamientos de plataforma.</p>	
Túneles	Hormigón	<p>Tres túneles con longitudes: 103,20 m; 18,85 m y 117,95 m; se encuentran en buen estado y funcionales</p>	

Tipo de infraestructura y estado actual de la conducción principal

Infraestructura	Tipo de material	Estado	Imagen
Sifón	Tubería de PVC Ø de 650mm	Longitud de 88,35 m; se encuentra en condiciones idóneas y funcional	
Acueducto	Hormigón armado	Longitud de 18,85 m; se encuentra en estado regular con presencia de grietas en las paredes.	

Tipo de infraestructura y estado actual de la conducción principal			
Infraestructura	Tipo de material	Estado	Imagen
Rápida	Hormigón armado de 0.8 x 1.0 m sección libre	Longitud de 42,25 m; se encuentra en estado deficiente con grietas en distintos puntos y obstruido por maleza; tramo final de la conducción principal que conduce a un cauce natural	
Compuertas	Hierro fundido	Permiten derivar el agua los diferentes sectores de riego, su estado es regular; en ciertos casos es necesario su replazo y pintura	

La red de distribución tiene una longitud total de 15137,67 m, la derivación se realiza mediante tubería en ramales de Asbesto – Cemento y PVC, a través de compuertas y el caudal de ingreso es controlado mediante la apertura de las mismas; luego de atravesar la plataforma del canal se encuentran ubicados los desarenadores de cada ramal, mismos que son de lavado manual lo que cual resulta en un mayor esfuerzo en las labores de mantenimiento.

Tabla 6. Redes de distribución derivados de la conducción principal

Red de distribución	Coordenadas inicio			Coordenadas fin			Detalles
	Latitud	Longitud	Altitud	Latitud	Longitud	Altitud	
**Ramal 1 PVC Ø 160 - 110 mm	9513313	675185	1252	9513504	675098	1212	Longitud = 300,57 m
**Ramal 2 Asbesto Cemento Ø 150 - 110 mm	9513125	675120	1252	9513171	674559	1176	Longitud = 715,95m
**Ramal 3 PVC Ø 160 mm	9513026	675067	1252	9513255	674099	1143	Longitud = 1052,51 m

Red de distribución	Coordenadas inicio			Coordenadas fin			Detalles
	Latitud	Longitud	Altitud	Latitud	Longitud	Altitud	
**Ramal 4 Asbesto Cemento Ø 150 - 110 mm	9513023	675066	1252	9512266	673134	1184	Longitud = 2833,91 m
Ramal 4.1 Asbesto Cemento Ø 150 mm	9512985	674486	1178	9512876	673663	1158	Longitud = 733,55 m
**Ramal 5 Asbesto Cemento - Ø 150 mm	9513020	675064	1252	9512871	673661	1136	Longitud = 1427,95 m
**Ramal 6 PVC Ø 150 – 63 mm	9512752	675113	1251	9512834	674626	1178	Longitud = 509,88 m
**Ramal 7 PVC Ø 160 – 63 mm	9512747	675105	1250	9512729	674458	1165	Longitud = 788,60 m
**Ramal 8 Asbesto Cemento Ø 300 - 150 mm	9512433	675077	1250	9511713	673420	1197	Longitud = 2369,28 m
Ramal 8.1 Asbesto Cemento Ø 150 mm	9512153	674398	1244	9512266	674491	1237	Longitud = 146,95 m
Ramal 8.2 Asbesto Cemento Ø 150 mm	9512151	674397	1246	9512375	674102	1199	Longitud = 370,09 m
Ramal 8.3 Asbesto Cemento Ø 150 mm	9511698	674219	1232	9512739	673289	1141	Longitud = 1711,17 m
Ramal 8.3.1 Asbesto Cemento Ø 150 mm	9511719	674082	1220	9511976	673990	1189	Longitud = 278,89 m

Red de distribución	Coordenadas inicio			Coordenadas fin			Detalles
	Latitud	Longitud	Altitud	Latitud	Longitud	Altitud	
Ramal 8.3.2							
Asbesto Cemento Ø 150 mm	9511866	673783	1231	9512083	673748	1187	Longitud = 230,65 m
Ramal 8.3.3							
Asbesto Cemento Ø110 mm	9512163	673466	1192	9512252	673407	1184	Longitud = 108,302 m
Toma directa	Varios puntos de la conducción principal						

*Canales que tienen su respectivo desarenador luego de atravesar la plataforma del canal

**Ramales derivados del canal principal

6.1.2. Caudales in situ en el canal principal del Sistema de riego El Ingenio

En la Tabla 6 se presentan los valores de caudal obtenidos en los 16 puntos de aforo seleccionados. Al analizar los resultados, se observa que el caudal más alto en el canal se registró en la abscisa 0+000,00, alcanzando un valor de 514,36 l s⁻¹. Por otro lado, el caudal medio se presentó en la abscisa 3+287,18, con un valor de 211,82 l s⁻¹, y el caudal menor se obtuvo en el aforo realizado en la abscisa 6+195, con 68,00 l s⁻¹.

Tabla 7. Caudales obtenidos en los diferentes puntos de aforo del canal en general

Punto de aforo	Abscisa	Área de sección transversal (m ²)	Velocidad del fluido (m s ⁻¹)	Caudal (m ³ s ⁻¹)	Caudal (l s ⁻¹)
A	0+000,00	0,83	0,62	0,514	514,36
B	0+331,41	0,82	0,57	0,464	464,10
C	0+673,30	0,84	0,55	0,462	462,00
D	1+051,17	0,81	0,57	0,456	456,17
E	1+566,70	0,96	0,46	0,442	441,60
F	2+197,28	0,64	0,38	0,242	241,68
G	2+762,91	0,56	0,42	0,234	234,36
H	3+268,08	0,67	0,30	0,216	216,03
I	3+287,18	0,67	0,30	0,212	211,82
J	3+809,90	0,45	0,26	0,117	117,00
K	4+143,15	0,38	0,28	0,106	106,40
L	4+527,25	0,55	0,14	0,077	77,28
M	4+719,38	0,32	0,24	0,076	75,60
N	5+009,68	0,25	0,28	0,070	70,00
O	5+648,44	0,50	0,14	0,070	70,00
P	6+195,00	0,43	0,16	0,068	68,00

En la Tabla 7 se presentan los caudales obtenidos en los puntos críticos del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio. El mayor caudal se registra en la abscisa 1+048,27, con un valor de 487,20 l s⁻¹. En la abscisa 2+735,50 se obtuvo un valor de 252,83 l s⁻¹; por su parte, en la

abscisa 3+579,46, el caudal aforado fue de 137,20 l s⁻¹ y el caudal menor se encuentra en la abscisa 5+537,23, con 68,00 l s⁻¹.

