



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,

INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.

**“EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA EN SISTEMAS
DE RIEGO Y COMO AFECTARIA A LA CALIDAD DEL SUELO
Y DISTRIBUCION DEL AGUA.”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

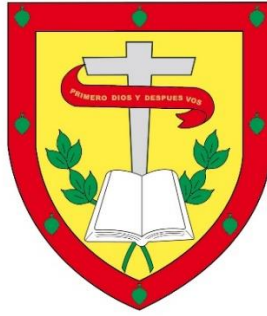
AUTOR: BRYAM FERNANDO CHIMBO PUMA

DIRECTOR: ING. PAOLA VERÓNICA DELGADO GARZÓN.

CUENCA-ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN.**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.

**EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA EN SISTEMAS DE RIEGO
Y COMO AFECTARIA A LA CALIDAD DEL SUELO Y DISTRIBUCION
DEL AGUA.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.**

AUTOR: BRYAM FERNANDO CHIMBO PUMA.

DIRECTOR: ING. PAOLA VERÓNICA DELGADO GARZÓN.

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Bryam Fernando Chimbo Puma portador de la cédula de ciudadanía N° **0106977705**. Declaro ser el autor de la obra: **“Evaluación de la calidad del agua en sistemas de riego y cómo afectaría a la calidad del suelo y distribución del agua”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 28 de marzo de 2023

F: 

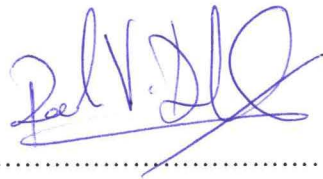
Bryam Fernando Chimbo Puma

0106977705

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Paola Verónica Delgado Garzón con CI: **0103801973** en calidad de directora de tesis certifico que el trabajo **“Evaluación de la calidad del agua en sistemas de riego y cómo afectaría a la calidad del suelo y distribución del agua”**, fue realizado por el estudiante Bryam Fernando Chimbo Puma, bajo mi supervisión.

Cuenca, 28 de marzo del 2024



Ing. Paola Verónica Delgado Garzón

DIRECTORA.

DEDICATORIA

Dedicado con profundo agradecimiento a mi madre, a mi padrastro, personas que con principios y con el ejemplo han sabido guiarme a ser la persona que soy, a mi tía por el apoyo y motivación incondicional durante toda mi vida, a mis primas por ser mi compañía desde la infancia y sobre todo a mis hermanos, compañeros de aventuras y pilares de fuerza en cada momento difícil.

“En la familia encontramos fuerza para superar los desafíos y celebrar los logros”

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a todos los profesionales, colegas, amigos y familiares que me apoyaron durante este proceso, así como a los profesores, autoridades y personal de la Universidad Católica de Cuenca por su dedicación en la formación de futuros ingenieros civiles, quienes serán fundamentales para el desarrollo de nuestra comunidad.

RESUMEN

La investigación sobre la calidad del agua en sistemas de riego y su influencia en la calidad del suelo y la distribución del agua es de vital importancia para asegurar la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria en la provincia de Azuay. Se llevaron a cabo análisis exhaustivos en tres sistemas de riego clave de la región: San Joaquín, Checa-Sidcay-Ricaurte y Chicticay-Paute. Los métodos de evaluación comprendieron la medición de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, así como la clasificación del agua según el Acuerdo Ministerial 097-A y la determinación de los índices de calidad del agua (ICA) en cada punto de muestreo de los canales en estudio.

Los resultados revelaron niveles preocupantes de contaminantes en varios puntos de muestreo de los sistemas de riego, con la mayoría de los parámetros superando los límites permisibles establecidos tanto por la normativa ecuatoriana como internacional. Asimismo, se identificó una correlación entre la calidad del agua de riego y la calidad del suelo, así como posibles efectos adversos en la distribución del agua en las zonas donde se encuentran los canales de riego.

Este estudio contribuye al entendimiento de la relación entre la calidad del agua y cuales podrían ser las afectaciones en el suelo y la distribución del agua en sistemas de riego agrícolas, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones y la implementación de políticas de manejo ambiental en la provincia de Azuay.

Palabras clave: calidad del agua, restricción, ICA, parámetros

ABSTRACT

Research on water quality in irrigation systems and its influence on soil quality and water distribution is vital to ensure environmental sustainability and food security in the province of Azuay. Comprehensive analyses were conducted in three critical irrigation systems in the region: San Joaquín, Checa-Sidcay-Ricaurte, and Chicticay-Paute. Evaluation methods included measuring physical, chemical, and microbiological parameters, classifying water according to Ministerial Agreement 097-A, and determining the Water Quality Index (WQI) at each sampling point along the studied canals.

Results revealed that levels of contaminants were present at various sampling points in the irrigation systems, with most parameters exceeding permissible limits set by Ecuadorian and international regulations. Furthermore, a correlation was identified between irrigation water quality and soil quality and potential adverse effects on water distribution in areas where irrigation canals are located.

This study contributes to understanding the relationship between water quality and potential impacts on soil and water distribution in agricultural irrigation systems, providing valuable information for decision-making and implementing environmental management policies in the province of Azuay.

Keywords: water quality, restriction, WQI, parameters



INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO 1. INTRODUCCION.	15
1.1. Contexto y relevancia de la investigación.....	15
1.2. Formulación y delimitación del problema	16
1.3. Objetivos.	18
1.3.1 Objetivo General.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos.....	18
CAPITULO 2. REVISION DE LA LITERATURA	19
2.1. Estado del arte.	19
2.2. Marco Teórico.	21
2.2.1 Calidad del agua.....	21
2.2.2 Contaminación del agua.....	21
2.2.3 Parámetros del agua.	21
2.2.3.1 Parámetros químicos.....	22
2.2.3.2 Parámetros físicos.	25
2.2.3.3 Parámetros microbiológicos.....	26
2.2.4 Relación de Absorción de sodio (RAS).....	27
2.2.5 Eutrofización.....	28
2.2.6 Plaguicidas.	28
2.2.7 Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego	29
2.2.8 Índice de calidad del agua (ICA).	29
2.3 Normativas empleadas	29
2.3.1 Parámetros físicos, químicos y microbiológicos.	30
2.3.2 Legislación vigente para comparación de resultados.....	30
CAPITULO 3. MATERIALES Y METODOS.	31
3.1 Evaluación de la salinidad y excesos de nutrientes en el agua de riego.31	
3.1.1 Análisis y descripción de los canales.....	31
3.1.2 Designación de los puntos de muestreo.	35
3.1.3 Toma y manejo de muestras.	39
3.2 Procedimientos y técnicas para el análisis de los parámetros.	39

3.2.1	Parámetros determinados in situ.	39
3.2.2	Parámetros físicos y químicos determinados en laboratorio.....	41
3.3	Determinación del grado de restricción	41
3.4	Determinación del Índice de Calidad (ICA).	43
3.4.1	Pesos específicos de cada parámetro (Wi).	44
3.4.2	Subindicadores de cada parámetro (Subi).....	45
CAPITULO 4.	ANALISIS DE RESULTADOS	52
4.1	Resultados de los parámetros del canal de San Joaquín.....	52
4.2	Resultados de los parámetros del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.	55
4.3	Resultados de los parámetros del canal de Chicticay-Paute.	57
4.4	Grado de restricción del agua de los sistemas de riego.....	60
4.4.1	Salinidad del agua.	60
4.4.2	Tasa de infiltración del agua de los sistemas de riego en el suelo. ..	66
4.5	Índice de calidad de agua (ICA).....	71
4.5.1	Parámetros a considerar en el cálculo del ICA NSF.....	71
4.5.2	Determinación del ICA NSF.....	84
4.6	Problemáticas en la calidad del suelo a partir de la calidad del agua....	94
4.6.1	Salinidad	95
4.6.2	Infiltración del Agua.	98
4.1.1	Criterios de tratamiento para aguas en canales de riego	99
CAPITULO 5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
BIBLIOGRAFIA	108
ANEXOS	113

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Escala de pH.	22
Figura 2. Mapeo del canal de riego San Joaquín.	32
Figura 3. Mapeo del canal de riego Checa – Sidcay – Ricaurte.	34
Figura 4. Mapeo del canal de riego Chicticay – Paute.	35
Figura 5. Puntos de muestreo del canal de San Joaquín.	36
Figura 6. Puntos de muestreo del canal de Checa – Sidcay – Ricaurte.	37
Figura 7. Puntos de muestreo del canal de Chicticay – Paute.	38
Figura 8. Multiparamétrico usado para la obtención de datos in situ.	40
Figura 9. Evaluación de la calidad del agua basada en la presencia de Coliformes Fecales.	45
Figura 10. Evaluación de la calidad del agua basada en la presencia de pH.	46
Figura 11. Evaluación de la calidad del agua basada en la presencia de DBO5.....	46
Figura 12. Evaluación de la calidad del agua basada en la presencia de Nitratos.	47
Figura 13. Evaluación de la calidad del agua basada en la presencia de Fosfatos.	48
Figura 14. Evaluación de la calidad del agua basada en la variación de temperatura.	48
Figura 15. Evaluación de la calidad del agua basada en la turbidez.	49
Figura 16. Evaluación de la calidad del agua basada en el residuo total.	49
Figura 17. Evaluación de la calidad del agua basada en la presencia de oxígeno disuelto.	50
Figura 18. Comportamiento de los parámetros químicos en el canal de San Joaquín.	53
Figura 19. Comportamiento de los parámetros físicos en el canal de San Joaquín.	54
Figura 20. Comportamiento de los parámetros microbiológicos en el canal de San Joaquín.	54
Figura 21. Comportamiento de los parámetros químicos en el canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.	55
Figura 22. Comportamiento de los parámetros físicos en el canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.	56
Figura 23. Comportamiento de los parámetros microbiológicos en el canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.	57
Figura 24. Comportamiento de los parámetros químicos en el canal de Chicticay - Paute.....	58
Figura 25. Comportamiento de los parámetros físicos en el canal de Chicticay - Paute.....	59
Figura 26. Comportamiento de los parámetros microbiológicos del canal de Chicticay - Paute.	59
Figura 27. Variación de la conductividad del agua en los canales de riego.	61
Figura 28. Presencia de sólidos disueltos totales en el agua de los canales de riego.....	62
Figura 29. Variación del pH del agua en los canales de riego.....	72
Figura 30. Variación del oxígeno disuelto presente en el agua de los canales de riego.	74
Figura 31. Variación de los valores de nitratos presentes en el agua de los canales de riego.	75
Figura 32. Variación de los valores de fosfatos presentes en el agua de los canales de riego.....	76
Figura 33. Comportamiento del DBO5 y DQO en el canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.	77
Figura 34. Comportamiento del DBO5 y DQO en el canal de San Joaquín.....	78
Figura 35. Comportamiento del DBO5 y DQO en el canal de Chicticay-Paute.....	79
Figura 36. Comportamiento de los coliformes fecales en los canales en estudio.....	81
Figura 37. Comportamiento de la turbiedad en los canales en estudio.....	83
Figura 38. Zona radicular de una planta.	96
Figura 39. Tolerancia a la salinidad de algunos ejemplos de cultivos.....	98
Figura 40. Activación del fotocatalizador mediante radiación.	101

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Parámetros a evaluar de las muestras recolectadas.....	17
Tabla 2. Muestras definidas para los sistemas de riego.....	18
Tabla 3. Tabla resumen del estado actual de la investigación, destacando títulos, autores, metodologías y hallazgos clave.	19
Tabla 4. Descripción de puntos de muestreo definidos del canal de San Joaquín.....	36
Tabla 5. Descripción de puntos de muestreo del canal de Checa - Sidcay - Ricaurte.....	37
Tabla 6. Descripción de puntos de muestreo del canal de Chicticay – Paute.....	38
Tabla 7. Tipos de sondas utilizadas en el análisis in situ.....	40
Tabla 8. Métodos utilizados en el análisis de parámetros físicos.	41
Tabla 9. Métodos utilizados en el análisis de parámetros químicos.	41
Tabla 10. Métodos utilizados en el análisis de parámetros microbiológicos.....	41
Tabla 11. Criterios generales según el índice ICA del agua.	44
Tabla 12. Valores de Wi de los parámetros.....	44
Tabla 13. Capacidad de oxígeno disuelto al 100% (mg/L).....	51
Tabla 14. Resultados de los parámetros químicos del canal de San Joaquín.	52
Tabla 15. Resultados de los parámetros físicos del canal de San Joaquín.....	53
Tabla 16. Resultados de los parámetros microbiológicos del canal de San Joaquín.	54
Tabla 17. Resultados de los parámetros químicos del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.....	55
Tabla 18. Resultados de los parámetros físicos del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.	56
Tabla 19. Resultados de parámetros microbiológicos del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.	56
Tabla 20. Resultados de los parámetros químicos del canal de Chicticay-Paute.	57
Tabla 21. Resultados de los parámetros físicos del canal de Chicticay-Paute.....	58
Tabla 22. Resultados de los parámetros microbiológicos del canal de Chicticay-Paute.	59
Tabla 23. Grado de restricción del canal de San Joaquín con respecto a la salinidad del agua considerando la conductividad de la misma.	63
Tabla 24. Grado de restricción del canal de San Joaquín con respecto a la salinidad el agua considerando la presencia de solidos disueltos totales en la misma.	64
Tabla 25. Grado de restricción del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte con respecto a la salinidad del agua considerando la conductividad del agua.....	64
Tabla 26. Grado de restricción del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte con respecto a la salinidad del agua considerando la presencia de solidos disueltos totales en la misma.....	65
Tabla 27. Grado de restricción del canal de Chicticay-Paute con respecto a la salinidad del agua considerando la conductividad de la misma.	66
Tabla 28. Grado de restricción del canal de Chicticay-Paute con respecto a la salinidad del agua considerando la presencia de solidos disueltos totales en la misma.	66
Tabla 29. Grado de restricción con respecto a la infiltración en el canal de San Joaquín.....	68
Tabla 30. Grado de restricción con respecto a la infiltración en el canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.....	69
Tabla 31. Grado de restricción con respecto a la infiltración en el canal de Chicticay-Paute.....	70

Tabla 32. Relación DBO5/DQO	80
Tabla 33. Resultado del ICA de la muestra 1 (Canal San Joaquín).....	84
Tabla 34. Resultado del ICA de la muestra 2 (Canal San Joaquín).....	84
Tabla 35. Resultado del ICA de la muestra 3 (Canal San Joaquín).....	85
Tabla 36. Resultado del ICA de la muestra 4 (Canal San Joaquín).....	85
Tabla 37. ICA Sistema de riego San Joaquín.	86
Tabla 38. Resultado del ICA de la muestra 1 (Canal Checa-Sidcay-Ricaurte).	87
Tabla 39. Resultado del ICA de la muestra 2 (Canal Checa-Sidcay-Ricaurte).	87
Tabla 40. Resultado del ICA de la muestra 3 (Canal Checa-Sidcay-Ricaurte).	88
Tabla 41. Resultado del ICA de la muestra 4 (Canal Checa-Sidcay-Ricaurte).	88
Tabla 42. ICA Sistema de riego Checa-Sidcay-Ricaurte.....	89
Tabla 43. Resultado del ICA de la muestra 1 (Canal Chicticay-Paute).....	90
Tabla 44. Resultado del ICA de la muestra 2 (Canal Chicticay-Paute).....	90
Tabla 45. Resultado del ICA de la muestra 3 (Canal Chicticay-Paute).....	91
Tabla 46. Resultado del ICA de la muestra 4 (Canal Chicticay-Paute).....	91
Tabla 47. Resultado del ICA de la muestra 5 (Canal Chicticay-Paute).....	91
Tabla 48. Resultado del ICA de la muestra 6 (Canal Chicticay-Paute).....	92
Tabla 49. ICA Sistema de riego Chicticay-Paute.	93
Tabla 50. Influencia de la salinidad en las cosechas.....	97

CAPITULO 1. INTRODUCCION.

El agua, recurso esencial para la vida, desempeña un papel de inmenso valor en la agricultura de América Latina. Esta región, rica en diversidad climática y agrícola, se apoya en sistemas de riego para impulsar su producción agrícola y garantizar la seguridad alimentaria de sus habitantes. La importancia del agua en estos sistemas no puede subestimarse, ya que abarca el fomento del desarrollo económico y la conservación de recursos naturales (Villalobos Arambula et al., 2017).

La obtención del agua para sistemas de riego se logra a partir de fuentes como ríos, arroyos y acuíferos subterráneos. Además, aproximadamente el 70% del agua captada durante las lluvias se pierde por evaporación (Avilés L, 2006), por lo que, la evaluación de la calidad del agua representa un desafío complejo debido a la multitud de factores y parámetros que inciden en su estado. La variabilidad natural y las influencias humanas requieren un enfoque integral y continuo para garantizar la gestión sostenible de este recurso vital (Sutadian et al., 2016).

1.1. Contexto y relevancia de la investigación

La calidad del agua utilizada en los sistemas de riego resulta determinante en la calidad del suelo utilizado en plantaciones agrícolas, por lo que se justifica la necesidad de investigar cómo los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua afectan tanto su calidad, así también como cuales podrían ser los impactos en la calidad del suelo (Medina Valdovinos et al., 2016).

La importancia de este tema radica en varios factores clave. En primer lugar, el agua al ser un recurso limitado según el Plan Nacional de Riego y Drenaje (2021-2026), es vital para mantener una producción sostenible y diversa. Su contaminación podría afectar su uso óptimo y comprometer el suministro de alimentos y materias primas a la ciudad, impactando las cadenas agroalimentarias y las interacciones socioeconómicas y ambientales entre lo urbano y rural.

Considerando la importancia de la calidad del agua en sistemas de riego, resulta evidente enfocar la atención en la interacción entre la calidad del agua y la calidad del suelo en la provincia del Azuay. Esta relevancia surge debido a que la calidad del agua desempeña un papel vital en la sostenibilidad de la producción de alimentos y, por ende, en la seguridad alimentaria de la población local (“El agua para la agricultura de las Américas (Libro) - IICA”, s. f.).

De modo que, los resultados de este tema de investigación benefician a agricultores locales y a entidades encargadas de su gestión, como juntas de agua o proyectos comunitarios. Estos resultados son fundamentales para tomar decisiones informadas sobre el uso y manejo del agua en la agricultura, fortaleciendo así la gestión integral de los recursos hídricos y del suelo. Esto contribuye a mejorar la productividad agrícola y garantizar un acceso óptimo al agua en la región.

1.2. Formulación y delimitación del problema

La provincia del Azuay, cuenta una producción agrícola que representa el 4.92% a nivel nacional en una extensión de 359,684 hectáreas, siendo los cultivos principales que se desarrollan en esta zona del país tales como; maíz, papa, tomate de árbol, banano, café y cacao. Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) 2019-2030 del Gobierno Provincial del Azuay, de las 573,592.81 hectáreas destinadas a actividades agropecuarias, solo el 1% se destina a cultivos permanentes como cacao, banano, café y naranja, mientras que el 4% se utiliza para cultivos transitorios tales como maíz, frejol, arveja, papa, tomate riñón o trigo, mientras que el 47% del área agrícola se encuentra ocupada por un 16% de pastos cultivados (principalmente raigrás, trébol y alfalfa) y 31% de pastos naturales (Mogrovejo-Lazo & Carabajo-Alvear, 2022). Por ende, esta provincia se destaca como una región con proyecciones agrícolas significativas, por lo que el riego desempeña un papel importante en el crecimiento de los cultivos.

Al analizar esta problemática nos encontramos con un gran vacío de información sobre cómo estos aspectos particulares inciden en la relación de la calidad de agua de riego y la calidad del suelo en la provincia del Azuay. La falta de investigación en la provincia, junto con la importancia fundamental de la agricultura para la seguridad alimentaria y el desarrollo local, demuestra la relevancia de abordar este tema a fondo.

Esta investigación se centrará en los parámetros expuestos en la tabla 1, los cuales son se encuentran presentes en los sistemas de riego: San Joaquín, Checa-Sidcay-Ricaurte y Chiticay-Paute, pertenecientes a la provincia del Azuay. Estos parámetros nos permitirán identificar los niveles de contaminantes presentes en el agua y comprender cómo estas cantidades pueden afectar la calidad del suelo.

Tabla 1. Parámetros a evaluar de las muestras recolectadas.

Parámetros Químicos	Parámetros Físicos	Microbiológicos
DBO5 y DQO	Sólidos totales	Coliformes totales
Dureza total	Sólidos suspendidos	Coliformes fecales
Oxígeno disuelto	Color real	
Nitratos y Nitritos	Color aparente	
Fosfatos y pH	Turbiedad	
Conductividad		

Al analizar esta problemática, se ha identificado una falta de investigación en este ámbito. Considerando la vital relevancia de la agricultura para garantizar la seguridad alimentaria y fomentar el desarrollo local (*Plan Nacional de Riego y Drenaje – Ministerio de Agricultura y Ganadería*, s. f.). Por lo que se destaca la importancia de profundizar en este tema, con el objetivo de establecer cuál es la relación entre la calidad del agua y su influencia en la calidad del suelo. En este sentido, se realizaron ensayos de laboratorio utilizando muestras obtenidas de los sistemas de riego especificados en la tabla 2.

Tabla 2. Muestras definidas para los sistemas de riego.

Sistema de Riego	Muestras	Zona de muestreo
Chiticay - Paute	6	Captación. División Paute - Gualaceo Sector el Cabo Sector la Higuera Sector Zhumir Sector Pirincay
San Joaquín	4	Captación Entrada a la zona de riego Zona de riego Luego de zona de riego
Checa - Sidcay - Ricaurte	4	Captación Sector Sidcay CITT (Ucacue) Distribución

1.3. Objetivos.

1.3.1 Objetivo General.

- Determinar la posible relación entre los niveles de contaminación en el agua en canales de riego de la provincia del Azuay, caracterizados conforme a la normativa ecuatoriana, para relacionar la calidad del suelo de cultivo de los sectores servidos.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Categorizar el agua en los sistemas de riego de San Joaquín, Checa-Sidcay-Ricaurte y Chiticay-Paute, mediante los parámetros físicos, químicos y microbiológicos según los niveles de restricción establecidos en el acuerdo ministerial 097-A.
- Calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA) de los canales de riego con el fin de identificar la calidad del agua destinada al riego en los puntos de muestreo.
- Evaluar los impactos de la calidad del agua en la calidad del suelo, relacionando las características obtenidas del agua.

CAPITULO 2. REVISION DE LA LITERATURA

2.1. Estado del arte.

Tabla 3. Tabla resumen del estado actual de la investigación, destacando títulos, autores, metodologías y hallazgos clave.

Tema	Resultados obtenidos
<p>“Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar del Plata” publicado por (Baccaro et al., 2006)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El agua con una conductividad mayor a 3 ds/m puede afectar el crecimiento de cultivos. • La elevada concentración de sales solubles tiene un impacto negativo en la calidad del suelo al restringir la capacidad de las plantas para absorber agua, mediante un efecto osmótico. • El pH del agua de riego no se considera como un criterio para evaluar su calidad. • La composición iónica del agua de riego impacta el crecimiento de los cultivos tanto directa, a través del efecto del ion en sí mismo, como indirectamente, al modificar ciertas propiedades físico-químicas.
<p>“Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México” publicado por (Sarabia Meléndez et al., 2011)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivos sensibles a las sales podrían ver afectado su rendimiento. • Aguas con coliformes fecales solo se deberían usar en cultivos forrajeros cumpliendo normativas sanitarias. • Concentraciones altas de nitrógeno en agua para riego no presentan inconvenientes, ya que los cultivos lo aprovechan en su desarrollo.
<p>“Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala” publicado por (Gómez & Muñoz, 2015)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • A mayor contenido de sales en el agua de riego, mayor será el esfuerzo que realizan las plantas para obtener el agua ya que se incrementa el potencial osmótico del suelo. • Los valores de CE como medida de la presencia de sólidos disueltos totales, no son una restricción para el uso del agua en la agricultura, ya que no representa un riesgo de salinidad al suelo.
<p>“La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan” publicado por (Betancourt Aguilar, 2016)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La dureza del agua impacta en la formación de costra en sistemas de riego, causando obstrucciones y reduciendo la vida útil, especialmente en el riego por goteo. • La eutrofización, resultado de contaminantes como fósforo y nitrógeno, provoca la proliferación de microorganismos que obstruyen bombas y sistemas.