Tabla 8. Caudales obtenidos en los puntos de aforo críticos del canal principal

Punto de aforo	Abscisa	Área de sección transversal (m ²)	Velocidad del fluido (m s ⁻¹)	Caudal (m ³ s ⁻¹)	Caudal (l s ⁻¹)
A	1+048,27	0,84	0,58	0,487	487,20
B	2+735,50	0,50	0,40	0,253	252,83
C	3+579,46	0,49	0,28	0,137	137,20
D	5+537,23	0,43	0,16	0,068	68,00

6.1.3. Pérdidas volumétricas in situ en el canal principal del Sistema de riego El Ingenio

La Tabla 8 presenta las pérdidas volumétricas en los diferentes tramos del canal, donde el mayor valor se presenta en el tramo E, que comprende desde la abscisa 1+566,70 hasta la 2+197,28 con un caudal de 0,29 l s⁻¹ km⁻¹. El valor medio de pérdidas se encuentra en el tramo G, que comprende desde la abscisa 2+762,91 hasta la 3+268,08, con una pérdida de 0,20 l s⁻¹ km⁻¹. El tramo con menor pérdida es en el N, que comprende desde la abscisa 5+009,68 hasta la 5+648,44 con un valor de 0,11 l s⁻¹ km⁻¹. Por otro lado, el promedio de pérdidas volumétricas in situ en el canal principal del sistema de riego el Ingenio es de 0,21 l s⁻¹ km⁻¹.

Tabla 9. Perdidas volumétricas en los diferentes tramos del canal en general

Tramo	Abscisas		Perdidas volumétricas (m ³ s ⁻¹ km ⁻¹)	Perdidas volumétricas (l s ⁻¹ km ⁻¹)
	Desde	Hasta		
A	0+000,00	0+331,41	0,00026	0,26
B	0+331,41	0+673,30	0,00026	0,26
C	0+673,30	1+051,17	0,00026	0,26
D	1+051,17	1+566,70	0,00026	0,26
E	1+566,70	2+197,28	0,00029	0,29
F	2+197,28	2+762,91	0,00021	0,22
G	2+762,91	3+268,08	0,00020	0,20
H	3+268,08	3+287,18	0,00023	0,23
I	3+287,18	3+809,90	0,00023	0,23
J	3+809,90	4+143,15	0,00016	0,16
K	4+143,15	4+527,25	0,00015	0,15
L	4+527,25	4+719,38	0,00020	0,20
M	4+719,38	5+009,68	0,00013	0,13
N	5+009,68	5+648,44	0,00011	0,11
O	5+648,44	6+195,00	0,00018	0,18

La Tabla 9 muestra las perdidas volumétricas en los tramos críticos del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio. En el tramo entre las abscisas 1+048,27 y 2+735,50, se registra una pérdida de 0,26 l s⁻¹ km⁻¹. Entre las abscisas 2+735,50 y 3+242,20 se obtuvo un valor de 0,18 l s⁻¹ km⁻¹. Por su parte, entre las abscisas 3+242,20 y 3+579,46, la pérdida volumétrica es de 0,18 l s⁻¹ km⁻¹. Finalmente, en el tramo entre las abscisas 3+579,46 y 5+537,23, se observa una pérdida de 0,17 l s⁻¹ km⁻¹. El promedio de perdidas volumétricas es de 0,20 l s⁻¹ km⁻¹.

Tabla 10. Perdidas volumétricas en los tramos críticos del canal principal

Tramo	Abscisas		Perdidas volumétricas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-1}$)	Perdidas volumétricas ($\text{l s}^{-1} \text{km}^{-1}$)
	Desde	Hasta		
A	1+048,27	2+735,50	0,00026	0,26
B	2+735,50	3+242,20	0,00018	0,18
C	3+242,20	3+579,46	0,00018	0,18
D	3+579,46	5+537,23	0,00017	0,17

6.2. Resultados del objetivo 2

Establecer la eficiencia de conducción del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio.

6.2.1. Eficiencia de conducción del canal principal del Sistema de riego El Ingenio

La Tabla 10 presenta valores de eficiencia de conducción para 16 tramos del canal principal. Los tramos con la máxima eficiencia son el tramo B, que comprenden desde las abscisas 0+331,41 hasta la 0+673,30, y el tramo N, que comprende desde la 5+009,68 hasta la 5+648,44, ambos con una eficiencia de conducción del 100%.

Por otro lado, los tramos con la eficiencia más crítica son los tramos E que comprenden desde las abscisas 1+566,70 hasta la 2+197,28, y el tramo I, que comprende desde la abscisa 3+287,18 hasta la 3+809,90, ambos con una eficiencia de conducción del 55%.

En general, la eficiencia de conducción promedio del canal principal del Sistema de riego El Ingenio es de 88,17%, categorizada como buena.

Tabla 11. Eficiencia de conducción del canal en general

Tramo	Abscisas		Eficiencia de conducción (%)	Promedio de eficiencia de conducción (%)
	Desde	Hasta		
A	0+000,00	0+331,41	90	
B	0+331,41	0+673,30	100	
C	0+673,30	1+051,17	99	
D	1+051,17	1+566,70	97	
E	1+566,70	2+197,28	55	
F	2+197,28	2+762,91	97	
G	2+762,91	3+268,08	92	
H	3+268,08	3+287,18	98	88,92
I	3+287,18	3+809,90	55	
J	3+809,90	4+143,15	91	
K	4+143,15	4+527,25	73	
L	4+527,25	4+719,38	98	
M	4+719,38	5+009,68	93	
N	5+009,68	5+648,44	100	
O	5+648,44	6+195,00	97	

La Tabla 11 muestra la eficiencia de conducción en los tramos críticos del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio. En el tramo entre las abscisas 1+048,27 y 2+735,50, se registra una eficiencia de conducción del 52%. Entre las abscisas 3+242,20 y 3+579,46, la eficiencia es de 54 %. Finalmente, en el tramo entre las abscisas 3+579,46 y 5+537,23, la eficiencia es del 50%. El promedio de eficiencia de conducción en los en los tramos críticos del canal principal es del 51,91%, categorizada como inaceptable.