<p>“Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco” publicado por Medina Valdovinos et al., 2016.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los valores de pH que están por encima del rango óptimo para cultivos agrícolas no representan un riesgo significativo de alcalinidad. • La concentración de Boro este elemento en el agua y suelos agrícolas es un aporte como micronutriente para los cultivos.
<p>“Concentración iónica y metales pesados en el agua de riego de la cuenca del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armería” publicado por (Mancilla Villa et al., 2017)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El pH y la conductividad eléctrica del agua, no limita el uso urbano o para riego agrícola especialmente para cultivos tolerantes y semitolerantes, no así para los sensibles, por lo que es recomendable para las actividades mencionadas.
<p>“Evaluación de la calidad del agua de riego en tres agrosistemas: tradicional, orgánico y convencional” publicado por Guilcamaigua & Chancusig, 2019.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gran porcentaje de presencia de Coliformes y Nitratos en el agua podría indicar un excesivo uso de insumos químicos, la adopción de monocultivo y un manejo inadecuado del canal de riego.
<p>“Evaluación preliminar de la calidad de las aguas del río Yamanigüey para el riego agrícola” publicado por Dunán-Avila et al., 2022.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si el agua presenta valores de salinidad inferiores a 3 según la normativa de Riverside, se la puede catalogar como de buena calidad. • Un aumento en la salinidad potencial puede indicar un mayor riesgo de salinización del suelo, lo que podría afectar negativamente el rendimiento de los cultivos.
<p>“Evaluación de la Calidad del Agua de Riego Proveniente de la Acequia Tilipulo Enríquez-Cotopaxi Mediante la Relación de Absorción de Sodio (RAS)” publicado por Rodríguez et al., 2022.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Una baja concentración de sales categoriza la calidad del agua para riego como excelente. • A medida que los caudales aumentan, se observa una reducción en la conductividad eléctrica, indicando así una mejora en la calidad del agua. • El elevado índice de RAS aumenta la probabilidad de sodificación en el agua.

Nota: La Tabla 3 resume investigaciones clave sobre la calidad del agua y su relación con la calidad del suelo, destacando variables como nutrientes, metales pesados y contaminantes orgánicos. Ofrece una visión general de los métodos y resultados destacados, respaldando el enfoque de este trabajo de titulación.

2.2. Marco Teórico.

2.2.1 Calidad del agua.

Los cuerpos de agua pueden ser caracterizados al examinar principalmente tres aspectos: su hidrología, sus propiedades fisicoquímicas y su componente biológico, por lo que para realizar una evaluación de la calidad del agua, se requiere llevar a cabo un seguimiento y análisis de estos tres componentes (Sierra Ramírez, 2011).

2.2.2 Contaminación del agua.

La contaminación del agua, comúnmente inducida por la actividad humana debido a la introducción de sustancias nocivas, como productos químicos, desechos industriales y residuos plásticos, que alteran su calidad y la hacen inadecuada o peligrosa, este fenómeno, que resulta de diversas fuentes de contaminantes, representa una amenaza significativa para la salud de los ecosistemas acuáticos y la sostenibilidad de las comunidades (Barrenetxea et al., 2003).

2.2.3 Parámetros del agua.

Los diferentes parámetros indicadores de contaminación o calidad del agua pueden estudiarse clasificándolos según la naturaleza de la propiedad. Así, podemos dividirlos en:

- Parámetros de carácter físico: turbidez, materias en suspensión, temperatura y conductividad.
- Parámetros de carácter químico: salinidad y dureza, pH, oxígeno disuelto, DBO, DQO.
- Parámetros de carácter microbiológico: bacterias, virus, hongos o algas.

Algunos parámetros se miden in situ y se comparan con rangos de referencia establecidos, siguiendo la metodología aplicada. Esto permite evaluar la calidad del agua, esencial para la gestión y conservación de los recursos hídricos (Barrenetxea et al., 2003).

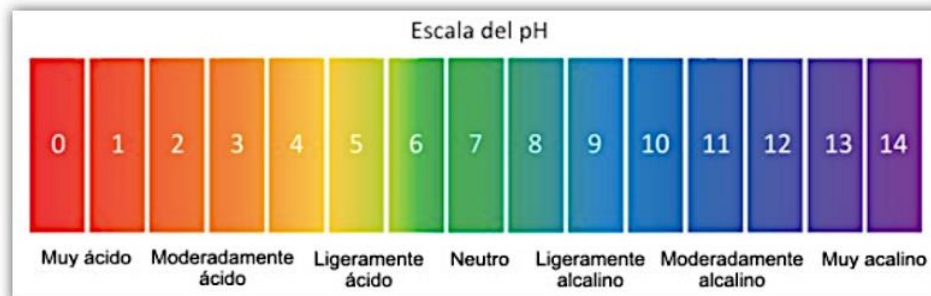
2.2.3.1 Parámetros químicos.

- pH.

El pH, indica la acidez o alcalinidad del agua, este valor impacta en el entorno de las especies iónicas en el agua, el potencial de reducción-oxidación (redox) y la eficacia desinfectante del cloro, entre otros aspectos fundamentales, además este parámetro se revela como una referencia para evaluar la calidad del agua, ya que por lo general, las aguas naturales presentan un carácter ligeramente alcalino, con valores de pH que se encuentran dentro del rango de 6,5 a 8,5 (Barrenetxea et al., 2003).

Figura 1. Escala de pH.

Fuente: <https://shre.ink/UVIP>



- Dureza.

La dureza del agua, un parámetro importante en la calidad hídrica, se origina por la presencia de cationes bivalentes, especialmente calcio y magnesio. Estos elementos se incorporan al agua debido a la disolución natural de formaciones rocosas en el suelo, según lo fundamenta el marco teórico de la hidrología y la química del agua (Sierra Ramírez, 2011). A un elevado contenido de estos componentes, el agua es denominada como "agua dura". (Aznar Jiménez, 2000).

- Conductividad

La conductividad se define como la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica entre dos electrodos no polarizables sumergidos en ella. Sirve como una medida precisa de la concentración de iones en la solución y se expresa en Siemens (S), la unidad inversa del ohmio. Las aguas altamente mineralizadas se indican en milisiemens (mS), mientras que las menos mineralizadas se muestran en microsiemens (μS).

Esta medición se realiza en celdas de un centímetro de espesor y se informa como mS/cm o $\mu\text{S/cm}$, permitiendo una evaluación detallada de la calidad del agua (Barrenetxea et al., 2003).

- Salinidad.

La salinidad se caracteriza como un problema externo con respecto al desarrollo de una planta, ya que dificulta la absorción de agua; cuando esta es alta aumenta la velocidad de infiltración, porque contrarresta el efecto dispersivo del sodio, mientras que cuando es baja disminuye, como resultado de su naturaleza corrosiva. Los principales indicadores a tener en cuenta son la concentración total de sales solubles, los iones calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+), potasio (K^+), sulfatos (SO_4^{2-}), cloruros (Cl^-), carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), la conductividad eléctrica (CE) y el pH (Betancourt Aguilar, 2016).

Según Ayers & I. Westcot, s. f. , se estima que más del 10% de la superficie agrícola irrigada se veía severamente afectada por la salinidad, esta problemática afecta principalmente a regiones como Asia central, Oriente Medio, América del Sur, África del Norte y el Pacífico. Se calculaba que el porcentaje de salinidad que impactaba las tierras agrícolas de riego era del 10% en México, 11% en India, 21% en Pakistán, 23% en China y 28% en los Estados Unidos (“El agua para la agricultura de las Américas (Libro) - IICA”, s. f.).

- Demanda biológica de oxígeno.

DBO5 se define como la cantidad de oxígeno requerida para descomponer la materia orgánica biodegradable presente en el agua en 5 días a 20°C. La DBO5 surge como consecuencia de la actividad metabólica de microorganismos aeróbicos (*Pseudomonas*) y facultativos (*Escherichia coli*), así como de otros microorganismos acuáticos, que descomponen la materia orgánica que se encuentra disuelta en el agua por lo que la DBO5 disminuye gradualmente y eventualmente se detiene cuando se ha agotado por completo la cantidad de materia orgánica disponible en el agua (Carrera González, 2011).

- Demanda química de oxígeno.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se refiere a la cantidad total de materia orgánica e inorgánica en el agua que puede ser oxidada químicamente. Esto se logra mediante la adición de un agente oxidante, como el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), a la muestra de agua. Este agente, al reaccionar con la materia presente, provoca la oxidación tanto de la materia orgánica como de la inorgánica. Así, la DQO se utiliza como una medida para cuantificar el contenido oxidable en aguas naturales y residuales (Montilla Cabudiva & Frías Quiñones, 2016).

- Nitritos y Nitratos.

El nitrato es la forma estable del nitrógeno en ambientes con oxígeno, aunque no es muy reactivo químicamente y puede reducirse mediante procesos microbianos. El nitrito es una forma de nitrógeno más inestable que puede ser transformada a través de procesos químicos y biológicos en otros compuestos o en nitrato. Los nitratos se utilizan en la fabricación de fertilizantes, compuestos oxidantes y explosivos. Se encuentran de manera natural en las plantas y son esenciales como nutrientes para su crecimiento (World Health Organization, 2016).

En el suelo, los fertilizantes que contienen nitrógeno inorgánico y los residuos orgánicos pasan por un proceso de descomposición. El nitrógeno se convierte en amoníaco, el cual posteriormente se oxida para formar nitrito y nitrato, siendo este último la forma más estable del nitrógeno, esencial para el crecimiento de las plantas. El exceso de nitrato puede desplazarse fácilmente a través de las aguas subterráneas y superficiales, donde pueden ocurrir procesos de nitrificación y desnitrificación, influenciados por la temperatura y el pH (World Health Organization, 2016).

- Oxígeno Disuelto

La cantidad de oxígeno disuelto, medido en mg/L, es un indicador crucial de la calidad del agua. La ley de Henry establece que la solubilidad de un gas depende de la presión y varía con la temperatura. Para que el agua se considere poco contaminada, la concentración de oxígeno debe ser al menos el 50% del valor de saturación a esa presión y temperatura. Las fuentes de oxígeno en el agua incluyen la disolución del oxígeno atmosférico, la fotosíntesis y la reaireación debido a la agitación del agua (Montilla Cabudiva & Frías Quiñones, 2016).

2.2.3.2 Parámetros físicos.

- Turbidez y sólidos suspendidos.

La turbidez en el agua se origina debido a la presencia de materiales insolubles en forma de partículas suspendidas. Las partículas insolubles o sólidos suspendidos que causan esta turbidez pueden ser transportadas por procesos naturales como la erosión del suelo o también pueden ser el resultado de vertidos urbanos e industriales (Barrenetxea et al., 2003).

- Sólidos totales.

Los sólidos totales representan la cantidad de sólidos presentes en una muestra de agua que pasa a través de un filtro con un tamaño de poro nominal de 2 micrómetros (μm) o menos bajo condiciones específicas. Estos sólidos, que incluyen partículas como arena, limo o virus, los cuales son responsables de las partículas visibles de impurezas y pueden manifestarse a través de características como turbidez y color en el agua (Montilla Cabudiva & Frías Quiñones, 2016).

- Color.

Es importante diferenciar entre "color aparente", el cual hace referencia a la coloración que se visibiliza en el agua en su estado natural, y el "color verdadero", que es la tonalidad que se aprecia después de haber suprimido la materia en suspensión. El parámetro del color del agua puede ser influenciado por una variedad de factores, tanto internos como externos. La fuente del color puede estar relacionada con la presencia de materiales disueltos, dispersos o en suspensión en el agua, así como por factores externos (Barrenetxea et al., 2003).

2.2.3.3 Parámetros microbiológicos.

- Coliformes fecales.

Las bacterias *E. coli* presuntivas son consideradas como posibles causantes de infecciones intestinales. Pertenecen a un subgrupo de las coliformes totales y tienen la capacidad de fermentar lactosa en un rango de temperatura que va de 44 a 45 grados Celsius. Estos microorganismos se encuentran comúnmente en el agua contaminada, principalmente debido a la presencia de desechos humanos, como ciertos excrementos. Esto representa un alto riesgo en el caso de utilizar agua de riego que contiene coliformes fecales, ya que existe la posibilidad de enfermedades al consumir alimentos contaminados por estos microorganismos (Gómez López, 1996).

- Coliformes totales.

Las bacterias coliformes son una especie de bacilos que tienen la capacidad de fermentar lactosa y producir gas (o formar colonias) a una temperatura de $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Estas bacterias se encuentran comúnmente en el suelo, la vegetación, así como en los intestinos y heces de seres humanos y animales de sangre caliente. Por lo general, las bacterias coliformes no son patógenas y no causan daño. Sin embargo, su presencia en el agua sugiere la posibilidad de la existencia de patógenos causantes de enfermedades (Tchobanoglous et al., 2013).

2.2.4 Relación de Absorción de sodio (RAS).

Cuando el contenido de sodio en el agua supera las concentraciones de calcio y magnesio, se desencadena la dispersión de coloides, debilitando la estructura microscópica del suelo al descomponer las partículas arcillosas. Este fenómeno no solo obstruye el paso del agua y del aire, sino que también conduce a la pérdida de la capacidad del suelo para conducir adecuadamente estos elementos esenciales.

En presencia abundante de sodio, el suelo experimenta una disminución significativa en su capacidad para transportar agua y oxígeno, creando un entorno anaerobio. Este escenario favorece la acumulación de sales que carecen de valor nutritivo para las plantas, afectando negativamente su capacidad reproductiva (Rodríguez et al., 2022).

La relación de adsorción de sodio (RAS) es un índice que indica la calidad del agua para riego: a mayor valor, peor es la calidad del agua (Barrenetxea et al., 2003).

2.2.5 Eutrofización.

La eutrofización hace referencia al incremento excesivo de nutrientes en un cuerpo de agua, en su mayoría atribuible a actividades humanas y a la aportación de fósforo y nitrógeno. Este fenómeno desencadena un crecimiento incontrolado de plantas, algas y fitoplancton. Aunque es un proceso natural con múltiples causas, como la erosión del suelo y la producción biológica, en el caso de los lagos, se manifiesta debido a la acumulación gradual de sedimentos orgánicos e inorgánicos a lo largo de varios años (Schnoor, 1996).

2.2.6 Plaguicidas.

Los plaguicidas, compuestos químicos utilizados para gestionar y controlar parásitos y enfermedades en diversos cultivos, se dividen en categorías según su actividad biológica: insecticidas, herbicidas, fungicidas y rodenticidas, con respecto a su utilidad en la agricultura, March (2014) sostiene que el empleo de plaguicidas aporta beneficios notables.

Estos productos ofrecen rapidez, eficiencia, flexibilidad y facilidad de uso, con un amplio espectro de acción que permite abordar simultáneamente diversas plagas. Asimismo, contribuyen al control de patógenos y vectores que afectan los cultivos, reduciendo el gasto energético y el tiempo invertido por los agricultores (*Plan Nacional de Riego y Drenaje – Ministerio de Agricultura y Ganadería*, s. f.).

Es importante estudiar este factor debido a que la contaminación del agua con plaguicidas en áreas agrícolas tiene múltiples manifestaciones, como el vertido de residuos líquidos de envases químicos, aplicaciones de suelo para desinfección y el uso de insecticidas en semillas. Este fenómeno afecta principalmente a los canales de riego como la primera fuente receptora de estos químicos (Barrenetxea et al., 2003).

2.2.7 Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego

La normativa ecuatoriana, mediante el acuerdo ministerial 097-A, establece criterios de calidad para aguas destinadas al riego agrícola, considerando diferentes grados de restricción. Se autoriza o no el uso de agua con grado de restricción severo o moderado para riego, destacando la importancia de cumplir con los estándares establecidos para garantizar la adecuada calidad del agua utilizada en la agricultura. Los criterios de calidad del agua para riego se basan en parámetros como la conductividad eléctrica, el pH, los sólidos disueltos totales, sulfatos, cloruros y la presencia de coliformes totales y fecales, fundamentales para determinar su idoneidad en la irrigación de cultivos.

2.2.8 Índice de calidad del agua (ICA).

La Comisión Nacional del Agua (México) adopta el concepto de índice de calidad del agua (ICA) como un indicador para evaluar el grado de contaminación del agua. Este indicador se calcula mediante el análisis y medición de 9 parámetros físicos y químicos. A cada parámetro se le asigna un factor de ponderación en función de su importancia para la vida acuática y el medio ambiente. El oxígeno disuelto generalmente tiene el valor de peso más alto, lo que destaca su relevancia en el análisis de la calidad del agua. Aunque los valores ideales del ICA pueden diferir según la región y los estándares locales, típicamente se busca mantener un ICA dentro de rangos que indiquen una calidad aceptable o buena del agua para su uso en riego (López-Hernández et al., 2007).

2.3 Normativas empleadas

A continuación, se detallan las normativas aplicadas en los ensayos para la determinación de los parámetros definidos en la tabla 1. Además, se presenta la legislación actualizada que se utilizará para la comparación de los resultados obtenidos de las muestras recolectadas.

2.3.1 Parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

El análisis de los parámetros definidos se desarrolló en función a lo establecido por la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1108:2020.

Este reglamento establece que para el muestreo relacionado con los parámetros físicos y químicos se deben seguir los lineamientos definidos en NTE INEN-ISO 5667-1, NTE INEN-ISO 5667-3 e NTE INEN ISO 5667-5. Asimismo, en cuanto a los parámetros microbiológicos se deberá seguir lo establecido en la NTE INEN-ISO 19458 (*Normas Oficializadas – Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, s. f.*).

2.3.2 Legislación vigente para comparación de resultados.

El Acuerdo Ministerial 097-A expone lo siguiente:

“La presente norma técnica ambiental revisada y actualizada es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.”

Los criterios de calidad admisibles para las aguas destinadas a uso agrícola se presentan en las tablas 3 y 4 de dicha legislación (Anexo 4 y Anexo 5 de este documento) (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015).

CAPITULO 3. MATERIALES Y METODOS.

La metodología aplicada en este trabajo fue de categoría teórica - experimental, en concordancia con los objetivos generales y específicos establecidos. El proceso se desarrolló en distintas etapas, que incluyeron la recolección de muestras, la medición de parámetros in situ y en laboratorio.

3.1 Evaluación de la salinidad y excesos de nutrientes en el agua de riego.

Para llevar a cabo el análisis de calidad del agua en los sistemas de riego, resultó esencial conocer las problemáticas relacionadas con los canales de riego. En este sentido, se inició con un mapeo in situ del emplazamiento de los canales de riego, con el propósito de definir con precisión la longitud, características tanto de construcción y de mantenimiento, así como también las problemáticas existentes en cada uno de ellos.

Como se estableció previamente, se llevará a cabo la recolección de múltiples muestras a lo largo de las diversas abscisas de los sistemas de riego propuestos. Estas muestras serán sometidas a un análisis que abarcará aspectos físicos, químicos y microbiológicos. Una vez que se obtengan los resultados de estos análisis, se llevará a cabo un análisis de las posibles repercusiones que la calidad del agua pueda tener en el suelo y potencialmente en los cultivos.

3.1.1 Análisis y descripción de los canales

Se empleó la aplicación Geo Tracker para rastrear los canales de riego y obtener su ruta aproximada. Luego, se detalló las rutas mediante el uso de Google Earth. Este seguimiento fue crucial para evaluar el estado actual de los sistemas de riego, identificando tanto problemas directos como indirectos que afectan la calidad del agua en estos sistemas. Finalmente, para alcanzar una visualización precisa de los canales y los puntos de muestreo, se utilizó el software ArcGIS, ya que este proporciona una visión completa del entorno.

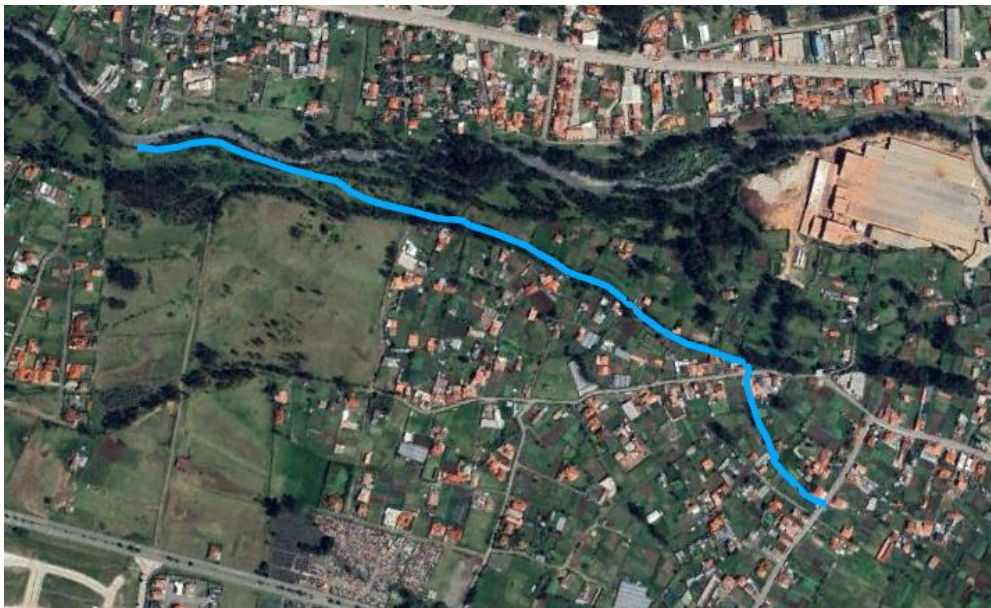
3.1.1.1 Sistema de riego San Joaquín.

Ubicado en la ciudad de Cuenca, el canal abarca alrededor de 35 hectáreas y beneficia aproximadamente a 100 familias que se dedican principalmente al cultivo de verduras y hortalizas destinadas al consumo en la misma ciudad. El Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) municipal de Cuenca ha implementado medidas para regular el espacio en esta zona, con el objetivo de preservar y mantener las áreas cultivables, sin embargo, se han identificado problemáticas específicas que se detallan en el Anexo 34.

El sistema de riego de San Joaquín inicia desde su captación ubicada en la zona Santa María de Sayausi, específicamente cerca de la fábrica Italpiso, su ruta es paralela al río Tomebamba hasta el sector “Camino a San Joaquín”, donde se encuentra el punto de distribución como se evidencia en la figura 2, dicho canal cuenta con una longitud aproximada de 1.3 kilómetros.

Figura 2. Mapeo del canal de riego San Joaquín.

Fuente: Google Earth.



3.1.1.2 Sistema de riego Checa – Sidcay – Ricaurte.

Este sistema de riego actualmente, el canal abarca alrededor de 800 hectáreas y beneficia aproximadamente a 800 usuarios, y su conducción se realiza principalmente a través de un canal abierto. Sin embargo, esta característica lo vuelve susceptible a la contaminación, ya que personas ajenas al sistema suelen arrojar diversos tipos de desechos al canal, generando contaminación aguas abajo.

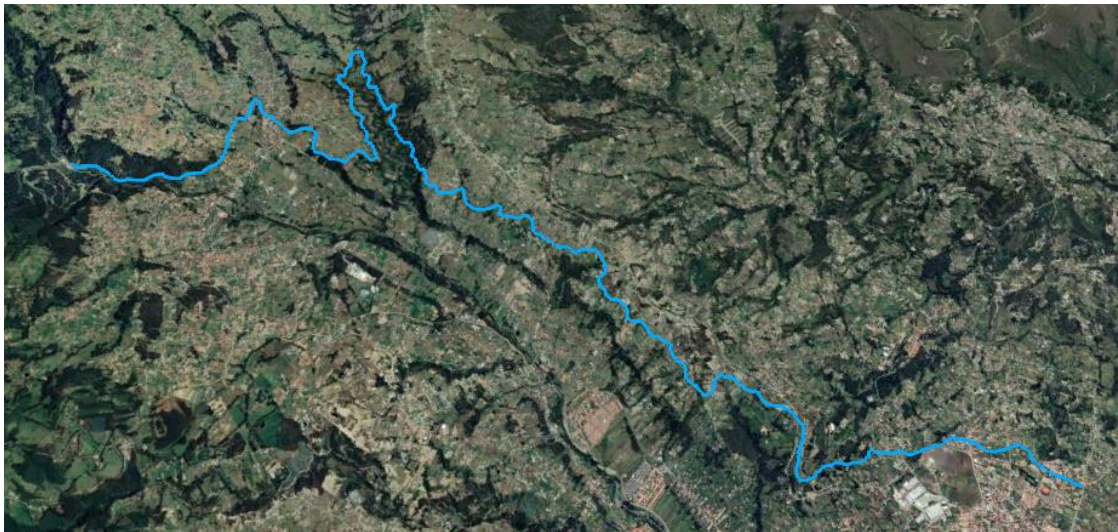
Este sistema de riego, inicia en su punto de captación, ubicado en la zona de la central hidroeléctrica Saymirin, siguiendo una trayectoria paralela al río Machángara, hasta el sector "Sendero de la Virgen Sagrado Corazón de Jesús". Posteriormente, se adentra en la parroquia de Checa, pasando por áreas como La Dolorosa, Piedra Grande y Bibin. Luego, atraviesa la parroquia de Sidcay, pasando por sectores como San Pedro y Loma Blanca. Finalmente, llega a la parroquia de Ricaurte, atravesando áreas como Santa María y el CITT perteneciente a la Universidad Católica de Cuenca, hasta llegar a su punto de distribución ubicado en el sector de El Cisne, como se evidencia en la figura 3, dicho canal cuenta con una longitud aproximada 14.9 kilómetros.

Resulta desafortunado resaltar que una parte significativa del área de riego ha sido sometida a procesos de urbanización, evidenciándose con la presencia de diversas construcciones y viviendas en la parroquia Ricaurte, la cual ostenta un carácter mayormente urbano, además durante la visita al lugar, se han detectado problemas particulares que se describen con detalle en el Anexo 35.

Este hecho introduce desafíos adicionales en la gestión del agua y la preservación de la calidad del entorno agrícola, especialmente al considerar la compleja interacción entre las actividades urbanas y agrícolas en esta región específica. La coexistencia de estos elementos requiere una planificación cuidadosa para salvaguardar tanto las necesidades urbanas como los recursos agrícolas.

Figura 3. Mapeo del canal de riego Checa – Sidcay – Ricaurte.

Fuente: Google Earth.



3.1.1.3 Sistema de riego Chicticay – Paute.

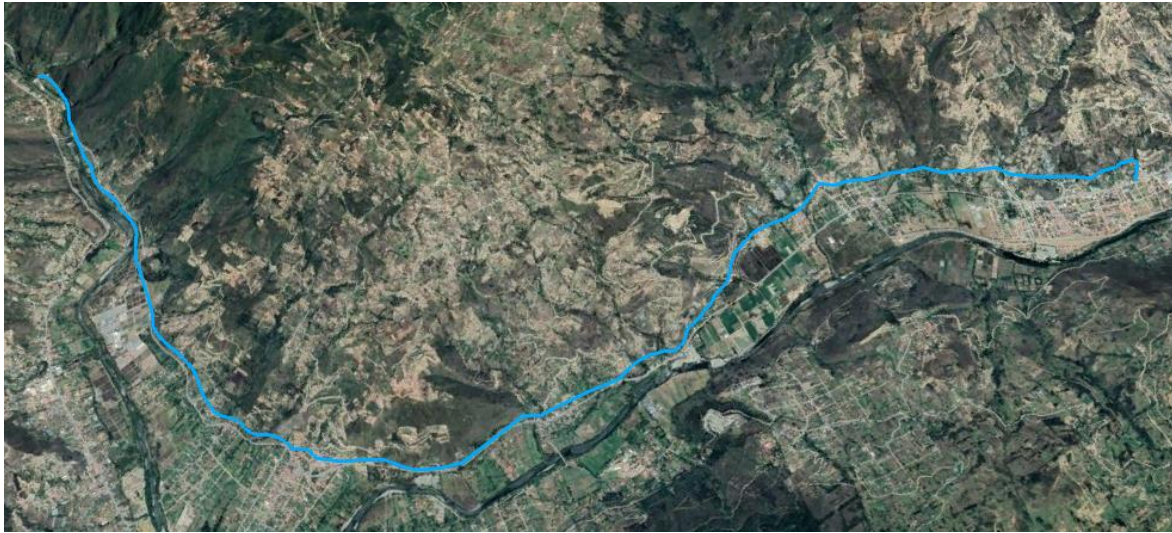
Este sistema de riego cubre diversas comunidades ubicadas en tres parroquias del cantón Paute: El Cabo, Chicán y Paute. Estas áreas se dedican principalmente a la agricultura, destacándose en la producción de alfalfa utilizada como alimento para cuyes y gallinas, beneficiando a aproximadamente 1600 usuarios. Además, se observa la presencia de floristerías que se dedican a la exportación. No obstante, la zona está experimentando un aumento de población debido a la afluencia de turistas en el cantón. Este fenómeno ha llevado a una utilización del agua para embellecer jardines y algunos espacios de hortalizas, lo que podría tener implicaciones en la disponibilidad y gestión del recurso hídrico en la zona, además durante el recorrido, se han observado problemáticas que afectan al canal, las cuales se encuentran detallados en el Anexo 36.

Su captación inicia en el río Cuenca, en la zona de Chicticay cerca del puente Europa, hasta el sector de Lugmapamba, en el cual se encuentra el punto de división hacia el Cantón Gualaceo, posteriormente se desplaza, pasando por sectores como el Guabo, la Higuera, Zhumir hasta su

punto de distribución ubicado en el sector de Pirincay ubicado en el cantón de Paute como se evidencia en la figura 4, dicho canal cuenta con una longitud aproximada 17.2 kilómetros.

Figura 4. Mapeo del canal de riego Chicticay – Paute.

Fuente: Google Earth.



3.1.2 Designación de los puntos de muestreo.

Para determinar los puntos de muestreo, se considerarán criterios fundamentales, como los puntos de captación, puntos intermedios y punto de distribución de los canales de riego. También se tendrán en cuenta zonas con condiciones particulares, como cambios topográficos o áreas de acumulación de sedimentos, además, se prestará especial atención para garantizar que las muestras sean transportadas de manera adecuada para preservar su integridad hasta el momento del análisis. Además, se presenta un intervalo de muestreo en kilómetros que abarca las áreas seleccionadas para la toma de muestras, dado que parte del objetivo de la investigación, también busca identificar las zonas con mayores niveles de contaminación. Es importante destacar que en ciertos canales se definió que ciertos tramos no fueran muestreados debido a la ausencia de áreas de riego o de incidencias contaminantes que afectarían a los canales en esas áreas particulares.

3.1.2.1 Puntos de muestreo del sistema de riego de San Joaquín

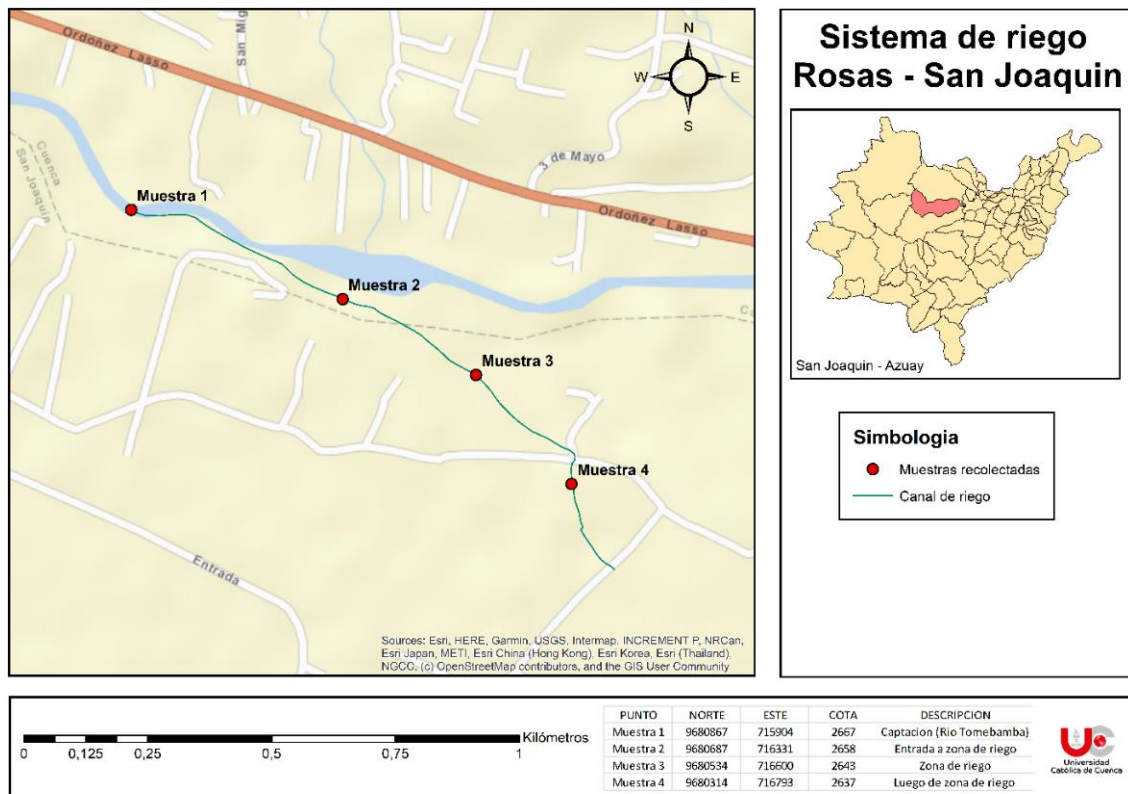
En este sistema de riego se establecieron 4 puntos de muestreo, estos puntos cubren áreas clave como su captación, áreas de cultivo y puntos de distribución, además, en base al recorrido in situ fue posible identificar áreas que pueden verse afectadas por la contaminación debido a la presencia de residuos plásticos o el posible vertido de aguas residuales domiciliarias a los canales.

Tabla 4. Descripción de puntos de muestreo definidos del canal de San Joaquín

	Zonas de muestreo	Intervalo de muestreo
Muestra 1	Captación	0 – 0.5 km
Muestra 2	Entrada a la zona de riego	0.5 – 0.8 km
Muestra 3	Zona de riego	0.8 – 1.1 km
Muestra 4	Luego de zona de riego	1.1 km – continua.

Figura 5. Puntos de muestreo del canal de San Joaquín.

Fuente: Elaboración propia (Ver Anexo 1).



3.1.2.2 Puntos de muestreo del sistema de riego Checa – Sidcay – Ricaurte

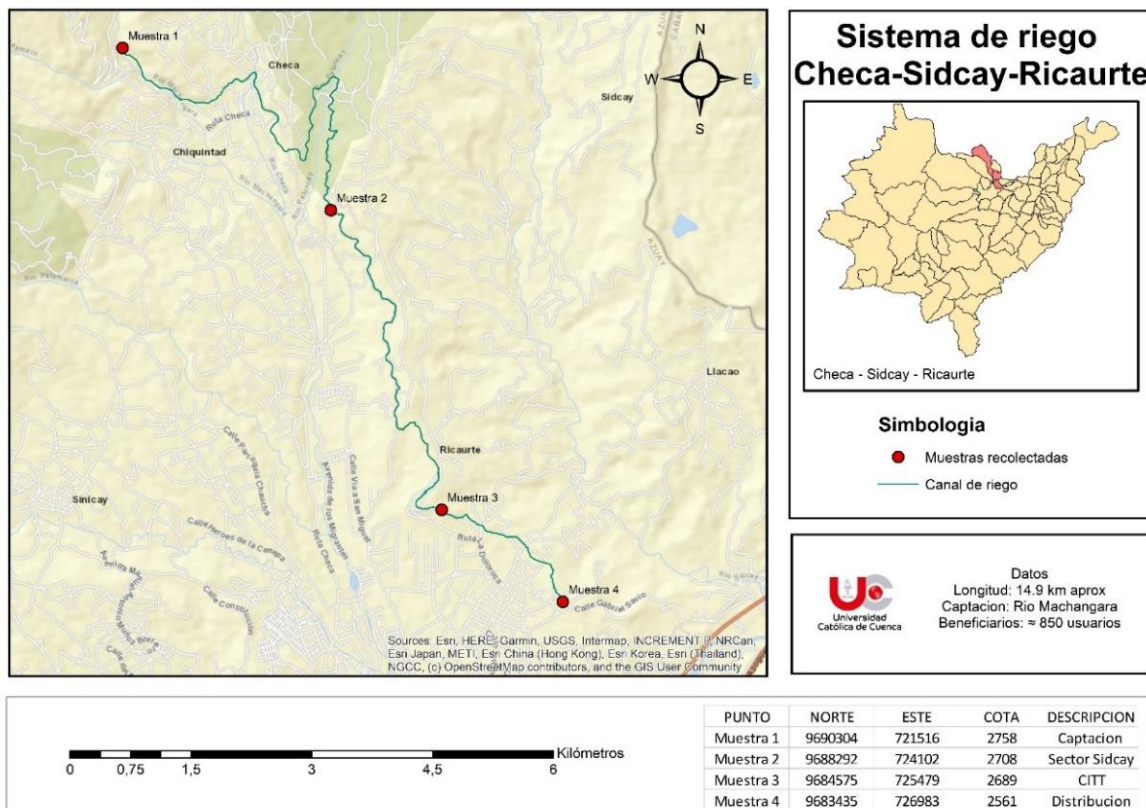
En el sistema de riego, se establecieron 4 puntos de muestreo, cubriendo su captación, puntos intermedios y distribución. Durante el recorrido in situ, se identificaron zonas de acceso restringido, secciones del canal abandonadas y áreas con evidencias de contaminación por residuos plásticos. Estas áreas podrían ser casos atípicos, requiriendo atención especial en el análisis.

Tabla 5. Descripción de puntos de muestreo del canal de Checa - Sidcay - Ricaurte

	Zonas de muestreo	Intervalo de muestreo
Muestra 1	Captación	0 – 7.15 km
Muestra 2	Sector Sidcay	7.15 – 12.6 km
Muestra 3	CITT	12.6 – 14.8 km
Muestra 4	Distribución	14.8 km – continua.

Figura 6. Puntos de muestreo del canal de Checa – Sidcay – Ricaurte.

Fuente: Elaboración propia (Ver Anexo 3).



3.1.2.3 Puntos del muestreo del sistema Chicticay - Paute

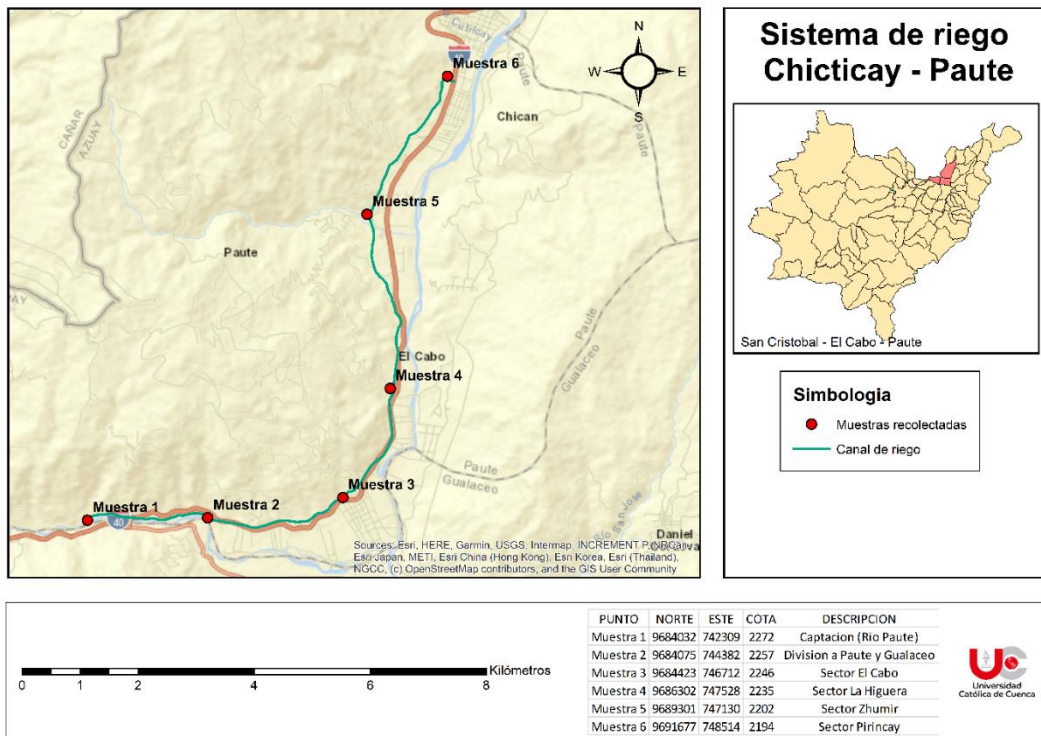
En este sistema de riego se establecieron 6 puntos de muestreo, estos puntos cubren áreas clave como su captación, puntos de división y zonas con una destacada presencia de áreas de alta demanda de riego, además, en base al recorrido in situ fue posible identificar áreas que presentan niveles mínimos de contaminación y también niveles críticos de abandono.

Tabla 6. Descripción de puntos de muestreo del canal de Chicticay – Paute.

Zonas de muestreo	Intervalo de muestreo
Muestra 1 Captación.	0 – 2.14 km
Muestra 2 División Paute - Gualaceo	2.14 – 4.7 km
Muestra 3 Sector el Cabo	4.7 – 6.9 km
Muestra 4 Sector la Higuera	6.9 – 10.2 km
Muestra 5 Sector Zhumir	10.2 – 13 km
Muestra 6 Sector Pirincay	13 km – continua.

Figura 7. Puntos de muestreo del canal de Chicticay – Paute.

Fuente: Elaboración propia (Ver Anexo 2).



3.1.3 Toma y manejo de muestras.

La toma de muestras se regirá en función de los lineamientos propuestos en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013.

Los envases utilizados para la toma de muestras se seleccionan según el tipo de análisis requerido. Se utilizaron envases ámbar de 1000 mL para los análisis físicos y químicos, y frascos de plástico de 125 mL, para análisis microbiológicos.

En los diferentes puntos de muestreo, se seguirán los siguientes pasos:

- a) Utilizar guantes de nitrilo para prevenir el contacto directo con el agua del canal de riego.
- b) Completar los datos de etiqueta del recipiente de muestra.
- c) Registrar las coordenadas del punto de muestreo, incluyendo información relevante de la zona.
- d) Desinfectar el recipiente con agua destilada antes de su uso.
- e) Sumergir el envase ámbar en el canal de riego hasta llenarlo por completo, tapándolo dentro del canal para evitar la entrada de aire.
- f) Almacenar la muestra de inmediato en la hielera para evitar cualquier tipo de contaminación.

3.2 Procedimientos y técnicas para el análisis de los parámetros.

3.2.1 Parámetros determinados in situ.

En los puntos de muestreo se determinó los siguientes parámetros: conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH. Esta evaluación se llevará a cabo utilizando el equipo multiparamétrico Flexi HQ30d, proporcionado por la Universidad Católica de Cuenca (Figura 8), este equipo cuenta con 3 tipos de sondas específicas destinadas para la determinación de estos parámetros, como se especifica en la tabla 7.

Tabla 7. Tipos de sondas utilizadas en el análisis in situ.

Parámetros	Tipos de sonda	Unidad de medida
Conductividad	Electrodo de conductividad	$\mu\text{s/cm}$ o mS/cm
Oxígeno Disuelto	Electrodo tipo LDO estándar	mg/L
pH	Electrodo de pH	Unidades de pH

Figura 8. Multiparamétrico usado para la obtención de datos in situ.



Al analizar los resultados de cada parámetro, se busca establecer una comparación con los lineamientos establecidos en la normativa ecuatoriana. Todas las unidades de medida de los parámetros cumplen con las establecidas, excepto la conductividad, que, según el acuerdo ministerial (Anexo 5), se expresa en milimhos/cm.

Por lo que, para una interpretación precisa, se requiere realizar las siguientes conversiones, ya que, en el canal de San Joaquín, la sonda de medición arrojó resultados en mS/cm (Anexo 8), mientras que, en los canales de Checa-Sidcay-Ricaurte y Chicticay-Paute, los resultados se expresaron en $\mu\text{S/cm}$ (Anexo 12 y 16).

- 1 microsiemens por centímetro ($\mu\text{S/cm}$) = 0.001 milimhos/cm
- 1 milisiemens por centímetro (mS/cm) = 1 milimhos/cm

3.2.2 Parámetros físicos y químicos determinados en laboratorio.

Los análisis de los parámetros a examinar se realizarán mediante ensayos estandarizados, como se definen a continuación: tabla 8 para los parámetros físicos, tabla 9 para los parámetros químicos y la tabla 10 para los parámetros microbiológicos.

Tabla 8. Métodos utilizados en el análisis de parámetros físicos.

Parámetros	Métodos	Técnica
Sólidos Totales y Suspendidos	Standard Methods 4500	Gravimetría
Color real y aparente	Standard Methods 2120	Espectrofotometría
Turbiedad	Standard Methods 2130	Espectrofotometría

Tabla 9. Métodos utilizados en el análisis de parámetros químicos.

Parámetros	Métodos	Técnica
DBO 5	NTE INEN 1202	Respirométrica
DQO	NTE INEN 1203	Espectrofotometría
Dureza total	NTE INEN 974	Titulación con EDTA
Nitratos	Standard Methods 4500 NO_3^-	Espectrofotometría
Nitritos	Standard Methods 4500 NO_2^-	Espectrofotometría
Fosfatos	Standard Methods 4500 P^-	Espectrofotometría
Cloro libre	Standard Methods 4500 Cl^-	Espectrofotometría

Tabla 10. Métodos utilizados en el análisis de parámetros microbiológicos.

Parámetros	Métodos	Técnica
Coliformes totales y fecales	Standard Methods 9222	NMP

3.3 Determinación del grado de restricción

El Acuerdo Ministerial 097-A establece criterios de calidad admisibles y proporciona una guía de interpretación para la calidad del agua destinada al riego, para esta investigación nos centraremos en los criterios admisibles expuestos en la tabla 11.

Tabla 11. Criterios admisibles

Criterios de calidad de aguas para riego agrícola			
Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Oxígeno disuelto	OD	mg/L	3
pH	pH		6 – 9

Además, en esta normativa, se define un grado de restricción que simboliza una limitación en el uso del agua en sistemas de riego, en esta investigación nos centraremos en analizar los problemas de salinidad e infiltración, como se presenta en la tabla 12.

Tabla 12. Problemas potenciales para el análisis.

Problema potencial	Unidades	Grado de restricción		
		Ninguno	Ligero - Moderado	Severo
Salinidad (1)				
CE	milimhos/cm	< 0.7	0.7 – 3	> 3
SDT	mg/L	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltración (2)				
RAS = 0 – 3 y CE =		> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
= 3 – 6 =		> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
= 6 – 12 =		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
= 12 – 20 =		> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
= 20 – 40 =		> 5	5.0 – 2.9	< 2.9

Nota: (1) Afecta en la disponibilidad de agua para los cultivos.

(2) Afecta a la tasa de infiltración del agua en el suelo.

(3) RAS = Relación de absorción de sodio ajustada.

(4) CE = Conductividad eléctrica del agua de regadío (milimhos/cm).

El grado de restricción expuesto en la tabla 12 se clasifica en tres categorías: "Ninguna", donde generalmente el agua no causa problemas significativos en los cultivos o en el suelo; en la categoría "Ligero a moderado", se requieren precauciones en la elección de cultivos y se deben definir

estrategias de manejo; y finalmente, en la categoría "Severa", se presentan problemas evidentes en el suelo y los cultivos, lo que resulta en una disminución directa en los rendimientos, requiriendo un manejo hábil y efectivo en el mejoramiento de la calidad del agua (Ayers & I. Westcot, s. f.).

3.4 Determinación del Índice de Calidad (ICA).

Para la evaluación de la calidad del agua, se optó por determinar el ICA-NSF propio de cada canal, ya que los parámetros recopilados en los puntos de muestreo a lo largo del sistema de riego se ajustan de manera óptima al algoritmo matemático propuesto por este índice de calidad.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua expone este índice como un sistema indicador de la calidad del agua que consolida los parámetros contaminantes más significativos en un marco unificado, sirviendo como una herramienta para detectar cambios en la calidad de un cuerpo de agua, ya sea deterioro o mejora (Vizcaíno, s. f.).

$$ICA = \sum_{i=1}^n (Sub_i * W_i)$$

Donde:

- Sub_i representa los subindicadores de cada parámetro, varían de 0 a 100.
- W_i representan los pesos específicos de cada parámetro, varían de 0 a 1.

Para el cálculo del valor del índice ICA, es fundamental contar con las mediciones de 9 parámetros involucrados en la determinación del Índice. Estos parámetros son: pH, nitratos, turbiedad, sólidos disueltos totales, DBO5, oxígeno disuelto, coliformes fecales, variación de temperatura y fosfatos.

Estos parámetros servirán para determinar los rangos de clasificación del agua de los canales en función de la tabla 13 definida por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Tabla 13. Criterios generales según el índice ICA del agua.

Código	Escala de calidad del agua	Uso: Riego Agrícola	Categoría	ICA
	Excelente	No requiere de tratamiento para riego	E	100 – 90
	Aceptable	Tratamiento menor para cultivos que requieren de alta calidad de agua para riego	A	70 – 90
	Levemente contaminada	Utilizable en la mayoría de los cultivos	LC	50 – 70
	Contaminada	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	C	30 – 50
	Fuertemente contaminada	Solo para cultivos muy resistentes	FC	20 – 30
	Excesiva contaminación	Inaceptable para riego	EC	0 – 20

3.4.1 Pesos específicos de cada parámetro (W_i).

A continuación, se detallan los valores de W_i , que son los factores asignados a cada parámetro en el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA), representando su ponderación respectiva. Estos factores reflejan la importancia relativa de cada parámetro en la evaluación global de la calidad del agua. Por lo tanto, los parámetros identificados en este estudio con un impacto más significativo en la calidad del agua se reflejan con un peso o ponderación más alto en el cálculo del ICA NSF.

Tabla 14. Valores de W_i de los parámetros.