Tabla 12. Eficiencia de conducción en los tramos críticos del canal

Tramo	Abcisas		Eficiencia de conducción (%)	Promedio de eficiencia de conducción (%)
	Desde	Hasta		
A	1+048,27	2+735,50	52	
B	3+242,20	3+579,46	54	51,91
C	3+579,46	5+537,23	50	

7. Discusión

7.1. Discusión para el primer objetivo específico

Determinar in situ las pérdidas por filtración del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio

La infraestructura de conducción principal del Sistema de Riego El Ingenio, construida en 1986, no ha recibido intervenciones integrales desde su construcción. El diagnóstico realizado indica que la conducción se encuentra en estado regular, presentando diversos problemas técnicos y de mantenimiento que afectan su eficiencia. Se identificaron problemas en la obra de captación: el muro azud está obstruido por acumulación de material arrastrado por el río, y el colchón amortiguador muestra un alto grado de deterioro debido al flujo del agua que causa erosión en el material. En el desarenador, se observa notable grieta y un sellado deficiente de la compuerta de lavado. Del mismo modo, en el canal, el acueducto y la rápida, se han detectado grietas y asentamientos de la plataforma debido a fallas geológicas; además, de la presencia de malezas por falta de mantenimiento del canal. Finalmente, la mayoría de las compuertas están deterioradas, impidiendo el paso eficiente del agua a las redes de distribución. Estas fisuras, asentamientos y fallas estructurales provocan pérdidas, reduciendo la eficiencia de conducción y afectando la capacidad del sistema para distribuir de manera efectiva a los usuarios. Esta problemática se agrava por la falta de mantenimiento preventivo y correctivo por parte de los usuarios, disminuyendo la eficiencia y vida útil del sistema. Esto concuerda con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2014), quien menciona que un adecuado mantenimiento de la infraestructura de conducción previene deterioros, obstrucciones y daños, evitando las interrupciones en el suministro de agua y prolongando la vida útil del sistema. Por lo tanto, es necesario implementar un plan integral de rehabilitación y mantenimiento de la infraestructura de conducción principal.

Con base a la Tabla 8, los valores de pérdidas volumétricas obtenidos en los diferentes tramos del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio, en donde se identificó variabilidad a lo largo de la conducción. El tramo E, desde la abscisa 1+566,70 hasta la 2+197,28, presenta las mayores pérdidas con $0,29 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$, posiblemente por problemas de infiltración o deterioro. En contraste, el tramo N, desde la abscisa 5+009,68 hasta la 5+648,44, muestra las menores pérdidas con $0,11 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$, debido a un mejor estado de conservación. El valor medio se encuentra en el tramo G, desde la abscisa 2+762,91 hasta la 3+268,08, con $0,20 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$, mientras que el promedio general de pérdidas en todo el canal es de $0,21 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$. Esto se

debe principalmente que en los tramos mencionados del canal existen grietas en las paredes del canal y deterioro del hormigón. Los resultados de la investigación difieren con los resultados reportados por Ibañes (2023), en su investigación realizada en la conducción principal del sistema de riego Santiago, en el cual determino un promedio de perdidas por infiltración de $0,90 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$ utilizando la fórmula de Davis – Wilson.

Por lo contrario, Loayza y Meza (2022) en su estudio sobre el comportamiento del flujo de agua en canales de riego, determinaron un valor promedio de perdidas volumétricas de $158 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$ en canales de tierra. Estos resultados difieren de manera significativa de los encontrados en la presente investigación, debido a que los canales de tierra, en general son más permeables que los canales revestidos de hormigón, como el canal analizado en este estudio.

Por otro lado, la Tabla 9 muestra las perdidas volumétricas en los tramos críticos del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio. En el tramo entre las abscisas 1+048,27 y 2+735,50, se registra una pérdida de $0,26 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$, lo cual representa una reducción importante del caudal en esta sección del canal. Entre las abscisas 2+735,50 y 3+242,20 se obtuvo un valor de $0,18 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$. Por su parte en las abscisas 3+242,20 y 3+579,46, la pérdida volumétrica es de $0,18 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$, mientras que en el tramo entre las abscisas 3+579,46 y 5+537,23, se observa una pérdida de $0,17 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$. Esto se debe especialmente a que en estos tramos se evidencia la existencia de grietas bastante pronunciadas en el canal y asentamientos de la plataforma debido a fallas geológicas. Los resultados de la investigación son menores en comparación a los encontrados por Salazar-Hidalgo (2019), en donde obtuvieron una pérdida volumétrica estimada de manera teórica en un tramo crítico del canal de estudio de $5,04 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$ considerando que el canal de estudio no es revestido. Por su parte, Vega y Quishpe (2023) recomiendan realizar la evaluación en los tramos críticos del canal lo que permitirá corroborar puntos donde se evidencia la necesidad urgente de implementar medidas de mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura, para reducir fugas, mejorar la eficiencia de conducción y asegurar el adecuado suministro de agua a los usuarios del sistema de riego.

7.2. Discusión para el segundo objetivo específico

Establecer la eficiencia de conducción del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio.

La Tabla 10 muestra los valores de eficiencia de conducción para los 15 tramos del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio. Los tramos con la máxima eficiencia son el tramo B, que comprende desde la abscisa 0+331,41 hasta la 0+673,30, y el tramo N, que

comprende desde la 5+009,68 hasta la 5+648,44, ambos con una eficiencia del 100%, lo que indica un excelente funcionamiento en la conducción del agua en estas secciones. En contraste, los tramos con la eficiencia más crítica son los tramos E, que comprende desde la abscisa 1+566,70 hasta la 2+197,28, y el tramo I, que comprende desde la 3+287,18 hasta la 3+809,90, ambos con una eficiencia del 55%, evidenciando problemas significativos en la conducción de agua en estas secciones intermedias del canal, debido a presencia de grietas, asentamientos de la plataforma y presencia de fallas geológicas. En general, la eficiencia de conducción promedio del canal principal es del 88,17%, valor obtenido debido a que se compensan las eficiencias de los tramos críticos con los tramos que se encuentran en buen estado. Según la clasificación propuesta por Villavicencio, se categoriza como una eficiencia de conducción buena. Por su parte, Benavides, (2017) en su estudio realizado en el canal troncal de la Comisión de Usuarios de la Margen Izquierda del Río Tumbes, en las abscisas 17+006- 17+506 presentó una eficiencia de conducción promedio de 85,42%. Ambos estudios reflejan que, a pesar de las variaciones, la eficiencia se mantiene en rangos comparables debido a las condiciones generales de mantenimiento y diseño de los canales, lo que sugiere que estos entre otros factores influyen de manera similar en la conducción del agua en ambos contextos.