No.	Parámetros	Valor	Referencia
1	Demanda bioquímica de oxígeno	0.096	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
2	Oxígeno disuelto	0.103	
3	Nitratos	0.053	
4	Fosfatos	0.073	
5	pH	0.063	
6	Sólidos disueltos totales	0.033	
7	Coliformes fecales	0.143	
8	Diferencia de temperatura	0.043	
9	Turbiedad	0.08	

Nota: Datos tomados de (Vizcaíno, s. f.).

3.4.2 Subindicadores de cada parámetro (Sub_i).

Para la determinación de los subindicadores de cada parámetro, se seguirá el procedimiento establecido por Corrales & Fung McLeod, (2017), en el cual define que la obtención de los Sub_i se define siguiendo los lineamientos específicos para cada parámetro, o mediante interpolación de datos utilizando gráficas definidas para cada uno de ellos.

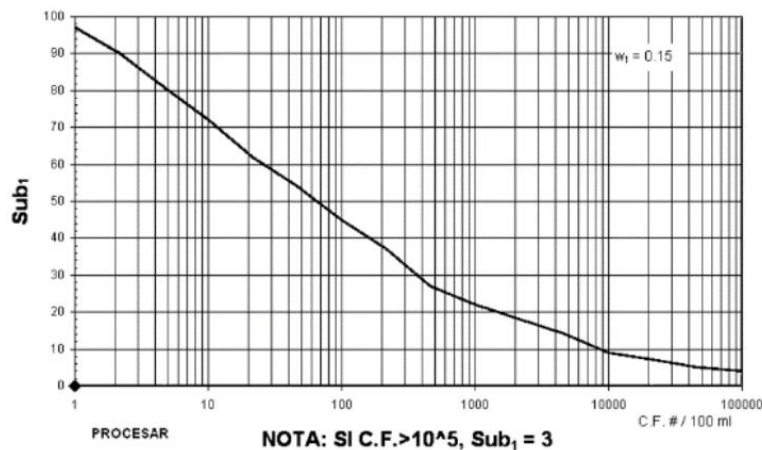
Posteriormente, este valor se multiplicará por los respectivos pesos W_i , los cuales están detallados en la tabla 14. La suma de estos productos para los nueve parámetros resulta en el valor final del Índice de Calidad del Agua (ICA).

3.4.2.1 Subindicador de Coliformes Fecales.

Cuando la presencia de coliformes fecales superan los 100,000 NMP/100 mL, el valor de Sub_i se establece en 3. En caso de que los Coliformes fecales sean inferiores a 100,000 NMP/100 mL, se realiza una interpolación para determinar el valor en el eje Y de la Figura 9.

Figura 9. Evaluación de la calidad del agua basada en la presencia de Coliformes Fecales.

Fuente: (Corrales & Fung McLeod, 2017).

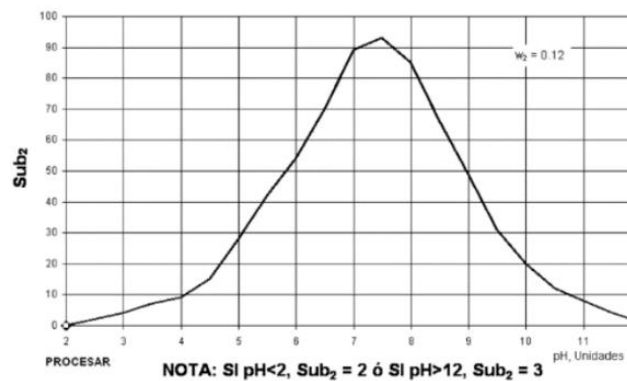


3.4.2.2 Subindicador de pH.

Cuando el pH es igual o inferior a 2 unidades, el Sub_i se establece en 2, en caso de que el valor de pH sea igual o superior a 10 unidades, el Sub_i es 3. Si el pH se encuentra entre 2 y 10 unidades, se realiza una interpolación para determinar el valor en el eje Y de la Figura 10.

Figura 10. Evaluación de la calidad del agua basada en la presencia de pH.

Fuente: (Corrales & Fung McLeod, 2017).

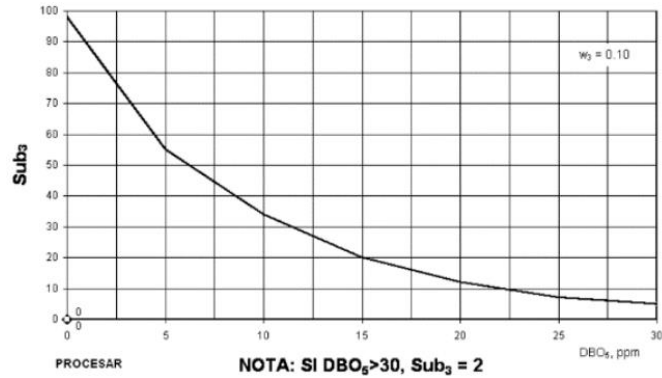


3.4.2.3 Subindicador de DBO5.

Cuando el valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5) es superior a 30 mg/L, el valor de Sub_i se fija en 2. Sin embargo, cuando este valor es inferior a 30 mg/L, se realiza una interpolación para determinar el valor en el eje Y de la Figura 11.

Figura 11. Evaluación de la calidad del agua basada en la presencia de DBO5.

Fuente: (Corrales & Fung McLeod, 2017).

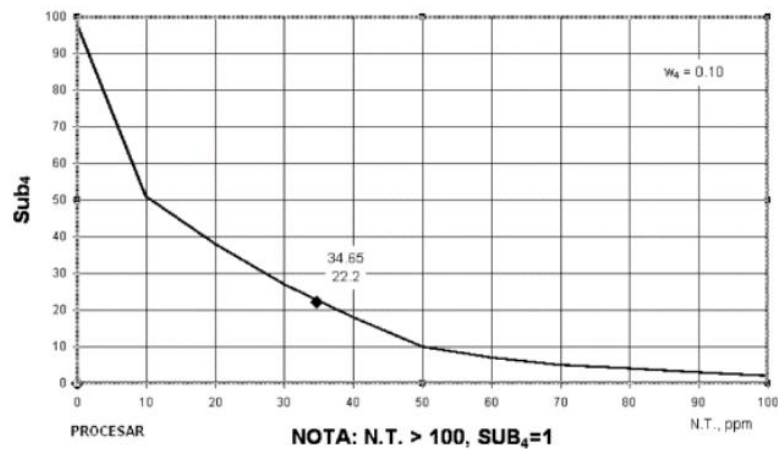


3.4.2.4 Subindicador de Nitratos.

Cuando la concentración de nitratos es superior a 100 mg/L, el valor de Sub_i se establece en 2. Si la concentración de nitratos es inferior a 100 mg/L, se realiza una interpolación para determinar el valor en el eje Y de la Figura 12.

Figura 12. Evaluación de la calidad del agua basada en la presencia de Nitratos.

Fuente: (Corrales & Fung McLeod, 2017).

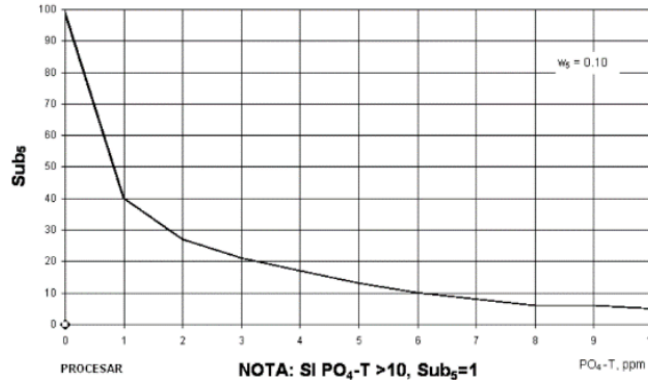


3.4.2.5 Subindicador de Fosfatos

Cuando la concentración de fosfatos supera los 10 mg/L, el valor de Sub_i se establece en 5. Sin embargo, cuando esta concentración de fosfatos es inferior a 10 mg/L, se realiza una interpolación para determinar el valor en el eje Y de la Figura 13.

Figura 13. Evaluación de la calidad del agua basada en la presencia de Fosfatos.

Fuente: (Corrales & Fung McLeod, 2017).



3.4.2.6 Subindicador de Temperatura

Para el parámetro de temperatura, se calcula la diferencia entre dos puntos de monitoreo continuos.

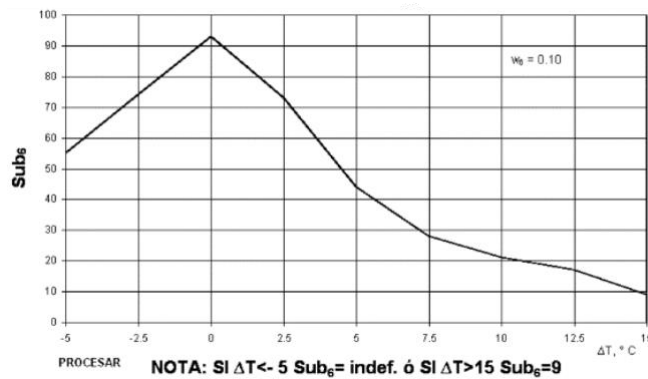
Si solo hay un punto de muestreo, se asume que la diferencia es cero y se continúa con ese valor.

Si la diferencia es mayor de 15°C, el valor de Sub_i se establece en 9. Si la diferencia es menor de

15°C, se interpola para determinar el valor en el eje Y basado en el eje X de la Figura 14.

Figura 14. Evaluación de la calidad del agua basada en la variación de temperatura.

Fuente: (Corrales & Fung McLeod, 2017).

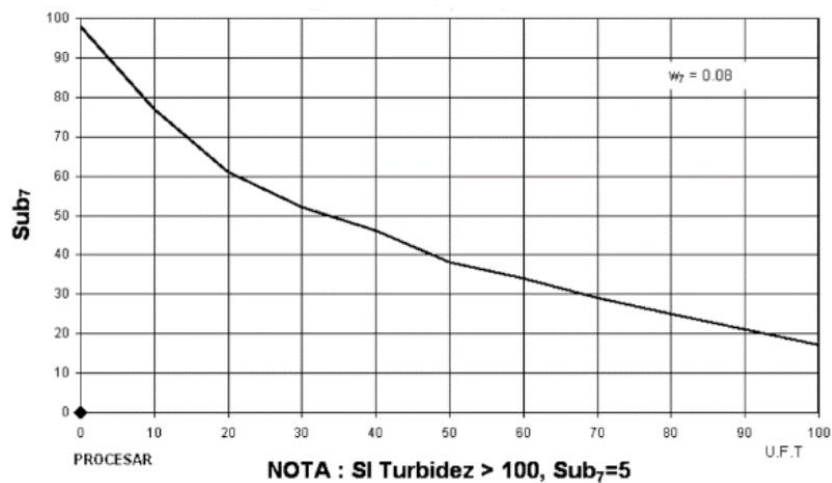


3.4.2.7 Subindicador de Turbidez

Cuando el valor de turbidez excede los 100 NTU, el Sub_i se establece en 5. Si el valor de la turbidez es menor a 100 NTU, se realiza una interpolación para determinar el valor correspondiente en el eje Y de la Figura 15.

Figura 15. Evaluación de la calidad del agua basada en la turbidez.

Fuente: (Corrales & Fung McLeod, 2017).

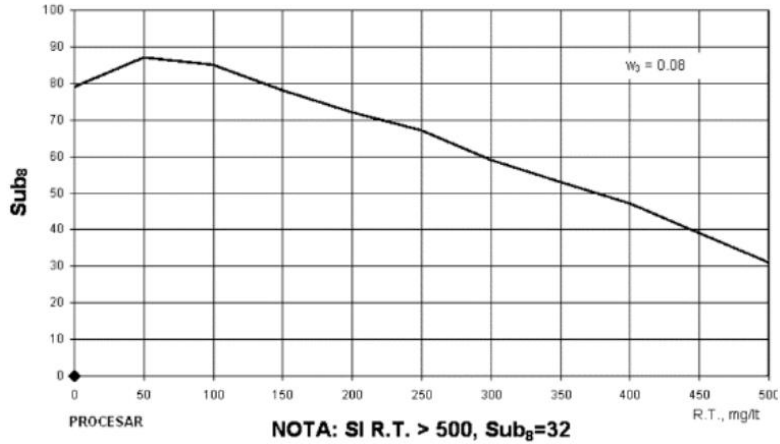


3.4.2.8 Subindicador de Sólidos disueltos totales

Cuando la concentración de Sólidos Disueltos Totales supere los 500 mg/L, el valor de Sub_i se establece en 3. En caso de que la concentración sea menor de 500 mg/L, se realiza una interpolación para determinar el valor en el eje Y de la Figura 16.

Figura 16. Evaluación de la calidad del agua basada en el residuo total.

Fuente: (Corrales & Fung McLeod, 2017).



3.4.2.9 Subindicador de oxígeno disuelto

Para evaluar el oxígeno disuelto (OD), se calcula el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto en el agua, identificando el valor de saturación según la temperatura del agua como se lo establece en la tabla 15. Si el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto supera el 140 %, el valor de Sub_i se establece en 47. En caso de que este valor sea inferior al 140 % de la saturación del oxígeno disuelto, se realiza una interpolación para determinar el valor en el eje Y de la Figura 17.

Figura 17. Evaluación de la calidad del agua basada en la presencia de oxígeno disuelto.

Fuente: (Corrales & Fung McLeod, 2017).

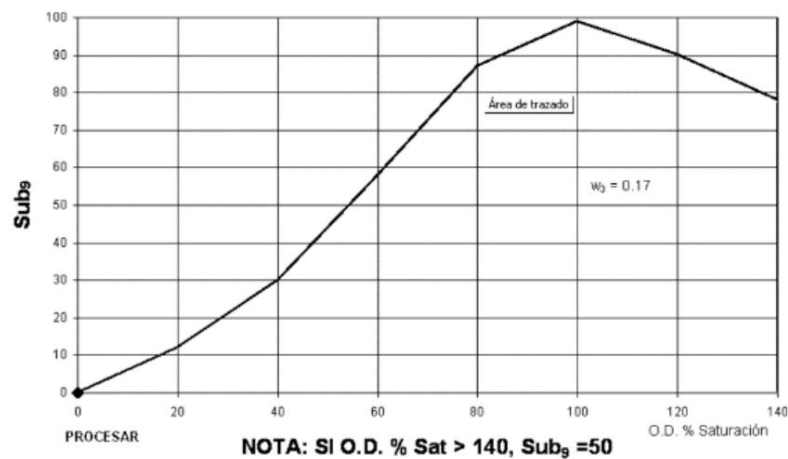


Tabla 15. Capacidad de oxígeno disuelto al 100% (mg/L)

Fuente: (Corrales & Fung McLeod, 2017)

T	770 mm	760 mm	750 mm	740 mm	730 mm	720 mm	710 mm	700 mm	690 mm	680 mm	670 mm	660 mm
0 °C	14,76	14,57	14,38	14,19	13,99	13,8	13,61	13,42	13,23	13,04	12,84	12,65
1 °C	14,38	14,19	14	13,82	13,63	13,44	13,26	13,07	12,88	12,7	12,51	12,32
2 °C	14,01	13,82	13,64	13,46	13,28	13,1	12,92	12,73	12,55	12,37	12,19	12,01
3 °C	13,65	13,47	13,29	13,12	12,94	12,76	12,59	12,41	12,23	12,05	11,88	11,7
4 °C	13,31	13,13	12,96	12,79	12,61	12,44	12,27	12,1	11,92	11,75	11,58	11,4
5 °C	12,97	12,81	12,64	12,47	12,3	12,13	11,96	11,8	11,63	11,46	11,29	11,12
6 °C	12,66	12,49	12,33	12,16	12	11,83	11,67	11,51	11,34	11,18	11,01	10,85
7 °C	12,35	12,19	12,03	11,87	11,71	11,55	11,39	11,23	11,07	10,91	10,75	10,59
8 °C	12,05	11,9	11,74	11,58	11,43	11,27	11,11	10,96	10,8	10,65	10,49	10,33
9 °C	11,77	11,62	11,46	11,31	11,16	11,01	10,85	10,7	10,55	10,39	10,24	10,09
10 °C	11,5	11,35	11,2	11,05	10,9	10,75	10,6	10,45	10,3	10,15	10	9,86
11 °C	11,24	11,09	10,94	10,8	10,65	10,51	10,36	10,21	10,07	9,92	9,78	9,63
12 °C	10,98	10,84	10,7	10,56	10,41	10,27	10,13	9,99	9,84	9,7	9,56	9,41
13 °C	10,74	10,6	10,46	10,32	10,18	10,04	9,9	9,77	9,63	9,49	9,35	9,21
14 °C	10,51	10,37	10,24	10,1	9,96	9,83	9,69	9,55	9,42	9,28	9,14	9,01
15 °C	10,29	10,15	10,02	9,88	9,75	9,62	9,48	9,35	9,22	9,08	8,95	8,82
16 °C	10,07	9,94	9,81	9,68	9,55	9,42	9,29	9,15	9,02	8,89	8,76	8,63
17 °C	9,86	9,74	9,61	9,48	9,35	9,22	9,1	8,97	8,84	8,71	8,58	8,45
18 °C	9,67	9,54	9,41	9,29	9,16	9,04	8,91	8,79	8,66	8,54	8,41	8,28
19 °C	9,47	9,35	9,23	9,11	8,98	8,86	8,74	8,61	8,49	8,37	8,24	8,12
20 °C	9,29	9,17	9,05	8,93	8,81	8,69	8,57	8,45	8,33	8,2	8,08	7,96
21 °C	9,11	9	8,88	8,76	8,64	8,52	8,4	8,28	8,17	8,05	7,93	7,81
22 °C	8,94	8,83	8,71	8,59	8,48	8,36	8,25	8,13	8,01	7,9	7,78	7,67
23 °C	8,78	8,66	8,55	8,44	8,32	8,21	8,09	7,98	7,87	7,75	7,64	7,52
24 °C	8,62	8,51	8,4	8,28	8,17	8,06	7,95	7,84	7,72	7,61	7,5	7,39
25 °C	8,47	8,36	8,25	8,14	8,03	7,92	7,81	7,7	7,59	7,48	7,37	7,26
26 °C	8,32	8,21	8,1	7,99	7,89	7,78	7,67	7,56	7,45	7,35	7,24	7,13
27 °C	8,17	8,07	7,96	7,86	7,75	7,64	7,54	7,43	7,33	7,22	7,11	7,01
28 °C	8,04	7,93	7,83	7,72	7,62	7,51	7,41	7,3	7,2	7,1	6,99	6,89
29 °C	7,9	7,8	7,69	7,59	7,49	7,39	7,28	7,18	7,08	6,98	6,87	6,77
30 °C	7,77	7,67	7,57	7,47	7,36	7,26	7,16	7,06	6,96	6,86	6,76	6,66
31 °C	7,64	7,54	7,44	7,34	7,24	7,14	7,04	6,94	6,85	6,75	6,65	6,55

Nota: Los cálculos de saturación se realizan bajo condiciones específicas, rigiéndose a una presión estándar de 740 mm de mercurio (Hg).

CAPITULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS

Los parámetros de comparación para la calidad del agua destinada al riego, según lo establecido en el acuerdo ministerial 097-A, incluyen una variedad de aspectos físicos, químicos y microbiológicos que se monitorean y evalúan para garantizar que el agua utilizada en el riego no presente riesgos para la salud humana ni cause daños ambientales. Además, se determinó el índice de calidad de agua (ICA) para cada punto de muestreo, buscando evidenciar el comportamiento de la calidad del agua a lo largo del canal.

Se optó por un método de muestreo temporal con el fin de capturar las condiciones específicas del agua en un momento particular, sin ser influenciado por variaciones estacionales u otros factores ambientales. Además, en el anexo 37 se incluye un registro del clima del mes en que se tomaron las muestras, ya que este puede influir en parámetros del agua como la turbiedad o el oxígeno disuelto.

4.1 Resultados de los parámetros del canal de San Joaquín.

Se presentan los resultados de los análisis realizados en el canal de riego de San Joaquín, efectuados la primera semana del mes de octubre de 2023.

Tabla 16. Resultados de los parámetros químicos del canal de San Joaquín.

Parámetros	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
pH	unidad de pH	7,41	7,22	7,12	7,13
Conductividad	milimhos/cm	2,8	2,75	2,79	2,79
Oxígeno disuelto	mg/L	8,08	7,71	7,54	7,3
Nitratos	mg/L	0,7	0,8	0,5	0,5
Nitritos	mg/L	0,025	0,013	0,017	0,013
Fosfatos	mg/L	12,91	4,8	5,59	4,01
DQO	mg/L	2	14	9	12
DBO5	mg/L	0	0	0	1
Dureza	ppm CaCo3	65	65	65	70

Nota: Para corroborar los resultados ver Anexo 6 y Anexo 8.

Figura 18. Comportamiento de los parámetros químicos en el canal de San Joaquín.

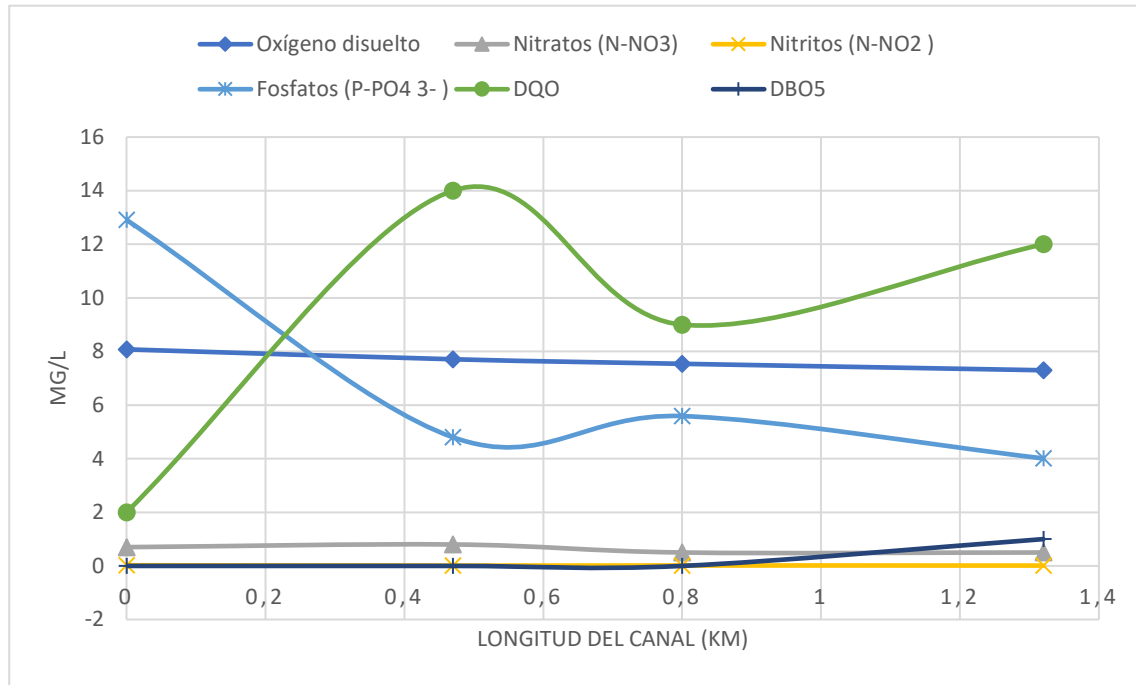


Tabla 17. Resultados de los parámetros físicos del canal de San Joaquín.

Parámetros	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Turbiedad	NTU	1,37	1,44	3,05	3,9
Color aparente	PtCo	0	4	0	8
Color real	PtCo	0	0	0	0
Solidos Totales	mg/L	200	400	400	400
Solidos Suspendidos	mg/L	20	40	40	20
Solidos Disueltos totales	mg/L	180	360	360	380
Temperatura	C	14,8	14,3	14,2	14,4

Nota: Para corroborar los resultados ver Anexo 7 y Anexo 9.

Figura 19. Comportamiento de los parámetros físicos en el canal de San Joaquín.