Por otro lado, Núñez, (2013) en su estudio llevado a cabo para la determinación de la eficiencia de conducción del canal de riego del centro poblado Tartar, distrito de Baños del Inca – Cajamarca, obtuvo una eficiencia de conducción promedio en un canal revestido de 85,40%. La similitud en los resultados de eficiencia de conducción entre el canal principal del Sistema de Riego El Ingenio y los otros estudios realizados, permite concluir que los canales revestidos de hormigón tienden a presentar eficiencias de conducción comparables, en el orden del 85 al 88% en promedio.

La Tabla 11 muestra la eficiencia de conducción en los tramos críticos del canal. En el tramo entre las abscisas 1+048,27 y 2+735,50, se registra una eficiencia de conducción del 52%, mientras que entre las abscisas 3+242,20 y 3+579,46, la eficiencia es del 54%. Finalmente, en el tramo entre las abscisas 3+579,46 y 5+537,23, la eficiencia es del 50%. Estos valores indican que la eficiencia de conducción en estos tramos del canal principal es altamente deficiente, con un promedio del 51,91%, la cual según la clasificación propuesta por Villavicencio se considera como una eficiencia de conducción inaceptable. Por otro lado, Ibañez (2023) en su estudio realizado en un canal de hormigón en el sistema de riego Santiago, obtuvo una eficiencia promedio de la conducción principal del 75,57%, debido a que el canal presentó erosión en las paredes, lo que provoca importantes pérdidas por infiltración. Así

mismo, Ortiz *et al.*, (2021) en su estudio realizado en el sistema de riego Tumbaco, determinaron que la eficiencia de conducción en la red de canal de tierra primario fue del 78,82%. El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú, (2012) manifiesta que en general, la eficiencia de conducción promedio para canales de tierra se encuentra entre 40 y 85%, que depende de diversos factores. Estos resultados sugieren, a pesar de contar con canales de hormigón, estos pueden estar en mal estado y tener una eficiencia de conducción que entra dentro del rango de eficiencia para canales de tierra. Cabe mencionar, estos datos ponen en evidencia la necesidad urgente de implementar medidas de rehabilitación y mejora de la infraestructura en estos tramos críticos, con el fin de aumentar la eficiencia de conducción; además, la identificación de estos puntos críticos de baja eficiencia es fundamental para priorizar las acciones de mantenimiento y optimizar los recursos disponibles.

Según los aforos realizados por la ARCA en septiembre de 2015, se estimó que la eficiencia de la conducción promedio del canal principal es del 95,67%, mientras que, en el presente estudio, la eficiencia estimada es del 88,17%. Esta disminución se obtuvo debido a que en los últimos años se ha presentado asentamientos en la plataforma e infiltraciones, edemas, a pesar que desde los aforos realizados por el ARCA hasta la actualidad se realizó la reconstrucción de un tramo de 70 m de longitud en la abscisa 0+201,2 y el sifón localizado en la abscisa 4+617,00, se obtuvo un valor menor de eficiencia.

Pese a disponer terrenos aptos para cultivos, el Sistema de Riego El Ingenio no ha alcanzado el desarrollo agrícola esperado debido a diversos factores. Como lo menciona Torres (1987), los canales de hormigón tienen una vida útil de 40 años. Por tal motivo, se considera que la conducción principal ha cumplido prácticamente su vida útil, consecuencia de los años que lleva operando. Sumado a esto, la deficiente gestión del riego ha sido un obstáculo para el crecimiento productivo del sector.

Aunque se disponga de una Junta General de Usuarios, los productores se enfrentan a dificultades para mantener el canal principal en óptimas condiciones. El principal factor limitante es la escasez de los recursos captados, lo cual impide que se realicen las labores de mantenimiento necesarios en la red principal, que requiere una fuerte inversión económica. Desafortunadamente, la junta no cuenta con la capacidad financiera para solventar estos costos, lo que se traduce en un deterioro progresivo de la infraestructura de la conducción principal.

El Sistema de Riego El ingenio fue diseñado para regar un total de 462,73 hectáreas, sin embargo, actualmente solo se riega el 57% de esa superficie, es decir, 268 hectáreas. El

caudal concesionado para este sistema es de 251,59 litros, pero los aforos realizados indican que el caudal real es de 514,36 litros por segundo lo que representa un caudal adicional de 262.77 litros por segundo. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el valor estándar para regar una hectárea es de 1 litro por segundo, y considerando una pérdida admisible del 5% en canales de concreto, el caudal disponible debería ser de 488,64 litros por segundo, lo cual sería suficiente para regar el área proyectada en el diseño original. No obstante, a pesar de contar con un caudal superior al requerido, actualmente solamente se están regando 268 hectáreas, lo que evidencia un aprovechamiento no óptimo del potencial del sistema de riego.

8. Conclusiones

- La infraestructura de conducción principal del sistema de riego, construida en 1986, presenta un estado regular, evidenciando múltiples problemas técnicos y de mantenimiento que comprometen su eficiencia operativa. Entre los principales inconvenientes se destacan, la obstrucción del muro azud, deterioro del colchón amortiguador, agrietamientos en el canal, deficiente sellado de las compuertas, proliferación de maleza y asentamientos de la plataforma. Estas deficiencias estructurales requieren atención inmediata para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema, mejorar la eficiencia de conducción del agua y prolongar la vida útil de la conducción.
- A partir de los caudales medidos en los distintos puntos de aforo realizados mediante el método del micro molinete, se identificaron variaciones significativas en las pérdidas volumétricas a lo largo del canal principal. En particular el tramo E presentó las pérdidas más elevadas, alcanzando un valor de $0,29 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$. Estas pérdidas se atribuyen principalmente a la presencia de grietas y al deterioro del hormigón.
- La eficiencia de conducción promedio del canal principal es del 88,17% clasificada como buena. El promedio de eficiencia de conducción del canal principal es comparable a otros estudios realizados en canales de hormigón, que también muestran una eficiencia promedio entre el 85% y 88%. Esto sugiere, aunque la conducción es de hormigón, su estado actual limita su rendimiento, similar a lo que se observa en canales de tierra. Por otro lado, las pérdidas volumétricas promedio calculadas con la fórmula de Davis-Wilson es de $0,21 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$. Cabe mencionar, estos promedios se ven influenciados por la compensación de tramos eficientes y críticos, sugiriendo que, aunque el sistema tiene un rendimiento aceptable, existen tramos que necesitan mejoras significativas.
- La eficiencia de conducción promedio en los tramos críticos del canal principal es del 51,91%, considerada como inaceptable, mientras que las pérdidas volumétricas promedio calculadas con la fórmula de Davis Wilson es de $0,20 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-1}$. Esta baja eficiencia se atribuye a los tramos que presentan además de grietas, asentamientos y fallas geológicas.