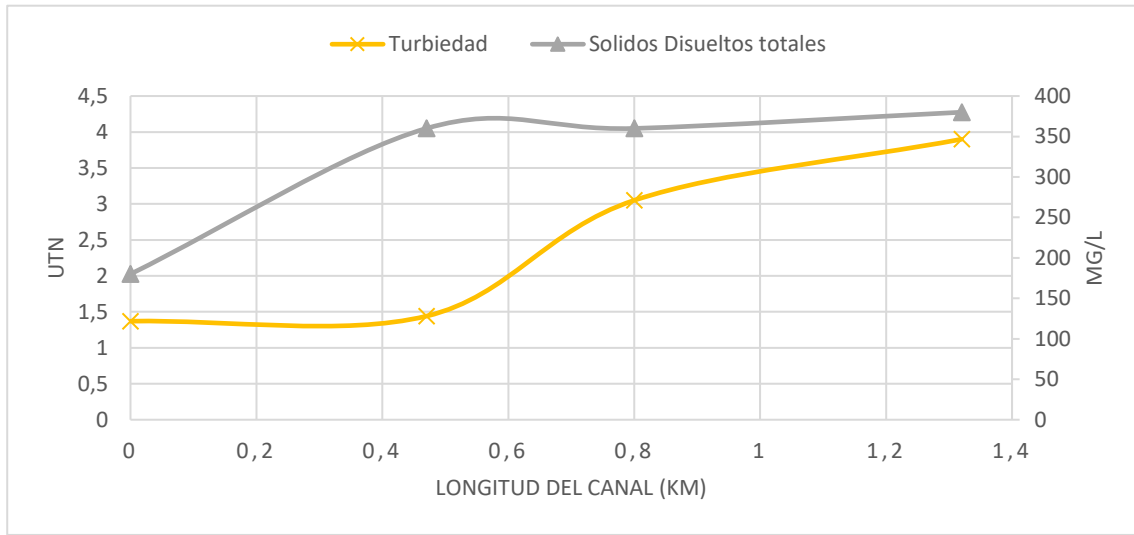
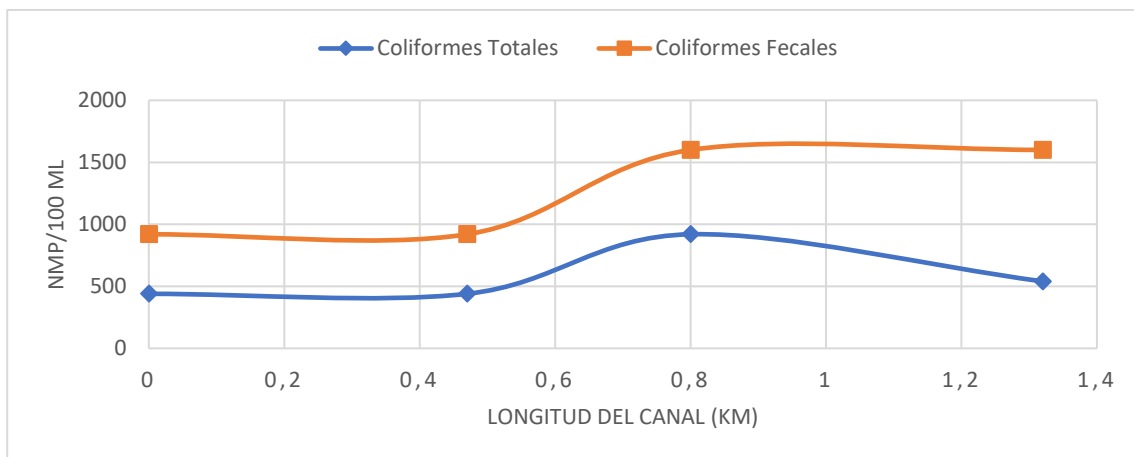


Tabla 18. Resultados de los parámetros microbiológicos del canal de San Joaquín.

Parámetros	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Coliformes Totales	Combinación positiva NMP/100 mL	545	545	553	552
Coliformes Fecales	Combinación positiva NMP/100 mL	440	440	920	540
Coliformes Fecales	Combinación positiva NMP/100 mL	553	553	555	555
Coliformes Fecales	Combinación positiva NMP/100 mL	920	920	>1600	>1600

Nota: Para corroborar los resultados ver Anexo 18.

Figura 20. Comportamiento de los parámetros microbiológicos en el canal de San Joaquín.



4.2 Resultados de los parámetros del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.

Se presentan los resultados de los análisis realizados en el canal de riego de San Joaquín, efectuados la segunda semana del mes de octubre de 2023.

Tabla 19. Resultados de los parámetros químicos del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.

Parámetros	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
pH	unidades de pH	8,04	10,05	9,96	9,62
Conductividad	milimhos/cm	0,13	0,13	0,13	0,13
Oxígeno disuelto	mg/L	7,23	7,28	7,23	7,35
Nitratos	mg/L	0,3	0,2	0,2	0,4
Nitritos	mg/L	0,007	0,005	0,005	0,009
Fosfatos	mg/L	0,117	4,4	1,97	3,37
DQO	mg/L	0	0	1	1
DBO5	mg/L	0	0	0	0
Dureza	ppm CaCO3	75	80	75	75

Nota: Para corroborar los resultados ver Anexo 10 y Anexo 12.

Figura 21. Comportamiento de los parámetros químicos en el canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.

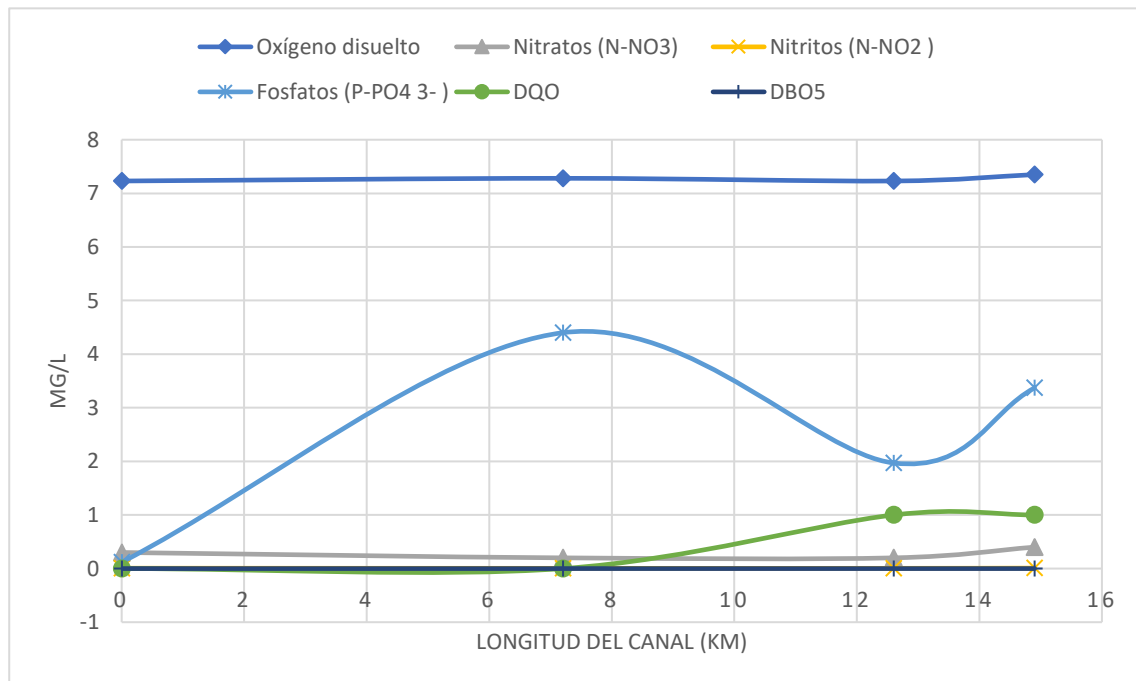


Tabla 20. Resultados de los parámetros físicos del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.

Parámetros	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Turbiedad	NTU	4,22	3,48	3,44	4,41
Color aparente	PtCo	18	25	33	29
Color real	PtCo	4	5	8	5
Solidos Totales	mg/L	600	2000	800	2000
Solidos Suspendidos	mg/L	20	60	40	80
Solidos Disueltos totales	mg/L	580	1940	760	1920
Temperatura	C	13,3	14,1	15,7	14,4

Nota: Para corroborar los resultados ver Anexo 11 y Anexo 13.

Figura 22. Comportamiento de los parámetros físicos en el canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.

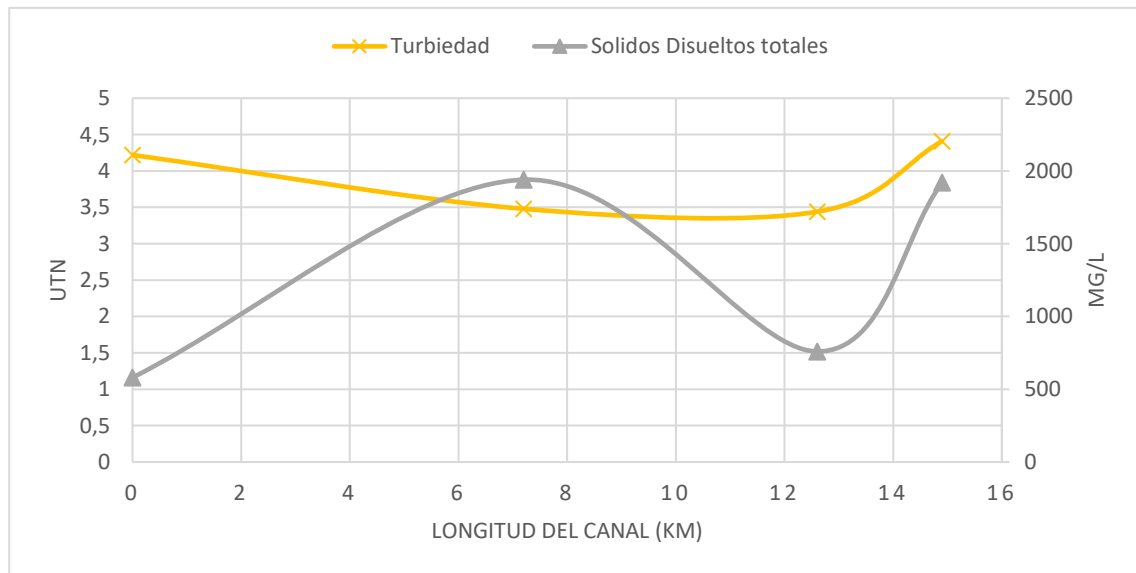
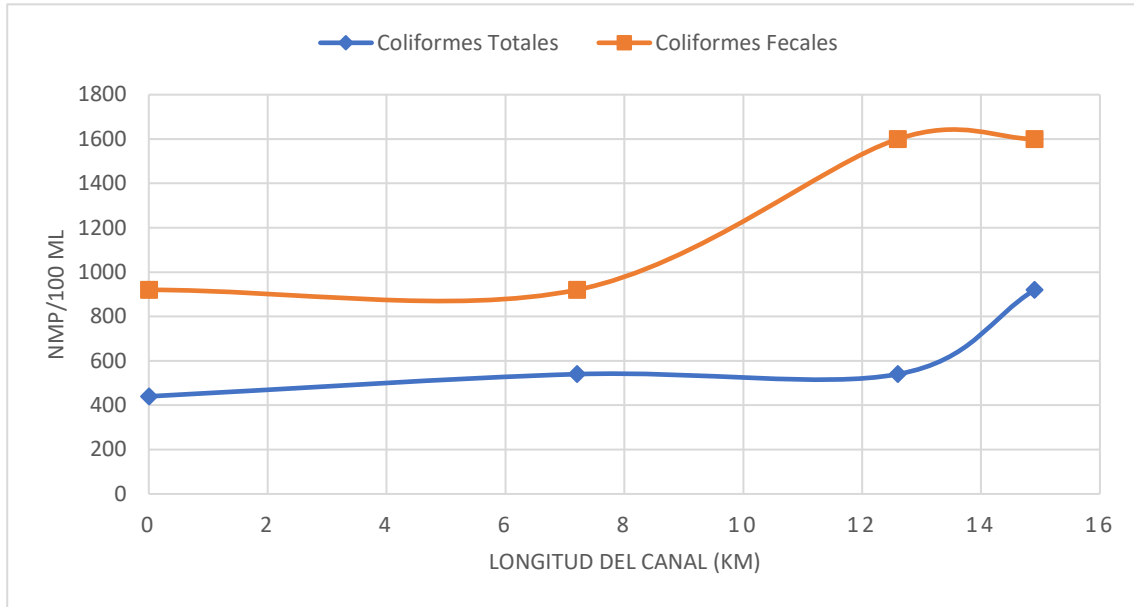


Tabla 21. Resultados de parámetros microbiológicos del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.

Parámetros	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Coliformes Totales	Combinación positiva NMP/100 mL	545	552	552	553
Coliformes Fecales	Combinación positiva NMP/100 mL	440	540	540	920
		553	553	555	555
		920	920	>1600	>1600

Nota: Para corroborar los resultados ver Anexo 18

Figura 23. Comportamiento de los parámetros microbiológicos en el canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.



4.3 Resultados de los parámetros del canal de Chicticay-Paute.

Se presentan los resultados de los análisis realizados en el canal de riego de San Joaquín, efectuados la cuarta semana del mes de octubre de 2023.

Tabla 22. Resultados de los parámetros químicos del canal de Chicticay-Paute.

Parámetros	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
pH		7,85	7,59	7,35	7,3	7,23	7,66
Conductividad	milimhos/cm	1,96	1,97	1,92	1,91	1,96	1,94
Oxígeno disuelto	mg/L	6,36	7,25	3,85	3,78	4,11	7,03
Nitratos	mg/L	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6	1,9
Nitritos	mg/L	0,244	0,269	0,263	0,284	0,254	0,268
Fosfatos	mg/L	7,03	5,18	4,98	4,87	5,09	5,28
DQO	mg/L	32	69	31	45	36	49
DBO5	mg/L	9,8	6	9	12,8	9,6	6,9
Dureza	Ppm CaCO3	90	85	90	100	95	80

Nota: Para corroborar los resultados ver Anexo 14 y Anexo 16.

Figura 24. Comportamiento de los parámetros químicos en el canal de Chicticay - Paute.

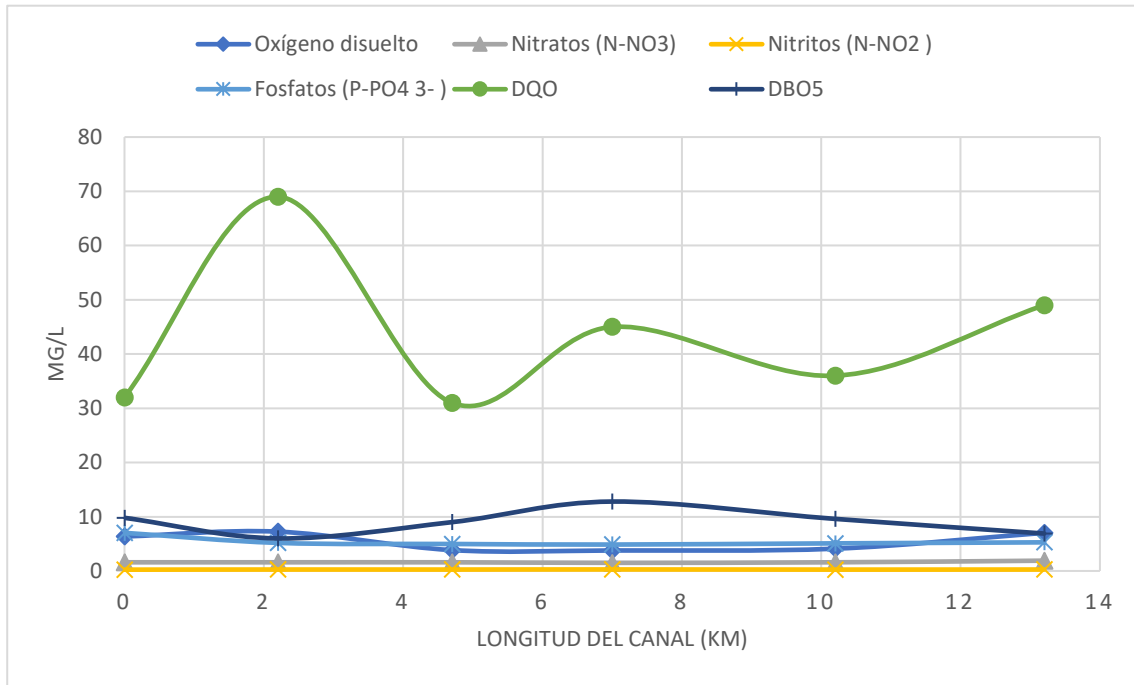


Tabla 23. Resultados de los parámetros físicos del canal de Chicticay-Paute.

Parámetros	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
Turbiedad	NTU	9,76	6,36	13,2	10,7	24,8	39,5
Color aparente	PtCo	84	111	118	85	52	83
Color real	PtCo	23	42	18	22	26	23
Solidos Totales	mg/L	1200	1000	800	1200	800	800
Solidos Suspendidos	mg/L	60	60	60	160	120	60
Solidos Disueltos totales	mg/L	1140	940	740	1040	680	740
Temperatura	C	17,9	17,7	18,5	18,9	18,1	18,6

Nota: Para corroborar los resultados ver Anexo 15 y Anexo 17.

Figura 25. Comportamiento de los parámetros físicos en el canal de Chicticay - Paute.

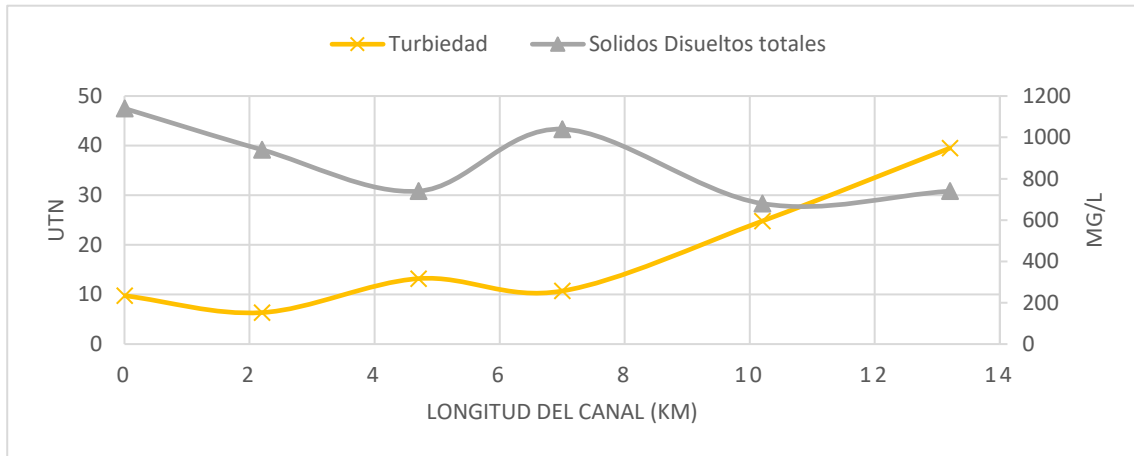
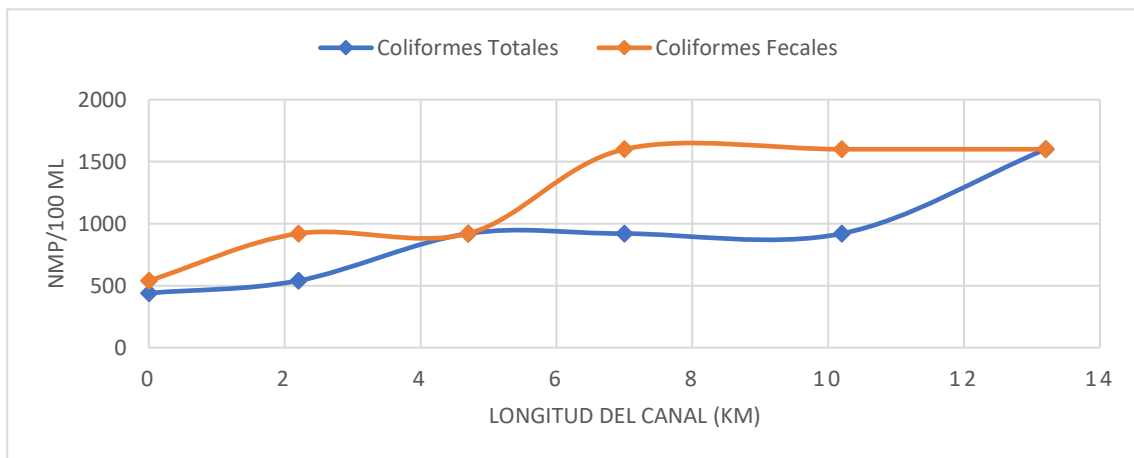


Tabla 24. Resultados de los parámetros microbiológicos del canal de Chicticay-Paute.

Parámetros	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
Coliformes Totales	Combinación positiva	545	552	553	553	553	555
	NMP/100 mL	440	540	920	920	920	>1600
Coliformes Fecales	Combinación positiva	552	553	553	555	555	555
	NMP/100 mL	540	920	920	>1600	>1600	>1600

Nota: Para corroborar los resultados ver Anexo 18.

Figura 26. Comportamiento de los parámetros microbiológicos del canal de Chicticay - Paute.



4.4 Grado de restricción del agua de los sistemas de riego.

En función con los resultados obtenidos de las muestras se procedió a determinar el grado de restricción con respecto a la salinidad del agua y a la tasa de infiltración del agua en el suelo.

4.4.1 Salinidad del agua.

Para evaluar la salinidad del agua, es esencial analizar parámetros clave como la conductividad eléctrica y la concentración de sólidos disueltos totales. A continuación, se describe el comportamiento de estos parámetros a lo largo de los canales de riego.

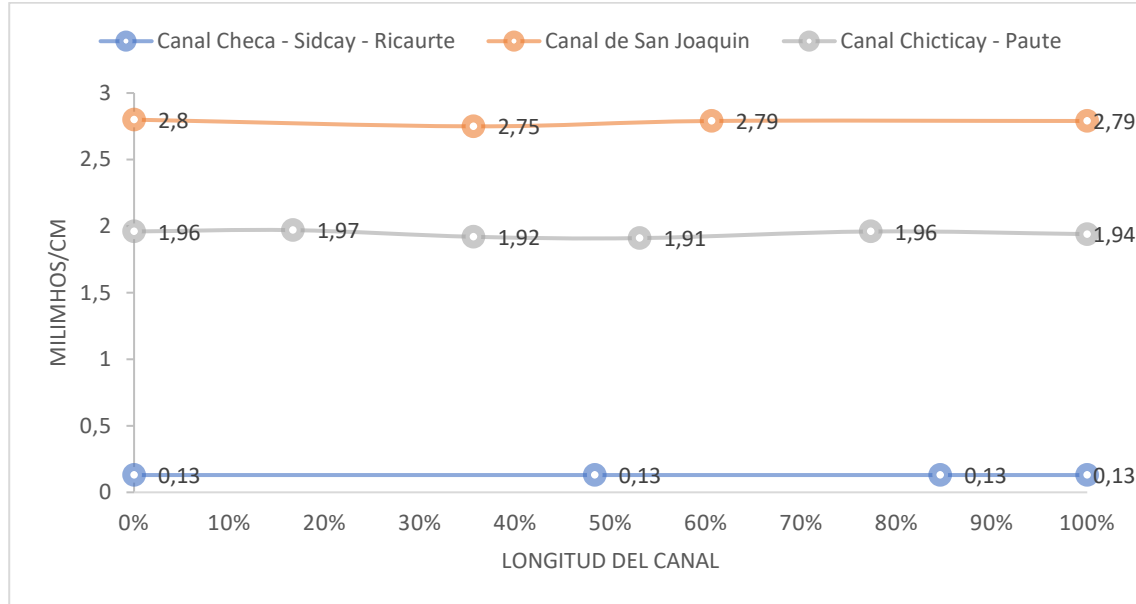
4.4.1.1 Conductividad

Según Cirelli, 2012, la conductividad del agua se ve influenciada por el tipo de terreno que atraviesa y la presencia o ausencia de vertidos de aguas residuales, ya que los iones presentes en estos vertidos no son eliminados por los procesos de depuración. La medición de la conductividad proporciona información valiosa sobre la calidad del agua en términos de su contenido iónico, por lo que la figura 27 demuestra que en los canales de riego se presenta un comportamiento lineal de este parámetro ya que la variación de estos no supera el 3% en todos los puntos de muestreo.

Como se evidencia, el agua del canal de San Joaquín contiene una alta carga iónica, siendo 2.8 milimhos/cm su valor más alto, lo que refleja una concentración relativamente moderada de sales disueltas, al contrario del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte, que presenta baja carga iónica.

Sin embargo, en el contexto agrícola, una baja conductividad podría indicar una falta de nutrientes esenciales para el crecimiento de los cultivos, lo que podría requerir suplementos adicionales para garantizar un rendimiento óptimo.

Figura 27. Variación de la conductividad del agua en los canales de riego.



La conexión entre la conductividad y la salinidad radica en que las sales presentes en el agua disuelven iones eléctricamente cargados, lo que facilita la conducción eléctrica. La medición de la conductividad se ajusta de acuerdo con la clasificación establecida en el Acuerdo Ministerial 097-A, lo cual regula esta relación en el contexto de la calidad del agua.

4.4.1.2 Sólidos disueltos totales

Según lo establece el acuerdo ministerial 097-A, un valor adecuado con respecto a la presencia de sólidos disueltos totales deben ser inferiores a 450 mg/L, por lo que se evidencia en la figura 28, que los canales de Checa-Sidcay-Ricaurte y Chicticay-Paute, presentan valores por fuera de dicha normativa.