9. Recomendaciones

- Realizar una evaluación periódica de los caudales disponibles y ajustar los turnos de riego en función de los requerimientos hídricos de los cultivos y las condiciones climáticas lo que permitirá una distribución más equitativa y eficiente del agua, minimizando el estrés hídrico en los cultivos y mejorando la productividad agrícola.
- Implementar un programa de capacitación para los usuarios del sistema de riego, enfocado en la gestión eficiencia del agua y el mantenimiento de la infraestructura. Esto contribuirá a fomentar una mayor responsabilidad en el cuidado del canal y a optimizar el uso del agua.
- Priorizar la rehabilitación y mantenimiento en puntos que comprenden los tramos críticos del canal e incluir la reparación de grietas, reposición de compuertas deficientes y la estabilización de la plataforma, lo que permitirá mejorar significativamente la eficiencia de conducción y reducir las pérdidas de agua.
- Establecer un programa de monitoreo y mantenimiento regular para todos los tramos del canal, con especial atención a los que muestran deficiencias que incluya inspecciones periódicas para identificar problemas estructurales y de funcionamiento, así como la limpieza de malezas y otros obstáculos que puedan afectar el flujo de agua.

10. Bibliografía

- Almansa, E., Ramírez, J., Rodríguez, M., y Burgos, J. (1999). *Manejo de cultivos bajo riego en distritos de pequeña escala*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. file:///C:/Users/H%20P/Downloads/40299_25154.pdf
- Antonio, M., y Pino, M. T. (2000). *Medición de presión y caudal*.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2019). *Guía para el monitoreo hidráulico medianete el levantamiento de secciones volumétricas, mediciones de velocidad, estimaciones de valores de caudal en cuerpos de agua superficiales*. Código: M-GAA-RR-01. <https://www.metropol.gov.co/area/Documents/transparencia/M-GAA-RR-03%20Manual%20para%20la%20realizaci%C3%B3n%20de%20aforos%20caudal%20en%20cuerpos%20de%20agua%20superficiales.pdf>
- Benavides, J. (2017). *La eficiencia de conducción en el canal troncal tramo no revestido progresiva 5+400—5+900; tramo revestido progresiva 17+006 -17+506—Caso Comisión de Usuarios Margen Izquierda del Río Tumbes 2017* [Universidad Nacional de Tumbes]. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/320/TESIS%20-%20JIMENEZ%20BENAVIDES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castro, H., y Muñoz, J. (2000). *Diseño hidráulico y dibujo computarizado de obras de captación, líneas de conducción y sistemas de distribución de proyectos de agua potable con utilización de nuevas tecnologías*. [Universidad Técnica Particular de Loja]. file:///C:/Users/H%20P/Downloads/1019135-I.pdf
- Chorlango, V. (2012). *Gestión integral del agua de riego en la comunidad de Cubinche, Parroquia La Esperanza, Cantón Pedro Moncayo 2011* [Universidad Técnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3761/6/UPS-YT00191.pdf>
- Chow, V. T. (1998). *Hidráulica de los canales abiertos*. McGraw-Hill.

- Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador [CONGOPE]. (2017). *Hablemos de riego* (Segunda edición). CONGOPE.
- Defelsko. (2012). *Control de calidad de los revestimientos—Sustratos de hormigón*.
<https://es.defelsko.com/resources/coating-quality-control-concrete-substrates>
- Domínguez, M. Y. G., Cohen, I. S., Herrera, G. G., Díaz, L. M., y Trejo, R. (2009). Evaluación de la eficiencia de riego en el módulo IV del distrito de riego 017 Comarca Lagunera, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*.
- Espinosa-Espinosa, B., Flores-Magdaleno, H., Hernández-Ascensio, R., y Carrillo-Flores, G. (2016). *Diseño de un sistema de riego hidrante parcelario con los métodos por Turnos y Clement: Análisis técnico y económico*. 34(4).
<https://www.redalyc.org/pdf/573/57347465005.pdf>
- Gobierno Provincial de Loja [GPL]. (2016). *Manual de operación y mantenimiento del Sistema de Riego El ingenio*.
- Houtte, J., y Palmieri, A. (2014). *Documento de Trabajo N° 5. Infraestructura de Riego en la Provincia del Neuquén*.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/812048ad-1160-414e-8232-e22c7c7a8e81/content>
- Ibañes, J. (2023). *Evaluar la eficiencia de la conducción principal del sistema de riego Santiago*.
https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/28335/1/JonathanDavid_Iba%C3%BAesAguilar.pdf
- Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas [IICA]. (2020). *Mantenimiento y operación de los sistemas de riego parcelario*. Imprenta Cosmos.
<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/21091/BVE22098483e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Julcapoma, H., y Vilca, W. (2022). *Evaluación de la eficiencia técnica de conducción del canal de riego tres molinos, margen izquierdo del río Mashcón utilizando vertederos de pared delgada Cajamarca 2021*. Universidad Privada del Norte.
- Krochin, S. (1986). *Diseño Hidráulico* (3a ed.). Escuela Politecnica Nacional.
<https://dokumen.tips/documents/disenio-hidraulico-s-krochin.html?page=1>
- Legarda, L., y Ruiz, H. (2000). *Medicion de Corrientes de Agua con fines de Ingenieria de Regadios*. Revista de Ciencias Agrícolas. file:///C:/Users/H%20P/Downloads/Dialnet-MedicionDeCorrientesDeAguaConFinesDeIngenieriaDeRe-6191543.pdf
- Llerena-Cepeda, L., Zámora-Sánchez, R., Sánchez-Herrera, B., y Abril-Porras, V. (2017). *La administración de las Juntas de Agua de Riego: Factor clave para la sostenibilidad del sector agrícola en la provincia de Tungurahua*. 47.
https://www.researchgate.net/publication/320237960_La_administracion_de_las_Juntas_de_Agua_de_Riego_factor_clave_para_la_sostenibilidad_del_sector_agricola_en_la_provincia_de_Tungurahua_Management_of_the_irrigation_water_boards_key_factor_for_the_sust
- Loayza, L., y Meza, C. (2022). *Comportamiento hidráulico de flujo de agua en canales de riego en zonas de singularidad canal Molino, Mito, Junín—2021* [Universidad Continental].
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11467/2/%E2%80%8B%E2%80%8BIV_FIN_105_TE_%E2%80%8BLoayza%E2%80%8B_Meza_2022.pdf
- Lozada, D. (2022, abril 29). *Riego una necesidad urgente en la provincia de Loja*.
<https://hora32.com.ec/riego-una-necesidad-urgente-en-la-provincia-de-loja/>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú. (2012). *Manual de cálculo de eficiencia para sistemas de riego*.

- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (2022). *Plan Nacional de Riego y Drenaje*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/12/PLAN-NACIONAL-DE-RIEGO-Y-DRENAJE-2021-2026-PARA-PUBLICAR.pdf>
- Núñez, A. (2015). *Manual del Cálculo de Eficiencia para Sistemas de Riego*. https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf
- Núñez, R. (2013). *Determinación de la eficiencia de conducción del canal de riego del centro poblado Tartar distrito de Baños del Inca—Cajamarca* [Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/514/T%20627.52%20N962%202013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Olazábal, H., Noordholland de Jong, J., y Alvear, J. (1999). *Infraestructura de riego: Elementos técnicos y sociales*. Consorcio Camaren. http://cesa.org.ec/wp-content/uploads/2018/07/infraestructura_riego.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2014). *Infraestructura de Riego en la Provincia del Neuquén*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/812048ad-1160-414e-8232-e22c7c7a8e81/content>
- Ortiz Calle, R., Pazmiño Mayorga, J., y Chile Asimbaya, M. (2021). Eficiencias en el sistema de riego Tumbaco, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 14(1), 1-10. <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i1.443>
- Salazar-Hidalgo, K. (2019). *Estimación de pérdidas de caudal y coeficiente de rugosidad del tramo comprendido entre el óvalo 12 al 19 del canal de riego Ambato-Huachi-Pelileo, cantón Cevallos, provincia de Tungurahua* [Universidad Técnica de Ambato].

file:///C:/Users/H%20P/Downloads/Tesis%20I.%20C.%201349%20-%20Salazar%20Hidalgo%20Katherine%20Dayana%20(2).pdf

Torres, F. (1987). *Obras Hidráulicas* (2a ed.). LIMUSA.

Vega, M., y Quishpe, O. (2023). *Diagnostico y propuestas de solución para la rehabilitación del canal de riego Pucará, ubicado en el cantón Mejía, Provincia de Pichincha* [Universidad Politécnica Salesiana].

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24279/1/TTS1164.pdf>

Villón, B., Máximo. (2008). *Hidráulica de canales* (2a ed). Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Villón, M. (2005). *Diseño de Estructuras Hidráulicas* (2a ed.). Villón.
https://issuu.com/engcaos/docs/estructuras_hidr__ulicas/19

11. Anexos

Anexo 1. Solicitud de designación de asesor para la revisión del proyecto de integración Curricular.



UNL | Universidad
Nacional
de Loja

Carrera de
Ingeniería Agrícola

Memorando Nro.: UNL-FARNR-CAGC-2024-0032-M

Loja, 07 de febrero de 2024

PARA: Sr. Jimmy Javier Cordero Jimenez
Personal Academico Ocasional 1 Tiempo Completo

ASUNTO: DESIGNACIÓN DOCENTE PARA INFORME DE ESTRUCTURA,
COHERENCIA Y PERTINENCIA DEL TIC

Una vez que el día 5 de febrero de 2024, se conoce la petición del señor Esvin Paul Torres Jiménez, estudiante del ciclo ocho de la Carrera de Ingeniería Agrícola periodo académico octubre 2023- marzo 2024; y, de conformidad las competencias establecidas en el art. 49 del Estatuto Orgánico de la UNL y art. 225 del Reglamento de Régimen Académico de la Universidad Nacional de Loja, vigente, me permito designar a usted para que emita el informe de estructura, coherencia y pertinencia del proyecto de integración curricular denominado: **Evaluación de la eficiencia de conducción del canal principal en el tramo que comprende desde la captación hasta la abscisa 5 + 530,62 del Sistema de Riego El Ingenio, Cantón Espíndola, Provincia de Loja.**

Para el cumplimiento de esta actividad se observará la parte pertinente del art. 225, que textualmente señala: "(...) *El informe será remitido al Director de la carrera o programa dentro de los ocho días laborables, contados a partir de la recepción del proyecto.* Las negrillas y el subrayado me pertenecen.

En caso de incumplimiento del plazo señalado, el Director/a de carrera o programa retirará el proyecto y lo remitirá a otro docente. De este incumplimiento se notificará a la autoridad inmediata superior para las acciones que correspondan. contados a partir de la recepción del proyecto"

La presente notificación será enviada al estudiante por medio del correo electrónico institucional.

Particular que pongo a conocimiento para los fines legales consiguientes.

Atentamente,

Documento firmado electrónicamente

Sr. Pedro Manuel Mesias Guaya Pauta
DIRECTOR DE CARRERA



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Carrera de
Ingeniería Agrícola

Memorando Nro.: UNL-FARNR-CAGC-2024-0032-M

Loja, 07 de febrero de 2024

Anexos:

- proyecto_titulación_esvin_torres.pdf

Copia:

Sra. Patricia Del Consuelo Solorzano Sarmiento
Secretaria Abogada

Sra. Katherine Elizabeth Guaman Quichimbo
Secretaria I

kegq



PEDRO MANUEL MESIAS
GUYA PAUTA

* Documento firmado electrónicamente por Sidos

Educamos para **Transformar**
2/2

Anexo 2. Informe de estructura, coherencia y pertinencia del trabajo de integración curricular.