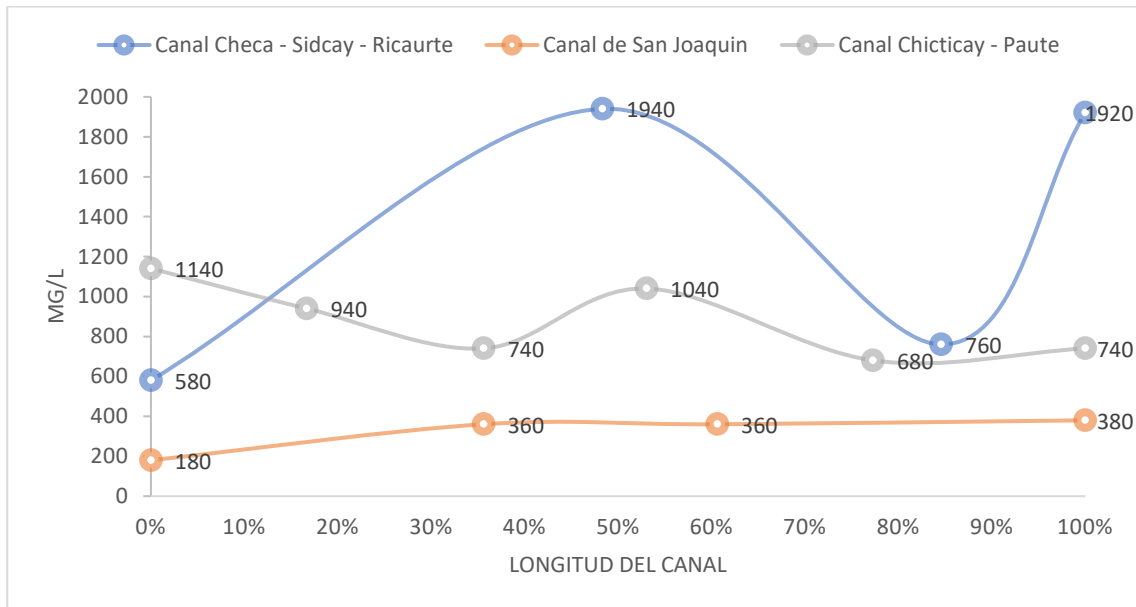
En el canal de riego de Checa-Sidcay-Ricaurte, la variabilidad es evidente con valores que oscilan entre 580 mg/l y 1940 mg/l. Este aumento significativo podría estar asociado con factores externos de contaminación, prácticas agrícolas o incluso descargas domiciliarias cercanas al canal. El incremento podría indicar sedimentación o una variación en la turbiedad del agua.

En el canal de San Joaquín, la tendencia es más estable, con valores entre 180 mg/l y 380 mg/l. Sin embargo, la presencia constante de sólidos disueltos podría estar vinculada a actividades agrícolas en las inmediaciones como se presenta en el anexo 34. La acumulación gradual podría afectar la calidad del agua y la eficacia del riego, destacando la importancia de prácticas agrícolas sostenibles.

Por último, en el canal de Chicticay-Paute, se observa una variación considerable, que va desde los 680 mg/l hasta 1140 mg/l. Esta variabilidad podría ser influenciada por la topografía, la erosión del suelo, pendientes del canal, las prácticas agrícolas y las descargas industriales en la cuenca.

Los impactos de los niveles variables de sólidos disueltos pueden ser considerablemente relevantes. Valores elevados tienen el potencial de obstruir los sistemas de riego, disminuir la eficiencia del uso del agua y generar efectos perjudiciales en la salud y rendimiento de los cultivos.

Figura 28. Presencia de solidos disueltos totales en el agua de los canales de riego.



Como se presentan los resultados de este parámetro, en la mayoría de canales tiende a crecer a lo largo de los canales debido a que como se evidencio en el recorrido in situ de los mismos, en estos se presentaron problemáticas externas a los canales de riego como: escurrimiento de suelos agrícolas, excesos de fertilización o una erosión del suelo debido a condiciones climáticas adversas o actividades humanas, como la deforestación (véase anexo 34, 35 y 36).

Sin embargo, el factor contaminante predominante identificado en estos canales es la descarga directa o indirecta de aguas residuales, tanto domésticas como industriales, careciendo de un tratamiento adecuado.

4.4.1.3 Categorización del agua de los canales de riego con respecto a la salinidad.

En la tabla 24, se presenta el grado de restricción presente en el sistema de riego de San Joaquín, tomando en cuenta los resultados in situ de la conductividad del agua. Este canal exhibe un grado de restricción catalogado como Ligero-Moderado, señalando la presencia de este parámetro en niveles que podrían influir en la eficiencia del proceso de riego. Este hallazgo resalta la importancia de evaluar y gestionar de manera adecuada la conductividad del agua en este sistema, considerando sus posibles implicaciones en la efectividad del riego y la salud de los cultivos.

Tabla 25. Grado de restricción del canal de San Joaquín con respecto a la salinidad del agua considerando la conductividad de la misma.

Muestras	CE (1)	Grado de restricción: Salinidad
1	2,8	Ligero-Moderado
2	2,75	Ligero-Moderado
3	2,79	Ligero-Moderado
4	2,79	Ligero-Moderado

Nota: (1) CE = Conductividad eléctrica (milimhos/cm) (ver tabla 15).

En la tabla 25, se detalla el grado de restricción en el sistema de riego de San Joaquín, evaluando la concentración de sólidos disueltos totales mediante los distintos análisis de laboratorio, sin embargo, no se observa ninguna restricción asociada a este parámetro, indicando que, en términos generales, la cantidad de sólidos disueltos totales en el agua no constituye un factor limitante para su utilización en el riego. Este resultado sugiere que la calidad del agua en cuanto a sólidos disueltos totales es adecuada para el proceso de riego en el sistema de San Joaquín.

Tabla 26. Grado de restricción del canal de San Joaquín con respecto a la salinidad el agua considerando la presencia de solidos disueltos totales en la misma.

Muestras	SDT (1)	Grado de restricción: Salinidad
1	180	Ninguno
2	360	Ninguno
3	360	Ninguno
4	380	Ninguno

Nota: (1) SDT = Solidos disueltos totales (mg/l) (ver tabla 16).

Como se define en la tabla 26, existe una nula restricción en el uso del agua del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte con respecto a la conductividad, lo cual sugiere que la capacidad del agua para conducir electricidad no se ve afectada significativamente debido a la carga iónica que este canal presenta.

Tabla 27. Grado de restricción del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte con respecto a la salinidad del agua considerando la conductividad del agua.

Muestras	CE (1)	Grado de restricción: Salinidad
1	0,13	Ninguno
2	0,13	Ninguno
3	0,13	Ninguno
4	0,13	Ninguno

Nota: (1) CE = Conductividad eléctrica (milimhos/cm) (ver tabla 18).

En la Tabla 27, se observa un grado de restricción Ligero-Moderado en sólidos disueltos totales (SDT), señalando una influencia considerable de la concentración de materiales disueltos en la calidad del agua destinada al riego. Esta clasificación implica que, aunque la restricción no es severa, existe un impacto discernible que podría afectar la eficiencia del canal de riego de Checa-Sidcay-Ricaurte. Considerar medidas correctivas o de mitigación podría ser crucial para mantener un equilibrio óptimo en la utilización de recursos hídricos en la región.

Tabla 28. Grado de restricción del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte con respecto a la salinidad del agua considerando la presencia de sólidos disueltos totales en la misma.

Muestras	SDT (1)	Grado de restricción: Salinidad
1	580	Ligero-Moderado
2	1940	Ligero-Moderado
3	760	Ligero-Moderado
4	1920	Ligero-Moderado

Nota: (1) SDT = Sólidos disueltos totales (mg/l) (ver tabla 19).

En las Tablas 28 y 29, se evidencia un grado general de restricción clasificado como Ligero-Moderado. Esta categorización señala una limitación moderada en el uso del agua para actividades de riego, atribuida principalmente a la presencia significativa de elevados niveles de conductividad y sólidos disueltos totales.

Esta situación plantea preocupaciones sobre la eficacia del sistema de riego, ya que podría influir en la capacidad de las plantas para absorber agua y, potencialmente, resultar en la acumulación de sales en el suelo. Dada esta limitación moderada, se sugiere una evaluación continua y medidas correctivas para mitigar posibles impactos negativos en la calidad del suelo y el rendimiento de los cultivos.

Tabla 29. Grado de restricción del canal de Chicticay-Paute con respecto a la salinidad del agua considerando la conductividad de la misma.

Muestras	CE (1)	Grado de restricción: Salinidad
1	1,96	Ligero-Moderado
2	1,97	Ligero-Moderado
3	1,92	Ligero-Moderado
4	1,91	Ligero-Moderado
5	1,96	Ligero-Moderado
6	1,94	Ligero-Moderado

Nota: (1) CE = Conductividad eléctrica (milimhos/cm) (ver tabla 21).

Tabla 30. Grado de restricción del canal de Chicticay-Paute con respecto a la salinidad del agua considerando la presencia de solidos disueltos totales en la misma.

Muestras	SDT	Grado de restricción: Salinidad
1	1140	Ligero-Moderado
2	940	Ligero-Moderado
3	740	Ligero-Moderado
4	1040	Ligero-Moderado
5	680	Ligero-Moderado
6	740	Ligero-Moderado

Nota: (1) SDT = Solidos disueltos totales (mg/l) (ver tabla 22).

4.4.2 Tasa de infiltración del agua de los sistemas de riego en el suelo.

Para evaluar la tasa de infiltración del agua de los canales en estudio, es fundamental examinar parámetros importantes como la conductividad eléctrica (CE) y la relación de absorción de sodio (RAS). Dado que ya se ha analizado la conductividad en los canales, a continuación, se describe el comportamiento de la RAS a lo largo de dichos canales de riego.

4.4.2.1 Relación de absorción de sodio

La RAS en un sistema de riego indica la propensión del agua a causar compactación del suelo debido a concentraciones desequilibradas de sodio, magnesio y calcio. Un alto valor de RAS indica

que el agua es menos adecuada para riego, afectando la permeabilidad del suelo y generando un entorno que debilita la estructura microscópica del suelo. Este debilitamiento provoca la desintegración de partículas arcillosas en fragmentos más pequeños, dificultando la penetración de agua y aire. Además, un aumento en la RAS puede tener impactos negativos en el pH del suelo, afectando la disponibilidad de hierro y zinc, así como reducir la aireación del suelo, influyendo en la fertilidad y el crecimiento de las plantas. En consecuencia, se crea un ambiente anaeróbico y salino que daña las raíces, afectando directamente a la germinación.

En el acuerdo ministerial 097-A, se relaciona a la RAS y la conductividad, ya que un incremento en la concentración de sodio con respecto al calcio y magnesio, como indica la RAS, puede incidir en la conductividad. Esto compromete la calidad del agua y su capacidad para favorecer el crecimiento vegetal, por lo que esta normativa clasifica a la infiltración en seis categorías según los valores de conductividad eléctrica (CE) y RAS (véase anexo 5).

Es importante mencionar que la elección de la fórmula para calcular el RAS a partir de los sólidos disueltos totales (SDT) y la dureza total del agua se justifica por la necesidad de evaluar la calidad del agua, considerando los parámetros físico-químicos del agua previamente establecidos. Aunque esta fórmula no es estándar en la industria agrícola, puede resultar útil en situaciones específicas donde se requiere una medida rápida y aproximada del RAS.

$$RAS = \frac{2.5 * SDT}{\sqrt{DT}}$$

Donde:

SDT = Sólidos disueltos totales (mg/l)

DT = Dureza total (mg/l)

Es importante destacar que el análisis de la RAS es solo una parte de la evaluación integral de la calidad del agua para riego. Otros aspectos, tales como la concentración de iones como sodio y calcio, así como la posible presencia de metales pesados como cadmio o mercurio, junto con las propiedades físicas del suelo, también deben considerarse para obtener una comprensión completa de cómo el agua puede afectar la salud del suelo y la eficiencia del riego.

4.4.2.2 Categorización del agua de los canales de riego con respecto a la tasa de infiltración del suelo.

En la tabla 30 se presentan valores con respecto a la relación de absorción de sodio (RAS) en el rango de 1.8 a 3.6, lo que sugiere que existen condiciones moderadas en cuanto a la presencia de sodio en el agua destinada al riego. Estos valores, en general, no indican una amenaza significativa para la infiltración del agua en el suelo, por lo tanto, se define un grado de restricción nulo en todo el canal de riego de San Joaquín, lo cual sugiere que, según los estándares aplicados, la calidad del agua en términos de RAS no presenta limitaciones significativas para la infiltración del agua en el suelo a lo largo de este canal.

Tabla 31. Grado de restricción con respecto a la infiltración en el canal de San Joaquín.

Muestras	SDT (1)	DT (2)	RAS	CE (3)	Grado de restricción: Infiltración
1	180	65000	1,8	2,8	Ninguno
2	360	65000	3,5	2,75	Ninguno
3	360	65000	3,5	2,79	Ninguno
4	380	70000	3,6	2,79	Ninguno

Nota: (1) SDT = Sólidos disueltos totales (mg/l) (ver tabla 16).

(2) DT = Dureza total (mg/l) (ver tabla 15).

(3) CE = Conductividad eléctrica (milimhos/cm) (ver tabla 15).

En la tabla 31 se evidencia una variación en los valores de la relación de absorción de sodio (RAS) a lo largo del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte, estos pueden atribuirse a múltiples factores. La composición química del agua, influenciada por diferencias en las concentraciones de sodio, calcio y magnesio, constituye una razón clave. Además, actividades humanas y el drenaje del suelo pueden introducir contaminantes y afectar la acumulación de sodio, generando variaciones significativas en los niveles de RAS.

Tabla 32. Grado de restricción con respecto a la infiltración en el canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.

Muestras	SDT (1)	DT (2)	RAS	CE (3)	Grado de restricción: Infiltración
1	580	75000	5,29	0,13	Severo
2	1940	80000	17,15	0,13	Severo
3	760	75000	6,94	0,13	Severo
4	1920	75000	17,53	0,13	Severo

Nota: (1) SDT = Sólidos disueltos totales (mg/l) (ver tabla 19).

(2) DT = Dureza total (mg/l) (ver tabla 18).

(3) CE = Conductividad eléctrica (milimhos/cm) (ver tabla 18).

Para reducir el grado de restricción de "Severo" a "Ninguno" en este canal, se pueden adoptar medidas integrales. Primero, aplicar tratamientos de agua, como la desalinización, para disminuir la concentración de sólidos disueltos totales. Segundo, mejorar la infraestructura del canal para facilitar el drenaje eficiente y reducir la acumulación de sedimentos. Tercero, implementar una gestión efectiva de fuentes de contaminación, controlando descargas industriales y promoviendo prácticas agrícolas sostenibles, junto con monitoreo continuo y campañas de concientización. Estas acciones contribuirían a mejorar la calidad del agua y reducir el grado de restricción con respecto a la tasa de infiltración.

En la tabla 32, se demuestra el análisis del canal de riego de Chicticay-Paute, revelando una variación en los valores de la relación de absorción de sodio (RAS), ya que en la mayoría de los puntos se exhiben valores bajos, indicando condiciones favorables para el riego sin restricciones.

Sin embargo, el punto de muestreo 4 ubicado en la zona de la “Higuera”, presenta un valor de RAS de 12.26 lo cual resulta en un grado de restricción ligero-moderado, señalando la presencia de posibles fuentes de contaminación, como la presencia de residuos sólidos o infiltración de agua externa proveniente de casas colindantes al canal en este punto, como análisis adicional en el recorrido in -situ, se detectó la presencia de basura orgánica, y erosión causada por elementos presentes en este punto de muestreo como tejas, adobe y llantas.

Esto sugiere que, a pesar de la generalidad de condiciones adecuadas, es crucial abordar específicamente las características del punto de muestreo 4 ubicado en la zona de la “Higuera”, de modo que se garantice una gestión adecuada del agua en ese segmento del canal.

Tabla 33. Grado de restricción con respecto a la infiltración en el canal de Chicticay-Paute.

Muestras	SDT (1)	DT (2)	RAS	CE (3)	Grado de restricción: Infiltración
1	1140	90000	9,50	1,96	Ninguno
2	940	85000	8,06	1,97	Ninguno
3	740	90000	6,17	1,92	Ninguno
4	1040	45000	12,26	1,91	Ligero - Moderado
5	680	65000	6,67	1,96	Ninguno
6	740	80000	6,54	1,94	Ninguno

Nota: (1) SDT = Sólidos disueltos totales (mg/l) (ver tabla 22).

(2) DT = Dureza total (mg/l) (ver tabla 21).

(3) CE = Conductividad eléctrica (milimhos/cm) (ver tabla 21).

4.5 Índice de calidad de agua (ICA).

Según Pérez et al., 2018, el índice ICA NSF, presenta ciertas debilidades que incluyen la falta de claridad en la medición de la satisfacción, ya que un índice puede ser adecuado para un uso específico pero no para otros. Además, no se basan en atributos naturales, implicando un modelo causa-efecto no explícito entre la calidad y el efecto deseado. Sin embargo, en este estudio, se optó por utilizar el ICA basado en la metodología establecida por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, dada su destacada prevalencia en investigaciones actuales.

4.5.1 Parámetros a considerar en el cálculo del ICA NSF.

Se han establecido los 9 parámetros implícitos en el cálculo del ICA NSF, como se detalla en la tabla 13. Ahora, se presenta el comportamiento de estos parámetros, destacando puntos altos y bajos de contaminación a lo largo de cada sistema de riego en estudio.

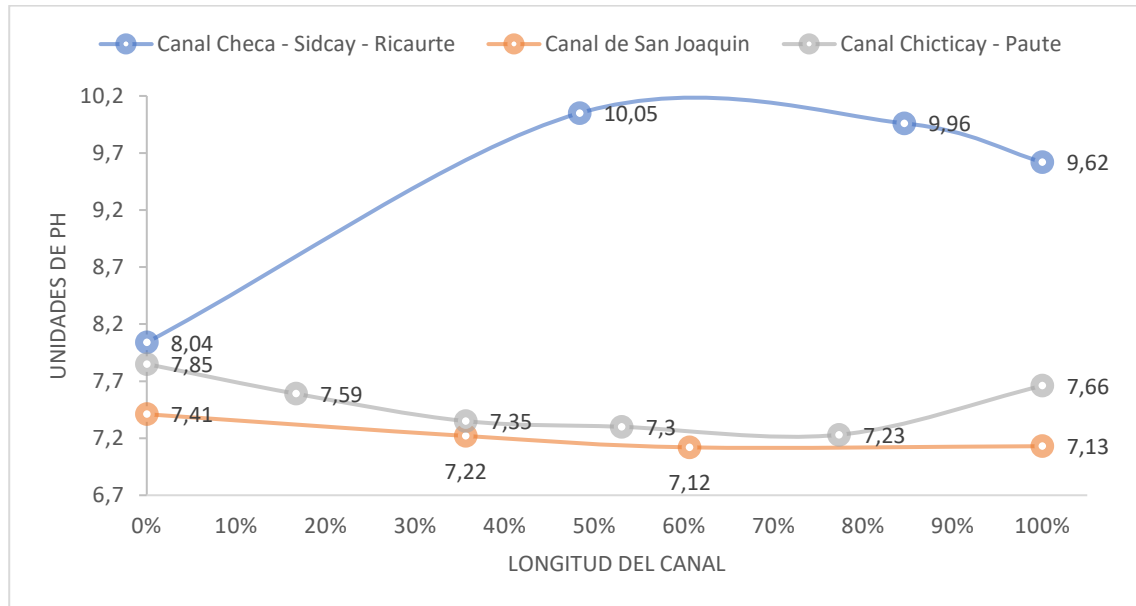
4.5.1.1 pH

La figura 29 demuestra una variabilidad en el comportamiento del pH, sugiriendo que existen interacciones ya sea por la geología o características específicas del entorno de los canales estudiados. Los valores de pH de los canales de San Joaquín y Chicticay-Paute se mantienen dentro del rango normal de 6.5 a 8.4 unidades, como lo establece el acuerdo ministerial 097-A (Anexo 5), sin embargo, en el canal de Checa-Sidcay-Ricaurte se registran valores de pH que oscilan entre 10.05 y 9.62 unidades, valores que indican un estado de alcalinidad considerable del agua de este canal.

Sin embargo, según Baccaro et al., 2006 y Medina Valdovinos et al., 2016 (Ver tabla 3), el pH del agua no es un parámetro sólido en la evaluación de su calidad, ya que los valores superiores al rango óptimo para cultivos no indican un riesgo significativo de alcalinidad en el agua, no obstante,

un monitoreo continuo de este parámetro podría proporcionar una comprensión más precisa de los factores que originan estos niveles de pH en el agua del canal de este canal.

Figura 29. Variación del pH del agua en los canales de riego.



4.5.1.2 Oxígeno disuelto

Los niveles de oxígeno disuelto en el agua de un canal de riego pueden variar debido a varios factores, como la temperatura del agua, la cantidad de materia orgánica presente, la actividad biológica, la turbulencia del agua y la aireación natural o artificial (Barrenetxea et al., 2003).

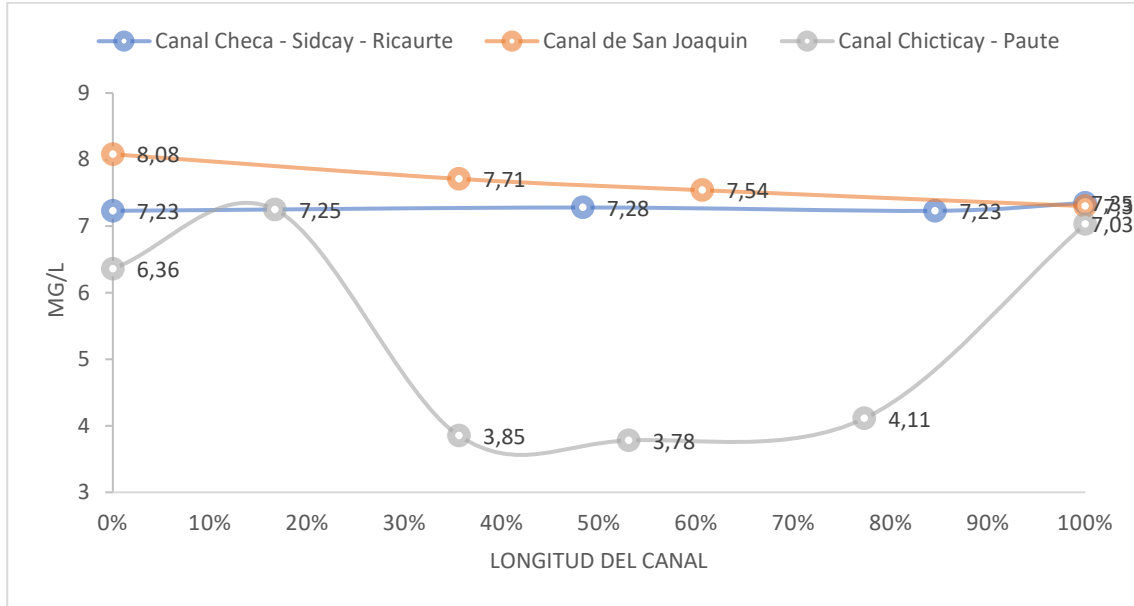
Según la figura 30, el canal de Checa-Sidcay-Ricaurte y el canal de San Joaquín mantienen niveles continuos de oxígeno disuelto, lo que sugiere una buena capacidad de autodepuración. Por el contrario, los valores presentes en el canal de Chicticay-Paute presentan una disminución pronunciada de 7.25 mg/l en la muestra 2 a 3.85 mg/l en la muestra 3 manteniéndose en este rango hasta la muestra 6 en la cual este parámetro asciende nuevamente a 7.03 mg/l, este comportamiento puede originarse debido a varios motivos, como se explican a continuación:

Según Meza, 2009, la mayoría de canales de riego son susceptibles a presentar un crecimiento desmedido de ciertas plantas acuáticas, especialmente el lirio de agua (*Eichhornia crassipes*), parámetros como nitratos y fosfatos actúan como nutrientes esenciales para este crecimiento., ya que pueden provenir de diversas fuentes, como fertilizantes agrícolas, desechos animales, residuos orgánicos y aguas residuales. Cuando estos nutrientes están disponibles en concentraciones adecuadas, pueden estimular el crecimiento.

Por lo que, la disminución de oxígeno disuelto en el punto de muestreo 2 de 7.25 mg/L a 3.85 mg/L en el punto de muestreo 3. El comportamiento “estable” en los puntos de muestreo 4 y 5 podría deberse a la presencia alta de plantas acuáticas como el lirio de agua o a la falta de renovación del agua. Por otro lado, el aumento en el punto de muestreo 6, podría ser el resultado de la entrada de agua fresca o de un proceso de aireación natural.

Además, desde otro punto de vista, un factor que puede influir en la cantidad de oxígeno disuelto en el agua podría ser la pendiente del canal mismo. Una pendiente pronunciada puede incrementar la velocidad del agua, favoreciendo la aireación y aumentando los niveles de oxígeno. Sin embargo, si la pendiente es excesiva, podría generar erosión, liberando sedimentos que podrían consumir oxígeno durante su descomposición, disminuyendo así los niveles de oxígeno disuelto.

Figura 30. Variación del oxígeno disuelto presente en el agua de los canales de riego.

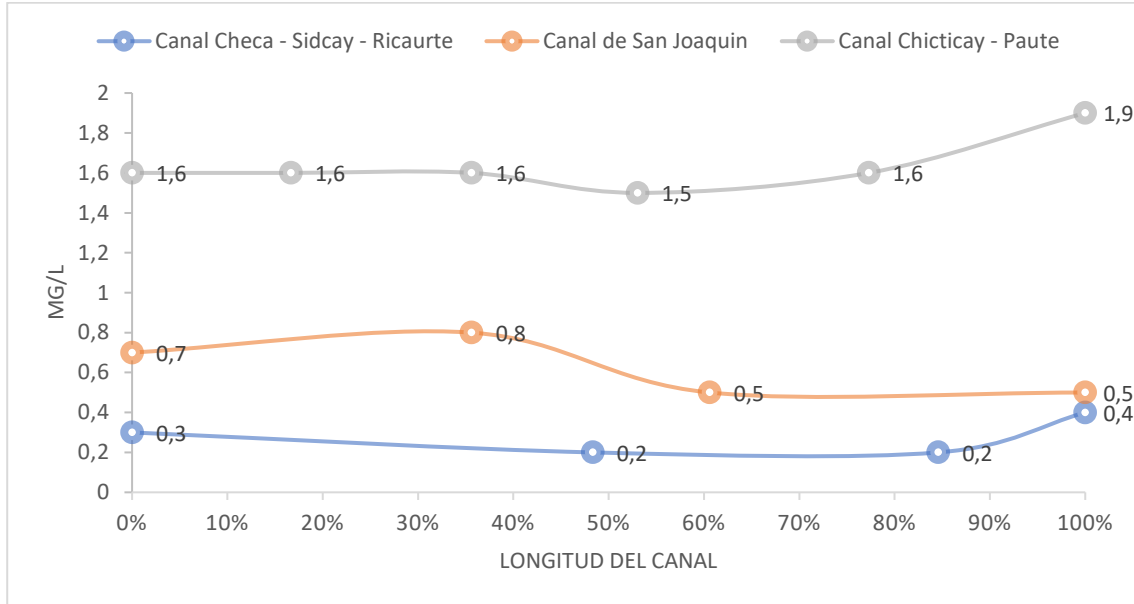


4.5.1.3 Nitratos

El canal Checa-Sidcay-Ricaurte muestra una variación mínima en los niveles de nitratos, sugiriendo una estabilidad en la carga de nutrientes, con respecto al canal de Chicticay-Paute, se presentan picos altos de 0.8 mg/l que podrían indicar aportes de fuentes agrícolas o urbanas, mientras que los picos bajos de 0.5 mg/l podrían relacionarse con procesos de dilución, por último, el canal de San Joaquín, los picos iniciales más altos de 0.7 y 0.8 mg/l podrían señalar fuentes agrícolas o industriales, y los valores descendentes de 0.5 mg/l, posiblemente, una mayor dilución aguas abajo del canal.

La aplicación excesiva de fertilizantes en tierras agrícolas cercanas, la escorrentía durante las lluvias y los efluentes de aguas residuales provenientes de casas colindantes a los canales de riego pueden causar niveles elevados de nitratos en el agua de los canales, llevando a la eutrofización del agua. Esto estimula el crecimiento de algas, reduciendo en consideración la calidad del agua.

Figura 31. Variación de los valores de nitratos presentes en el agua de los canales de riego.



4.5.1.4 Fosfatos.

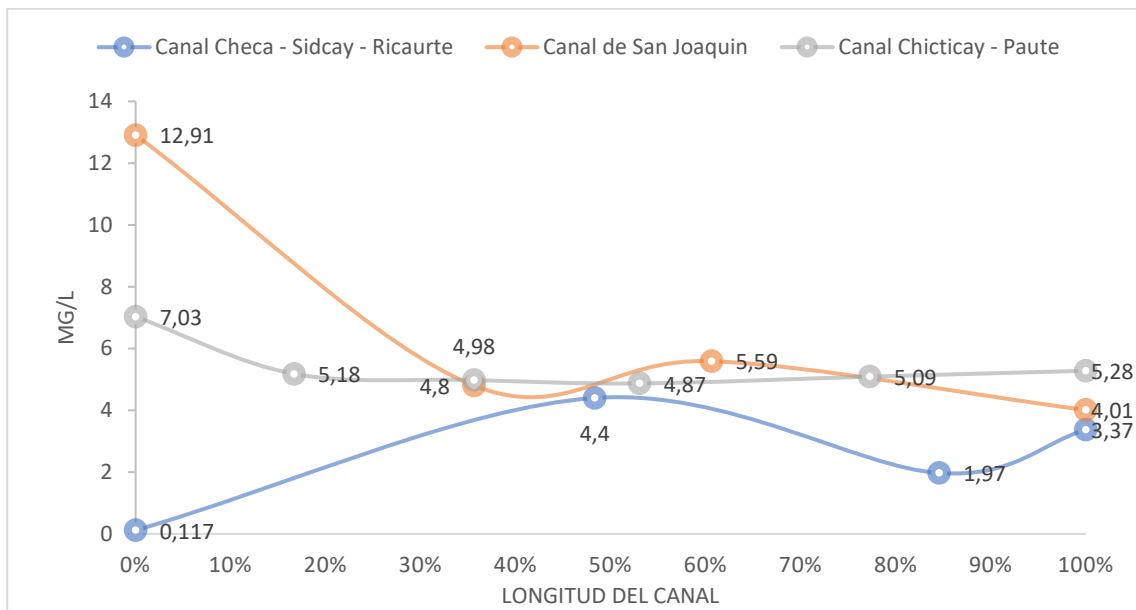
La presencia elevada de fosfatos en el agua puede desencadenar la proliferación de algas y la eutrofización, afectando negativamente la calidad del agua. En la figura 32, se revela el comportamiento de los niveles de fosfatos en los canales de riego.

El canal de Checa-Sidcay-Ricaurte sugiere la existencia de posibles fuentes puntuales de contaminación, especialmente notables en los puntos de muestreo 2 y 4, los cuales exhiben valores más elevados. Estos resultados podrían asociarse con diversas fuentes contaminantes, como vertidos industriales o agrícolas, que podrían estar contribuyendo significativamente a la presencia de fosfatos en dichos puntos.

En el caso del canal Chicticay-Paute, la variabilidad de los valores podría atribuirse a diversos factores, incluyendo cambios estacionales, prácticas agrícolas en curso, o descargas puntuales de contaminantes. Esta fluctuación en los niveles de fosfatos indica la necesidad de un análisis más detallado para discernir las fuentes específicas de contaminación y abordarlas de manera efectiva.

Por otro lado, el canal de San Joaquín presenta un pico inicial alto de 12.91 mg/l, sugiriendo una posible influencia industrial o de aguas residuales en este punto específico. Este valor elevado podría ser indicativo de la presencia de efluentes industriales o liberaciones de aguas residuales en las proximidades del punto de muestreo que está ubicado en la zona de Santa María de Sayausi, dicha zona acoge varias bodegas de productos que podrían influir en este valor alto de este parámetro, subrayando la importancia de investigar más a fondo las actividades industriales circundantes y su impacto en la calidad del agua.

Figura 32. Variación de los valores de fosfatos presentes en el agua de los canales de riego.



Este parámetro se correlaciona con otros, debido a que los altos niveles de fosfatos pueden afectar adversamente la calidad del agua al contribuir al crecimiento excesivo de algas y cianobacterias, lo que a su vez puede disminuir la concentración de oxígeno disuelto.

Además, la presencia de fosfatos puede influir en el equilibrio ácido-base del agua, alterando el pH. La evaluación de estos parámetros es esencial para comprender mejor la dinámica del agua y tomar medidas efectivas para minimizar la contaminación por fosfatos.

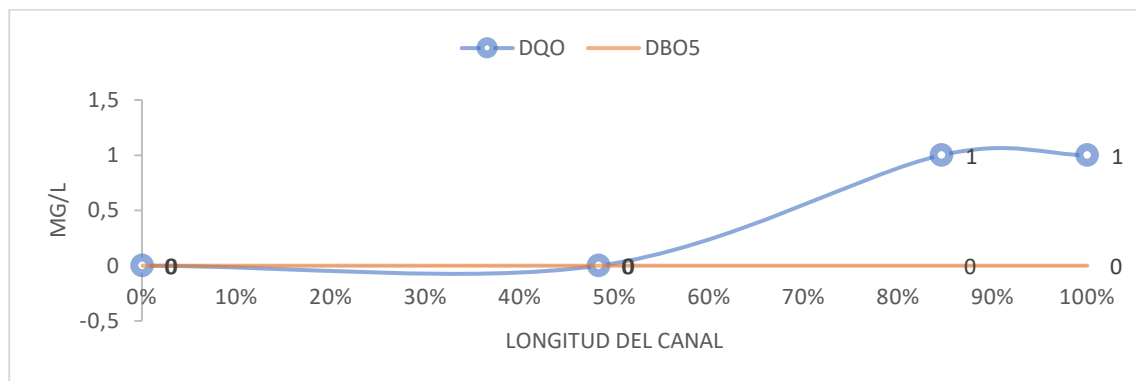
4.5.1.5 Demanda bioquímica de oxígeno

A continuación, en las figuras 33, 34 y 35 se analizan los resultados con respecto al DBO5 y DQO de las muestras analizadas, ya que estos parámetros están relacionados en la evaluación de la contaminación del agua. Mientras la DBO5 mide la carga orgánica biodegradable, la DQO evalúa la cantidad total de sustancias oxidables, incluyendo compuestos químicos no biodegradables, es importante destacar que los valores de DQO tienden a ser superiores a los de DBO5.

El análisis de los parámetros de DBO5 y DQO en los canales de riego revela patrones divergentes en los canales de Checa-Sidcay-Ricaurte, San Joaquín y Chicticay-Paute, señalando diferentes posibles variaciones en la calidad del agua, sin embargo, en el cálculo del ICA NSF solo se considera el parámetro de la DBO5.

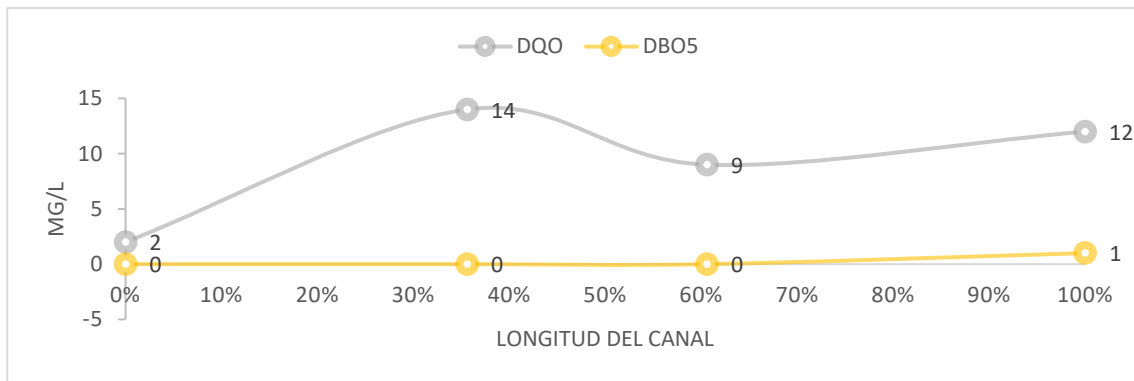
En el canal de Checa-Sidcay-Ricaurte, se registran valores de DBO5 de 0 a lo largo de su trayecto, lo que podría indicar que no existe la presencia de materia orgánica susceptible a ser degradada biológicamente, lo que requiere un análisis más detenido de las fuentes específicas de contaminación. No obstante, al llegar al final del canal, se detectan valores de DQO ligeramente superiores a 0, lo que infiere en que no existe materia orgánica e inorgánica susceptible a ser degradada químicamente.

Figura 33. Comportamiento del DBO5 y DQO en el canal de Checa-Sidcay-Ricaurte.



En el canal de San Joaquín, se presenta un comportamiento similar con respecto al canal de Checa-Sidcay-Ricaurte, por lo que en este canal también se sugiere una baja carga orgánica biodegradable, pero los valores variables en DQO que van desde los 2 mg/l hasta el punto más alto que es de 14 mg/l, indican una presencia fluctuante de contaminantes químicos. Estas variaciones podrían ser atribuidas a diversas fuentes, como descargas puntuales procedentes de actividades agrícolas, liberaciones industriales, o vertidos de agua de origen urbano.

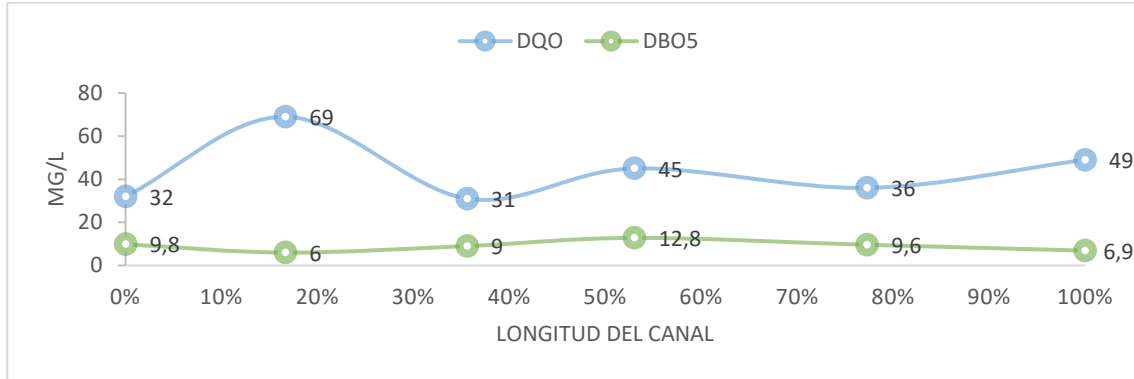
Figura 34. Comportamiento del DBO5 y DQO en el canal de San Joaquín.



En el canal de Chiticay-Paute, se detecta una variabilidad en los valores de DBO5, oscilando entre 6 mg/l hasta los 12.8 mg/l. Este comportamiento sugiere una carga orgánica variable y la posible presencia de contaminantes químicos a lo largo del canal. La variación en estos valores señala posibles cambios en la composición del agua, resultantes de descargas agrícolas, industriales o urbanas, así como de procesos naturales como la descomposición de materia orgánica.

Es fundamental comprender las implicaciones de los altos valores de DQO y DBO5 en el agua, ya que estos indican una mayor contaminación, con una mayor cantidad de compuestos orgánicos y químicos que requieren oxígeno para su descomposición. La detección de estos altos valores en el canal es un indicador crucial de una mayor contaminación, reflejando la presencia de compuestos que impactan negativamente en la calidad del agua (Mancilla Villa et al., 2017).

Figura 35. Comportamiento del DBO5 y DQO en el canal de Chicticay-Paute.



En algunos estudios, la DBO5 ha sido empleada como indicador de la calidad del agua en sistemas de riego, revelando valores que oscilan entre 10 mg/L y 100 mg/L. En términos generales, se interpreta que una DBO5 baja señala una menor contaminación orgánica en el agua, sin embargo, en normativa ecuatoriana no hay un valor definido para este parámetro.

Como un análisis adicional, se presenta en Barrenetxea et al., 2003, un método que involucra la DBO5 y DQO, en el cual se exhibe que la relación entre estos dos parámetros ofrece una idea sobre la naturaleza de los contaminantes orgánicos en el agua, proporcionando una evaluación completa de la carga orgánica y la biodegradabilidad, como a continuación se detalla:

- $DBO5/DQO < 0.2$, señalan la existencia mayoritaria de contaminantes orgánicos no biodegradables.
- $DBO5/DQO > 0.6$, señalan la existencia mayoritaria de contaminantes orgánicos de naturaleza biodegradable.

Como se demuestra en la tabla 33, en la mayoría de puntos de muestreo correspondiente a los canales de Checa-Sidcay-Ricaurte y de San Joaquín, se cumple la condición de $DBO5/DQO < 0.2$, esto sugiere la presencia predominante de contaminantes de naturaleza orgánica no biodegradable en las muestras de agua.

Como algunos ejemplos de este tipo de contaminantes pueden estar pesticidas y herbicidas persistentes utilizados en la agricultura, así también, como residuos de plaguicidas y fertilizantes agrícolas, así como también, la presencia de aceites, grasas y residuos plásticos no biodegradables provenientes de actividades agrícolas y ganaderas.

Sin embargo, en el canal de Chicticay-Paute, se evidencia valores de 0.3 en la relación DBO5/DQO, lo cual podría sugerir una presencia significativa de contaminantes orgánicos biodegradables, pero no en una proporción abrumadora. Este resultado podría indicar una combinación de sustancias biodegradables y no biodegradables en el agua, como algunos ejemplos, se podría incluir residuos orgánicos de la agricultura, como restos de cultivos y estiércol animal. También, desechos alimentarios y productos naturales descompuestos, los cuales podrían contribuir a la carga biodegradable del agua en estos entornos agrícolas.

Tabla 34. Relación DBO5/DQO

Muestras	Sistema de Riego	DBO5	DQO	Relación
1	Canal de San Joaquín	0	2	0,00
2		0	14	0,00
3		0	9	0,00
4		1	12	0,10
1	Canal Checa-Sidcay-Ricaurte	0	0	0,00
2		0	0	0,00
3		0	1	0,00
4		0	1	0,00
1	Canal Chicticay - Paute	9,8	32	0,30
2		6	69	0,10
3		9	31	0,30
4		12,8	45	0,30
5		9,6	36	0,30
6		6,9	49	0,10

Nota: Valores de DBO5 y DQO en mg/l

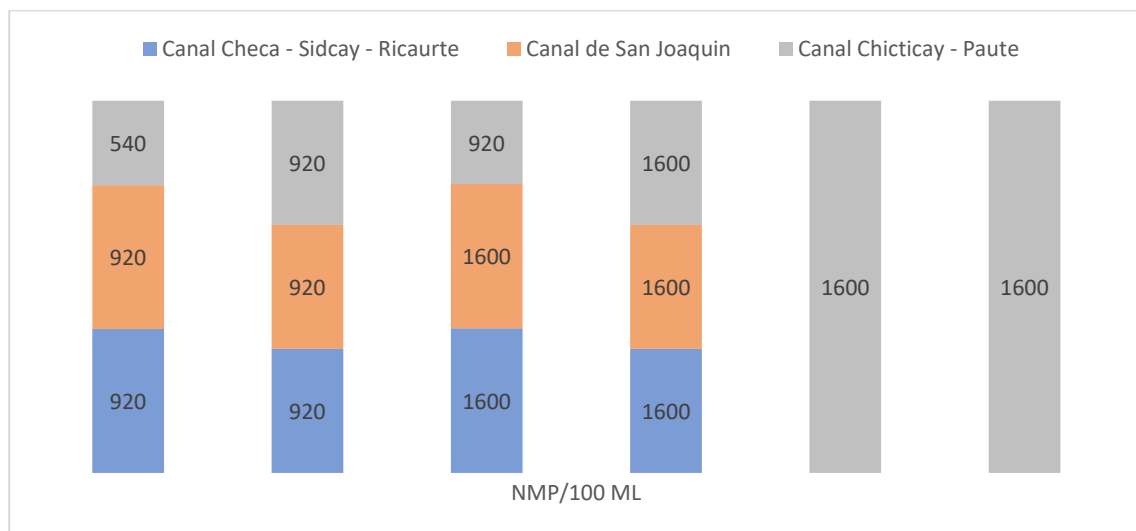
4.5.1.6 Coliformes fecales

Con respecto al análisis de los niveles de coliformes fecales (NMP/100ml) en los canales de riego, se revelan preocupantes variaciones y valores que exceden los límites establecidos por la normativa ecuatoriana para agua en sistemas de riego, el cual está fijado en 1000 NMP/100ml.

En el canal de Checa-Sidcay-Ricaurte y el canal de San Joaquín, los valores iniciales de 920 en los 2 primeros puntos de muestreo, seguidos por aumentos a más de 1600 en los siguientes puntos, lo cual indica una presencia constante y creciente de coliformes fecales. Esto podría deberse a descargas de aguas residuales no tratadas, prácticas agrícolas inadecuadas o contaminación de origen humano o animal en las zonas correspondientes a cada punto de muestreo como se evidencia en las problemáticas correspondientes en los Anexos 34 y 35.

En el canal de Chicticay-Paute, los valores oscilantes de 540 a 920 en las 3 primeras muestras y aumentos a más de 1600 en los puntos de muestreo 4, 5 y 6, señalando una variabilidad considerable. Esto podría indicar descargas intermitentes de contaminantes fecales, posiblemente relacionadas con actividades agrícolas o ganaderas.

Figura 36. Comportamiento de los coliformes fecales en los canales en estudio.



Los niveles elevados de coliformes fecales en los canales de riego pueden atribuirse a diversas fuentes y prácticas, tales como; descargas directas de aguas residuales de grupos de viviendas colindantes al canal, prácticas agrícolas inadecuadas como el uso excesivo de fertilizantes naturales como la gallinaza y pesticidas, además el acceso directo de animales al agua de riego agrega contaminantes fecales al sistema.

4.5.1.7 Diferencia de temperatura

El análisis de este parámetro se basa en las condiciones locales, reflejando su variabilidad. Los resultados se detallan en las tablas 16, 19 y 22.

4.5.1.8 Turbiedad

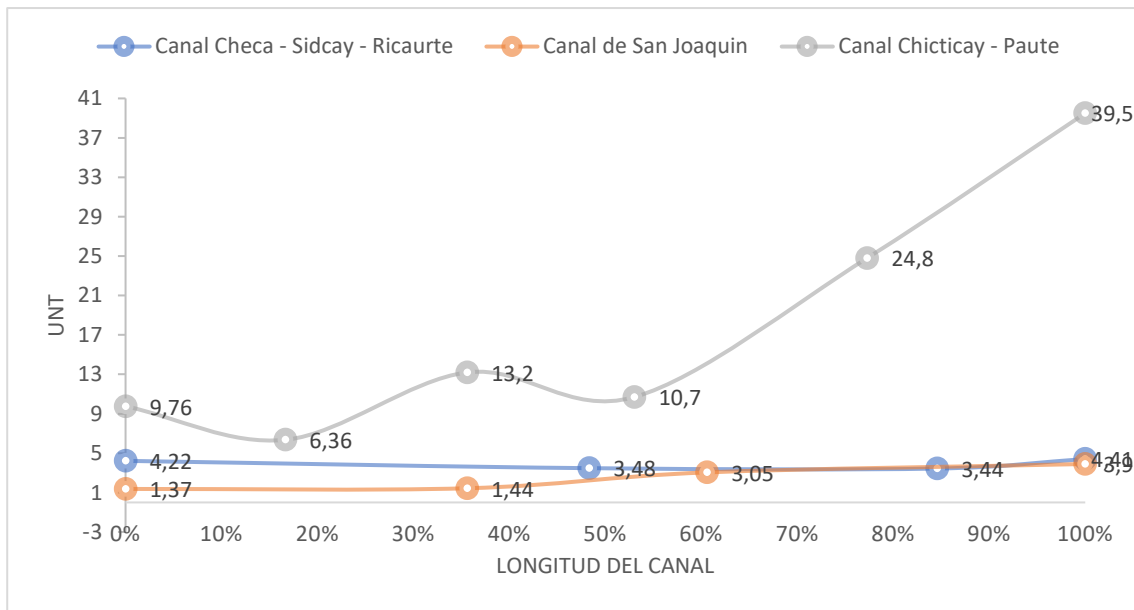
La figura 37 muestra el comportamiento de este parámetro, que es una medida directa de las partículas suspendidas. En el anexo 37 se detalla el registro de lluvias durante la toma de muestras.

En el canal de Checa-Sidcay-Ricaurte, se observa un comportamiento lineal con valores que varían desde 4.22 NTU hasta 4.41 NTU. Aunque esta variación es relativamente pequeña, puede sugerir una estabilidad en la turbiedad a lo largo de este canal, a su vez las posibles causas podrían incluir sedimentación natural, vegetación cercana o incluso actividad humana en las áreas circundantes. Aunque los valores se mantienen dentro de un rango moderado, es fundamental monitorear cualquier cambio para prevenir posibles problemas en la calidad del agua destinada para el riego.