UNL
Universidad
Nacional
de Loja

Carrera de
Ingeniería Agrícola

Memorando Nro.: UNL-FARNR-CAGC-2024-0089-M

Loja, 06 de marzo de 2024

PARA: Sr. Pedro Manuel Mesias Guaya Pauta
Director de Carrera

ASUNTO: Certificado de pertinencia de PIC del señor Esvín Torres

Por el presente me permito hacer llegar a su despacho el informe de la segunda revisión de la estructura y coherencia del proyecto de titulación/ integración curricular denominado **Evaluación de la eficiencia de conducción del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio (SRI), del Cantón Espíndola, Provincia de Loja.** Formulado por el estudiante de la carrera señor Esvín Paul Torres Jiménez, solicitado a mi persona mediante Memorando Nro.: UNL-FARNR-CAGC-2024-0032-M con fecha 07 de febrero de 2024.

Debo indicar que luego de haber revisado el mismo, el estudiante ha cumplido con las correcciones sugeridas y concuerdo plenamente con el tema a ser estudiado, en razón de mantener coherencia con los campos específicos de la carrera. En cuanto a la estructura guarda correspondencia con el esquema de presentación de tesis de grado vigente en la Universidad Nacional de Loja; por tanto, considero que debe darse el curso regular para su aprobación.

Sin más en esta oportunidad, suscribo, agradeciéndole por la confianza depositada en mi persona,

Atentamente,

Documento firmado electrónicamente

Sr. Jimmy Javier Cordero Jimenez
PERSONAL ACADEMICO OCASIONAL 1 TIEMPO COMPLETO

Referencias:
- UNL-FARNR-CAGC-2024-0088-M

Copia:
Sra. Katherine Elizabeth Guaman Quichimbo
Secretaria I
Sra. Patricia Del Consuelo Solorzano Sarmiento
Secretaria Abogada



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Carrera de
Ingeniería Agrícola

Memorando Nro.: UNL-FARNR-CAGC-2024-0089-M

Loja, 06 de marzo de 2024

PMMGP



FORMA DE VERIFICACION
JIMMY JAVIER
CORDERO JIMENEZ

* Documento firmado electrónicamente por Sidoc

Educamos para **Transformar**
2/2

Anexo 3. Oficio de aprobación y designación de director del trabajo de integración curricular.



UNL
Universidad
Nacional
de Loja

Carrera de
Ingeniería Agrícola

Memorando Nro.: UNL-FARNR-CAGC-2024-0117-M

Loja, 12 de marzo de 2024

PARA: Sr. Jorge Luis Jaramillo Condolo
Personal Académico Ocasional 1 Tiempo Completo

ASUNTO: DESIGNACIÓN DOCENTE PARA DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE ESVIN TORRES JIMÉNEZ

Una vez que el día 6 de marzo de 2024, se conoce la petición del señor Esvin Paul Torres Jiménez, estudiante del ciclo ocho, periodo académico octubre 2023- marzo 2024; y, de conformidad a las competencias establecidas en el art. 49 del Estatuto Orgánico de la UNL y art. 228 del Reglamento de Régimen Académico de la Universidad Nacional de Loja, vigente, me permito designar a usted **DIRECTOR** del trabajo de integración curricular denominado: **Evaluación de la eficiencia de conducción del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio (SRI), del Cantón Espíndola, Provincia de Loja.**

La docente designada/o deberá observar la parte pertinente del art. 228 del RRA-UNL que textualmente señala: *“El director del trabajo de integración curricular o de titulación será responsable de asesorar y monitorear con pertinencia y rigurosidad científico-técnica la ejecución del proyecto y de revisar oportunamente los informes de avance, los cuales serán devueltos al aspirante con las observaciones, sugerencias y recomendaciones necesarias para asegurar la calidad de la investigación. Cuando sea necesario, visitará y monitoreará el escenario donde se desarrolle el trabajo de integración curricular o de titulación”.*

La presente notificación será enviada al estudiante por medio del correo electrónico institucional.

Particular que pongo a conocimiento para los fines legales consiguientes.

Atentamente,

Documento firmado electrónicamente

Sr. Pedro Manuel Mesias Guaya Pauta
DIRECTOR DE CARRERA

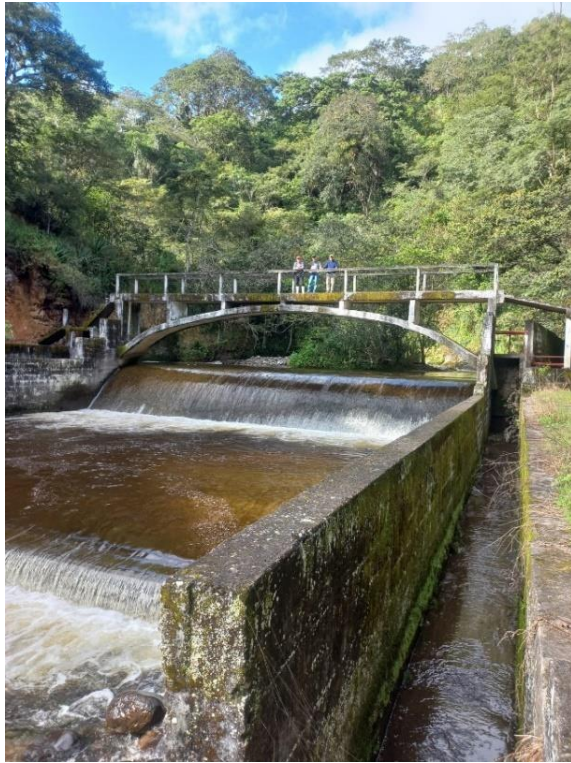
Anexos:

- unl-farnr-cagc-2024-0089-m_(1).pdf
- designación_de_director_del_pic.pdf
- avance_proyecto_tit_corregido_2-marzo-2024.docx

*Documento firmado electrónicamente por Sidoc

Educamos para **Transformar**
1/2

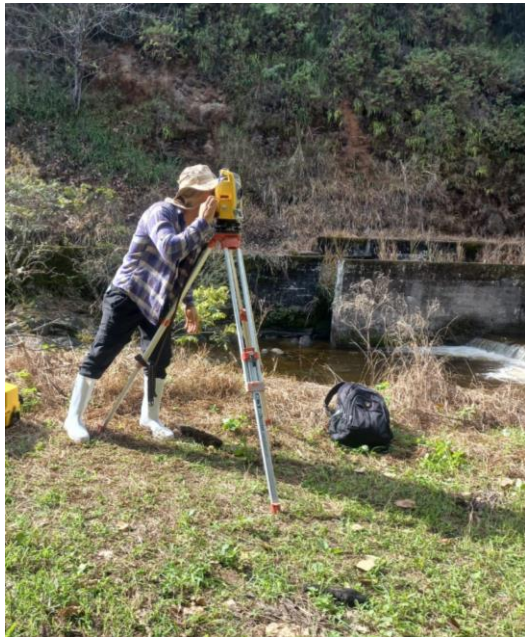
Anexo 4. Estado actual (junio 2024) de la infraestructura de la obra de captación



Anexo 5. Estado actual (mayo 2024) de la infraestructura de conducción principal



Anexo 6. Obtención de coordenadas geográficas y elevación del canal principal



Anexo 7. Aforo con medidor de caudal tipo Molinete Global Water modelo FP111



Anexo 8. Cálculos referentes al canal principal de forma general

CALCULOS FINALES TESIS - Excel

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda Nitro Pro

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas Edición

AD4 : =PROMEDIO(AC4:AC18)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	O	P	Q	T	AB	AC	AD
1																	Q final	Perdidas volumetricas	Eficiencia de conduccion	Eficiencia promedio
2			X	Y	y (m)	T (m)	V1(m/s)	V2(m/s)	V3(m/s)	V4(m/s)	V5(m/s)	V6(m/s)	Q (lts/s) distribuido	Vpro (m/s)	A (m2)	Q (m3/s)	Q (lts/s)	(Lts/s/km)		
3		TRAMO A			0.69	1.2	0.5	0.7	0.8	0.6	0.5		0	0.62	0.83	0.51	513.36	0.25711		
4	TRAMO B		676899.82	9513263.29	0.7	1.17	0.2	0.6	0.9	0.7	0.6	0.4	0	0.57	0.82	0.46	464.10	0.25735	90	
5		TRAMO C	676604.33	9513330.14	0.7	1.2	0.4	0.6	0.6	0.7	0.6	0.4	0	0.55	0.84	0.46	462.00	0.26036	100	
6	TRAMO D		676315.13	9513267.32	0.7	1.15	0.4	0.7	0.6	0.6	0.7	0.4	0	0.57	0.81	0.46	456.17	0.25535	99	
7		TRAMO E	675901.99	9513351.18	0.8	1.2	0.5	0.7	0.5	0.3	0.3		0	0.46	0.96	0.44	441.60	0.29316	97	
8	TRAMO F		675694.13	9512921.48	0.6	1.06	0.3	0.4	0.4	0.5	0.3		0	0.38	0.64	0.24	241.68	0.21500	55	
9		TRAMO G	675305.38	9513265.65	0.6	0.93	0.3	0.5	0.5	0.5	0.3		0	0.42	0.56	0.23	234.36	0.20263	97	
10	TRAMO H		675064.44	9513022.48	0.67	1	0.2	0.3	0.5	0.3	0.2		15.03	0.30	0.67	0.20	216.03	0.23096	92	
11		TRAMO I	675058.34	9513005.23	0.67	1	0.2	0.3	0.5	0.3	0.2		10.82	0.30	0.67	0.20	211.82	0.23096	98	
12	TRAMO J		675174.26	9512563.27	0.45	1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2		0	0.26	0.45	0.12	117.00	0.16424	55	88.92
13		TRAMO K	675161.09	9512326.59	0.4	0.95	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2		0	0.28	0.38	0.11	106.40	0.14545	91	
14	TRAMO L		675248.90	9512043.59	0.6	0.92	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1		0	0.14	0.55	0.08	77.28	0.20172	73	
15		TRAMO M	675181.67	9511884.66	0.35	0.9	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2		0	0.24	0.32	0.08	75.60	0.12719	98	
16	TRAMO N		674922.31	9511840.62	0.25	1	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2		0	0.28	0.25	0.07	70.00	0.10659	93	
17		O	674788.39	9511382.42	0.5	1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1		0	0.14	0.50	0.07	70.00	0.17908	100	
18					0.5	0.85	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1			0.16	0.43	0.07	68.00	0.16565	97	

AFORO 1 AFORO 2

Listo 100%

Anexo 9. Cálculos referentes a los tramos críticos del canal principal

CALCULOS FINALES TESIS - Excel

Paul Torres

Compartir

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda Nitro Pro

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas Edición

	A	B	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	U	AC	AD	AE	AF
1														Q final	Perdidas volumetricas (Lts/s/km)	Eficiencia de conduccion	Eficiencia promedio	
2			y (m)	T (m)	V1(m/s)	V2(m/s)	V3(m/s)	V4(m/s)	V5(m/s)	Q (lts/s) distribuido	Q (m3/s) distribuido	Vpro (m/s)	A (m2)	Q (lts/s)				
3		TRAMO A	0.7	1.2	0.5	0.6	0.7	0.6	0.5	0	0	0.58	0.84	487.20	0.26035			
4	TRAMO B		0.5	1	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3	52.83	0.05283	0.40	0.50	252.83	0.17904	52		
5		TRAMO C	0.49	1	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2	0	0	0.28	0.49	137.20	0.17608	54	51.91	
6			0.5	0.85	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1			0.16	0.43	68.00	0.16565	50		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		

AFORO 1 AFORO 2

Listo 108%

Anexo 10. Certificado de traducción del resumen

Lic. Andrea Sthefanía Carrión Mgs

0984079037

andrea.s.carrion@unl.edu.ec

Loja-Ecuador

Loja, 17 de septiembre del 2024

La suscrita, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs, **DOCENTE EDUCACIÓN SUPERIOR**

(registro de la SENESCYT número: 1008-12-1124463), **ÁREA DE INGLÉS-UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**, a petición de la parte interesada y en forma legal.

CERTIFICA:

Que la traducción del resumen del documento adjunto, solicitado por el señor: **Esvin Paul Torres Jiménez** con cédula de ciudadanía No. **1150506754**, cuyo tema de investigación se titula: **“Evaluación de la eficiencia de conducción del canal principal del Sistema de Riego El Ingenio (SRI), del Cantón Espíndola, Provincia de Loja”** ha sido realizado y aprobado por mi persona, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs. en Pedagogía.

El apartado del Abstract es una traducción textual del Resumen aprobado en español.

Particular que comunico en honor a la verdad para los fines académicos pertinentes, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.

ANDREA
STHEFANIA
CARRION
FERNANDEZ

Firmado digitalmente
por ANDREA STHEFANIA
CARRION FERNANDEZ
Fecha: 2024.09.17
17:10:42 -06'00'

Andrea Sthefanía Carrión Fernández. Mgs.

English Professor