En el canal de San Joaquín, los valores fluctúan entre 1.37 y 3.9 NTU. La variabilidad podría ser atribuible a factores estacionales, prácticas agrícolas cercanas o liberaciones puntuales. La presencia de partículas puede afectar la eficiencia de los sistemas de riego y, en casos extremos, comprometer la salud de los cultivos.

Por último, el canal de Paute muestra una variación significativa en la turbiedad, con valores que oscilan entre 6.36 NTU llegando a valores críticos de 39.5 NTU. Estos valores elevados podrían indicar la presencia de sedimentos finos, posiblemente provenientes de la erosión del suelo, desbordamientos de agua o actividades de construcción cercanas. Este aumento en la turbiedad puede tener consecuencias directas en la calidad del agua para riego, ya que partículas en suspensión pueden obstruir los sistemas de riego y afectar negativamente la salud de los cultivos.

Figura 37. Comportamiento de la turbiedad en los canales en estudio.



Resulta esencial abordar las posibles causas de la turbiedad en cada canal para garantizar un suministro de agua adecuado para la agricultura. Por lo que la implementación de medidas correctivas es importante para mantener la calidad del agua y preservar la eficacia de los sistemas de riego en cada uno de los canales analizados.

4.5.1.9 Sólidos disueltos totales

El análisis de este parámetro ya fue presentado en el inciso 4.4.1.2

4.5.2 Determinación del ICA NSF

La evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICA NSF) específico para cada canal se realiza multiplicando los valores de los parámetros previamente mencionados por sus respectivos pesos, como se detalla en la tabla 13, el resultado de este es comparada con los criterios generales según el índice ICA presentado en la tabla 12. Este procedimiento determina los siguientes resultados:

4.5.2.1 Sistema de riego de San Joaquín

Tabla 35. Resultado del ICA de la muestra 1 (Canal San Joaquín).

Parámetros		Muestra 1	Sub _i	W _i	Sub _i x W _i	ICA
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	920	22,4	0,143	3,2	47
pH	0	7,41	90,3	0,063	5,69	
DBO5	mg/L	0	100	0,096	9,6	
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	0,7	93,8	0,053	4,97	
Fosfatos (P-PO ₄ 3-)	mg/L	12,91	1	0,073	0,07	
Δ Temperatura	C	0,4	86,2	0,043	3,71	
Turbiedad	NTU	1,37	95,3	0,08	7,62	
Solidos Disueltos totales	mg/L	180	74,8	0,033	2,47	
Oxígeno disuelto	mg/L	8,08	90	0,103	9,27	

Nota: Los valores de Sub_i están definidos en el anexo 23.

Tabla 36. Resultado del ICA de la muestra 2 (Canal San Joaquín).

Parámetros		Muestra 2	Sub _i	W _i	Sub _i x W _i	ICA
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	920	22,4	0,143	3,2032	46
pH	0	7,22	91,2	0,063	5,7456	
DBO5	mg/L	0	100	0,096	9,6	
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	0,8	89,6	0,053	4,7488	
Fosfatos (P-PO ₄ 3-)	mg/L	4,8	13,8	0,073	1,0074	
Δ Temperatura	C	0,1	89,9	0,043	3,8657	
Turbiedad	NTU	1,44	94,8	0,08	7,584	
Solidos Disueltos totales	mg/L	360	51,8	0,033	1,7094	
Oxígeno disuelto	mg/L	7,71	81,5	0,103	8,3945	

Nota: Los valores de Sub_i están definidos en el anexo 24.

Tabla 37. Resultado del ICA de la muestra 3 (Canal San Joaquín).

Parámetros		Muestra 3	Sub _i	W _i	Sub _i x W _i	ICA
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	>1600	8,1	0,143	1,1583	44
pH	0	7,12	89	0,063	5,607	
DBO5	mg/L	0	100	0,096	9,6	
Nitratos (N-NO3)	mg/L	0,5	97,5	0,053	5,1675	
Fosfatos (P-PO4 3-)	mg/L	5,59	11,2	0,073	0,8176	
Δ Temperatura	C	0,2	89,7	0,043	3,8571	
Turbiedad	NTU	3,05	92,2	0,08	7,376	
Solidos Disueltos totales	mg/L	360	51,8	0,033	1,7094	
Oxígeno disuelto	mg/L	7,54	82,3	0,103	8,4769	

Nota: Los valores de Sub_i están definidos en el anexo 25.

Tabla 38. Resultado del ICA de la muestra 4 (Canal San Joaquín).

Parámetros		Muestra 4	Sub _i	W _i	Sub _i x W _i	ICA
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	>1600	8,1	0,143	1,1583	43
pH	0	7,13	89,05	0,063	5,61015	
DBO5	mg/L	1	89	0,096	8,544	
Nitratos (N-NO3)	mg/L	0,5	97,5	0,053	5,1675	
Fosfatos (P-PO4 3-)	mg/L	4,01	19,2	0,073	1,4016	
Δ Temperatura	C	0,0	92	0,043	3,956	
Turbiedad	NTU	3,9	90	0,08	7,2	
Solidos Disueltos totales	mg/L	380	49,6	0,033	1,6368	
Oxígeno disuelto	mg/L	7,3	80,2	0,103	8,2606	

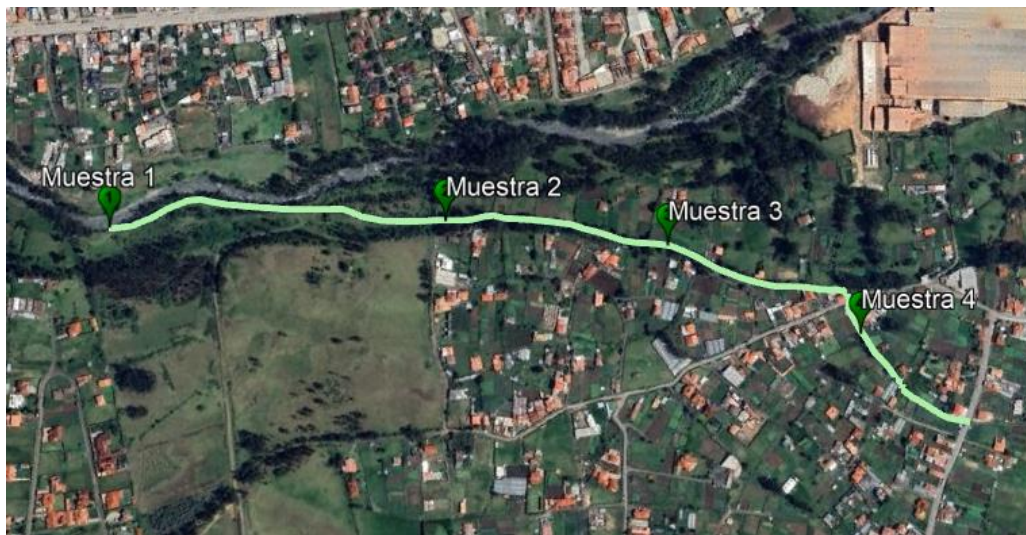
Nota: Los valores de Sub_i están definidos en el anexo 26.





Los resultados del Índice de Calidad del Agua (ICA) con respecto al canal de riego de San Joaquín (tabla 38), revelan una tendencia decreciente en su calidad, ubicando el agua en la categoría de "Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos" (ICA de 30 a 50). Este deterioro en la calidad del agua indica la posible acumulación de contaminantes o alteraciones en su composición química. En términos de su influencia en el suelo, estos descensos en el ICA indican que el agua puede estar afectando negativamente la salud del suelo. La presencia de sustancias que requieren

tratamiento podría impactar la fertilidad y estructura del suelo, comprometiendo su capacidad para sustentar cultivos de manera óptima.

En cuanto a la distribución del agua, la necesidad de tratamiento para la mayoría de los cultivos sugiere que, si bien el agua puede ser utilizable, podría contener impurezas que podrían afectar la eficiencia del riego.

Tabla 39. ICA Sistema de riego San Joaquín.



Muestra	ICA	Categoría	Uso: Riego Agrícola	Escala de calidad del agua	Código
1	47	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	C	Contaminada	
2	46	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	C	Contaminada	
3	44	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	C	Contaminada	
4	43	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	C	Contaminada	

Nota: Para corroborar los resultados ver tabla 12.

El agua que circula en este canal de riego, se caracteriza como “Contaminada”, con una clasificación general del sistema de riego como "Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos", lo cual indica que el sistema de riego es eficaz y apto para la mayoría de los cultivos en la región. No obstante, es importante destacar que la supervisión y la gestión adecuada del agua es esencial para garantizar su eficiencia y minimizar el impacto negativo en el entorno.

4.5.2.2 Sistema de riego de Checa-Sidcay-Ricaurte

Tabla 40. Resultado del ICA de la muestra 1 (Canal Checa-Sidcay-Ricaurte).

Parámetros		Muestra 1	Sub _i	W _i	Sub _i x W _i	ICA
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	920	22,4	0,143	3,20	45
pH	unidades de pH	8,04	82,6	0,063	5,20	
DBO5	mg/L	0	100	0,096	9,60	
Nitratos (N-NO3)	mg/L	0,3	98,5	0,053	5,22	
Fosfatos (P-PO4 3-)	mg/L	0,117	99,7	0,073	7,28	
Δ Temperatura	C	1,1	78,4	0,043	3,37	
Turbiedad	NTU	4,22	89,1	0,08	7,13	
Solidos Disueltos totales	mg/L	580	3	0,033	0,10	
Oxígeno disuelto	mg/L	7,23	47	0,103	4,84	

Nota: Los valores de Sub_i están definidos en el anexo 19.

Tabla 41. Resultado del ICA de la muestra 2 (Canal Checa-Sidcay-Ricaurte).

Parámetros		Muestra 2	Sub _i	W _i	Sub _i x W _i	ICA
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	920	22,4	0,143	3,20	39
pH	unidades de pH	10,05	19,4	0,063	1,22	
DBO5	mg/L	0	100	0,096	9,60	
Nitratos (N-NO3)	mg/L	0,2	99	0,053	5,25	
Fosfatos (P-PO4 3-)	mg/L	4,4	14,6	0,073	1,07	
Δ Temperatura	C	0,3	89,2	0,043	3,84	
Turbiedad	NTU	3,48	91	0,08	7,28	
Solidos Disueltos totales	mg/L	1940	3	0,033	0,10	
Oxígeno disuelto	mg/L	7,28	79,6	0,103	8,20	

Nota: Los valores de Sub_i están definidos en el anexo 20.

Tabla 42. Resultado del ICA de la muestra 3 (Canal Checa-Sidcay-Ricaurte).

Parámetros		Muestra 3	Sub _i	W _i	Sub _i x W _i	ICA
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	>1600	8,1	0,143	1,16	38
pH	unidades de pH	9,96	21,2	0,063	1,34	
DBO5	mg/L	0	100	0,096	9,60	
Nitratos (N-NO3)	mg/L	0,2	99	0,053	5,25	
Fosfatos (P-PO4 3-)	mg/L	1,97	27,4	0,073	2,00	
Δ Temperatura	C	1,3	78,05	0,043	3,36	
Turbiedad	NTU	3,44	91,7	0,08	7,34	
Solidos Disueltos totales	mg/L	760	3	0,033	0,10	
Oxígeno disuelto	mg/L	7,23	82,3	0,103	8,48	

Nota: Los valores de Sub_i están definidos en el anexo 21.

Tabla 43. Resultado del ICA de la muestra 4 (Canal Checa-Sidcay-Ricaurte).

Parámetros		Muestra 4	Sub _i	W _i	Sub _i x W _i	ICA
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	>1600	8,1	0,143	1,1583	38
pH	unidades de pH	9,62	25,7	0,063	1,6191	
DBO5	mg/L	0	100	0,096	9,6	
Nitratos (N-NO3)	mg/L	0,4	98	0,053	5,194	
Fosfatos (P-PO4 3-)	mg/L	3,37	20,9	0,073	1,5257	
Δ Temperatura	C	0,0	92	0,043	3,956	
Turbiedad	NTU	4,41	88,7	0,08	7,096	
Solidos Disueltos totales	mg/L	1920	3	0,033	0,099	
Oxígeno disuelto	mg/L	7,35	81,2	0,103	8,3636	

Nota: Los valores de Sub_i están definidos en el anexo 22.





El canal de riego de Checa-Sidcay-Ricaurte, revela una disminución progresiva en la calidad del agua. Según las categorías establecidas, estos valores indican que el agua al igual del caso del canal de San Joaquín, se encuentra en el rango de "Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos" (ICA de 30 a 50). Este descenso podría estar relacionado con la acumulación de contaminantes o cambios en la composición química del agua. En relación con su influencia en el suelo, estos descensos en el ICA sugieren que el agua puede estar afectando negativamente la salud del suelo.

En cuanto a la distribución del agua y al representar el mismo caso que en el canal de San Joaquín, se evidencia la necesidad de un tratamiento para la mayoría de los cultivos indica que, aunque el agua es utilizable, podría contener impurezas que afectarían la eficiencia del riego.

En la tabla 43 se evidencia el comportamiento del ICA a lo largo de este canal, de modo que se promueva la necesidad de realizar una evaluación minuciosa de las fuentes de contaminación y llevar a cabo acciones correctivas en la clasificación del canal de riego.

Tabla 44. ICA Sistema de riego Checa-Sidcay-Ricaurte.



Muestra	ICA	Categoría	Uso: Riego Agrícola	Escala de calidad del agua	Código
1	45	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	C	Contaminada	
2	39	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	C	Contaminada	
3	38	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	C	Contaminada	
4	38	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	C	Contaminada	

Nota: Para corroborar los resultados ver tabla 12.

El agua del canal de riego Checa-Sidcay-Ricaurte se ha catalogado como "contaminada", lo que lleva a una evaluación general del sistema como necesitado de "tratamiento para la mayoría de los cultivos", similar al caso del canal San Joaquín. Ante la fuerte contaminación presente en este canal, es necesario realizar una evaluación detallada de las fuentes de contaminación para identificar con precisión los agentes contaminantes.

4.5.2.3 Sistema de riego Chicticay-Paute.

Tabla 45. Resultado del ICA de la muestra 1 (Canal Chicticay-Paute).

Parámetros		Muestra 1	Sub _i	W _i	Sub _i x W _i	ICA
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	540	26	0,143	3,718	32
pH		7,85	88,5	0,063	5,5755	
DBO5	mg/L	9,8	36,6	0,096	3,5136	
Nitratos (N-NO3)	mg/L	1,6	85,3	0,053	4,5209	
Fosfatos (P-PO4 3-)	mg/L	7,03	8,9	0,073	0,6497	
Δ Temperatura	C	0,4	86,2	0,043	3,7066	
Turbiedad	NTU	9,76	78,8	0,08	6,304	
Solidos Disueltos totales	mg/L	1140	3	0,033	0,099	
Oxígeno disuelto	mg/L	6,36	47	0,103	4,841	

Nota: Los valores de Sub_i están definidos en el anexo 27.

Tabla 46. Resultado del ICA de la muestra 2 (Canal Chicticay-Paute).

Parámetros		Muestra 2	Sub _i	W _i	Sub _i x W _i	ICA
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	920	22,4	0,143	3,2032	37
pH		7,59	91,2	0,063	5,7456	
DBO5	mg/L	6	50	0,096	4,8	
Nitratos (N-NO3)	mg/L	1,6	85,3	0,053	4,5209	
Fosfatos (P-PO4 3-)	mg/L	5,18	12,3	0,073	0,8979	
Δ Temperatura	C	0,6	81,2	0,043	3,4916	
Turbiedad	NTU	6,36	81,3	0,08	6,504	
Solidos Disueltos totales	mg/L	940	3	0,033	0,099	
Oxígeno disuelto	mg/L	7,25	84,8	0,103	8,7344	

Nota: Los valores de Sub_i están definidos en el anexo 28.

Tabla 47. Resultado del ICA de la muestra 3 (Canal Chicticay-Paute).

Parámetros		Muestra 3	Sub _i	W _i	Sub _i x W _i	ICA
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	920	22,4	0,143	3,2032	32
pH	0	7,35	89,7	0,063	5,6511	
DBO5	mg/L	9	36,5	0,096	3,504	
Nitratos (N-NO3)	mg/L	1,6	85,3	0,053	4,5209	
Fosfatos (P-PO4 3-)	mg/L	4,98	12,9	0,073	0,9417	
Δ Temperatura	C	0,2	89,7	0,043	3,8571	
Turbiedad	NTU	13,2	73,2	0,08	5,856	
Solidos Disueltos totales	mg/L	740	3	0,033	0,099	
Oxígeno disuelto	mg/L	3,85	47	0,103	4,841	

Nota: Los valores de Sub_i están definidos en el anexo 29.

Tabla 48. Resultado del ICA de la muestra 4 (Canal Chicticay-Paute).

Parámetros		Muestra 4	Sub _i	W _i	Sub _i x W _i	ICA
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	>1600	8,1	0,143	1,1583	29
pH	0	7,3	89,5	0,063	5,6385	
DBO5	mg/L	12,8	25,6	0,096	2,4576	
Nitratos (N-NO3)	mg/L	1,5	85,2	0,053	4,5156	
Fosfatos (P-PO4 3-)	mg/L	4,87	13,6	0,073	0,9928	
Δ Temperatura	C	0,6	83,1	0,043	3,5733	
Turbiedad	NTU	10,7	77,9	0,08	6,232	
Solidos Disueltos totales	mg/L	1040	3	0,033	0,099	
Oxígeno disuelto	mg/L	3,78	47	0,103	4,841	

Nota: Los valores de Sub_i están definidos en el anexo 30.

Tabla 49. Resultado del ICA de la muestra 5 (Canal Chicticay-Paute).

Parámetros		Muestra 5	Sub _i	W _i	Sub _i x W _i	ICA
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	>1600	8,1	0,143	1,1583	29
pH		7,23	91,21	0,063	5,74623	
DBO5	mg/L	9,6	36,58	0,096	3,51168	
Nitratos (N-NO3)	mg/L	1,6	85,3	0,053	4,5209	
Fosfatos (P-PO4 3-)	mg/L	5,09	12,6	0,073	0,9198	
Δ Temperatura	C	0,2	89,7	0,043	3,8571	
Turbiedad	NTU	24,8	57,7	0,08	4,616	

Sólidos Disueltos totales	mg/L	680	3	0,033	0,099	
Oxígeno disuelto	mg/L	4,11	47	0,103	4,841	

Nota: Los valores de Sub_i están definidos en el anexo 31.

Tabla 50. Resultado del ICA de la muestra 6 (Canal Chicticay-Paute).

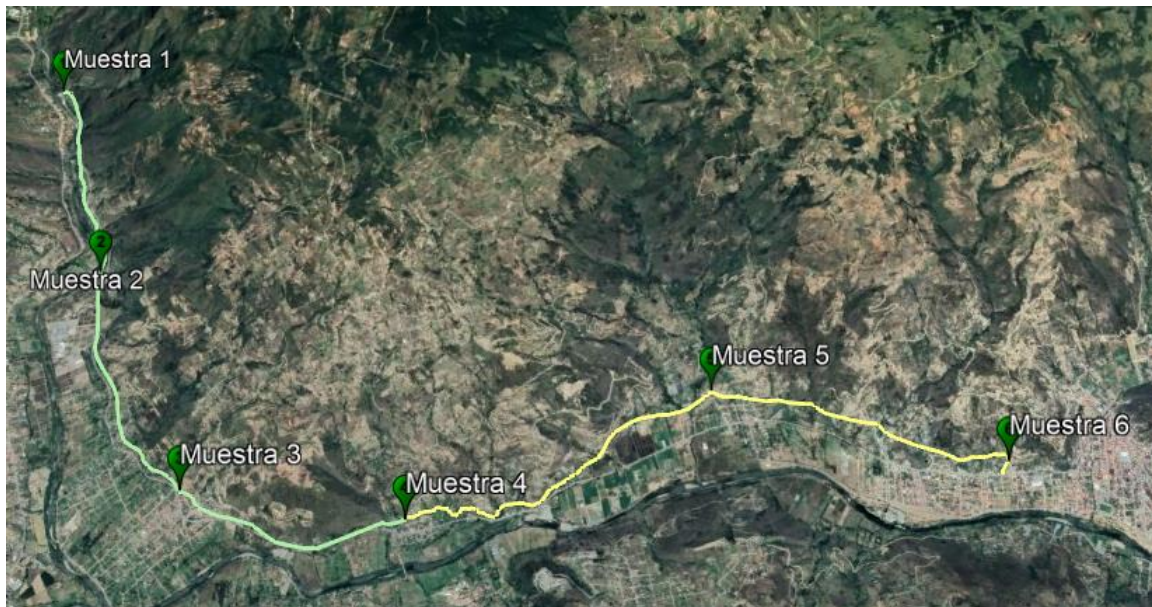
Parámetros		Muestra 6	Sub_i	W_i	$Sub_i \times W_i$	ICA
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	>1600	8,1	0,143	1,1583	28
pH		7,66	89,6	0,063	5,6448	
DBO5	mg/L	6,9	43,2	0,096	4,1472	
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	1,9	82,1	0,053	4,3513	
Fosfatos (P-PO ₄ 3-)	mg/L	5,28	12	0,073	0,876	
Δ Temperatura	C	0,3	89,2	0,043	3,8356	
Turbiedad	NTU	39,5	47,3	0,08	3,784	
Sólidos Disueltos totales	mg/L	740	3	0,033	0,099	
Oxígeno disuelto	mg/L	7,03	47	0,103	4,841	







Nota: Los valores de Sub_i están definidos en el anexo 32.

El análisis del Índice de Calidad del Agua (ICA) en el canal de riego de Chicticay-Paute, según la tabla 50, muestra una tendencia variable. Según las categorías establecidas, el ICA se encuentra mayormente en el rango de "Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos" (valores entre 30 y 50), lo que sugiere que el agua es adecuada para la mayoría de los cultivos en los puntos de muestreo 1, 2 y 3.

Sin embargo, en los puntos de muestreo 4, 5 y 6, este se encuentra en la categoría de "Solo para cultivos muy resistentes", indicando áreas críticas de contaminación. Esto pone de manifiesto la urgente necesidad de tomar medidas de control en dichos puntos para mitigar esta clasificación del agua y garantizar la seguridad y eficacia del riego en toda la zona afectada.

Tabla 51. ICA Sistema de riego Chicticay-Paute.



Muestra	ICA	Categoría	Uso: Riego Agrícola	Escala de calidad del agua	Código
1	32	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	C	Contaminada	
2	37	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	C	Contaminada	
3	32	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	C	Contaminada	
4	29	Solo para cultivos muy resistentes	FC	Fuertemente contaminada	
5	29	Solo para cultivos muy resistentes	FC	Fuertemente contaminada	
6	28	Solo para cultivos muy resistentes	FC	Fuertemente contaminada	

Nota: Para corroborar los resultados ver tabla 12.

En el ámbito de la ingeniería civil, para abordar la necesidad de evaluación detallada de las fuentes de contaminación y la implementación de medidas correctivas en la categorización de los canales de riego como se muestran en las tablas 38,43 y 50 se propone un enfoque integral. Inicialmente, se sugiere realizar un muestreo exhaustivo y análisis químicos específicos para identificar con precisión los contaminantes presentes en el agua de estos canales. Un estudio hidrogeológico detallado sería esencial para comprender la interacción entre el agua las capas subterráneas, revelando posibles fuentes de contaminación subterránea.

Además, la implementación de sistemas de monitoreo continuo de la calidad del agua permitiría una respuesta rápida a eventos de contaminación. Además, la introducción estratégica de sistemas de filtración y tratamiento en puntos clave de los canales, junto con la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y la gestión adecuada de residuos, son pasos fundamentales para mitigar los impactos negativos en la calidad del agua y la salud del suelo. Estas medidas colectivas asegurarían un enfoque integral para preservar la sostenibilidad del sistema de riego.

4.6 Problemáticas en la calidad del suelo a partir de la calidad del agua.

A continuación, se explorarán las problemáticas que surgen en la calidad del suelo como consecuencia directa de la calidad del agua utilizada en sistemas de riego. Este análisis detallado busca examinar las complejas interacciones entre los diversos parámetros del agua y su impacto en la calidad del suelo.

Los sistemas de riego estudiados albergan diversos cultivos, como se detalla en el anexo 33, fundamentales para el desarrollo agrícola local, por lo que resulta importante comprender cómo las características del agua afectan la fertilidad y los sistemas radiculares de los cultivos.

Según se expone Ayers & I. Westcot, s. f., los principales problemas de un suelo, mediante los cuales se analizan los impactos de la calidad del agua, son los relacionados con la salinidad, la tasa de infiltración del agua en el suelo, toxicidad de iones y diversas complicaciones adicionales. Estos factores también están alineados con la normativa ecuatoriana TULSMA.

4.6.1 Salinidad

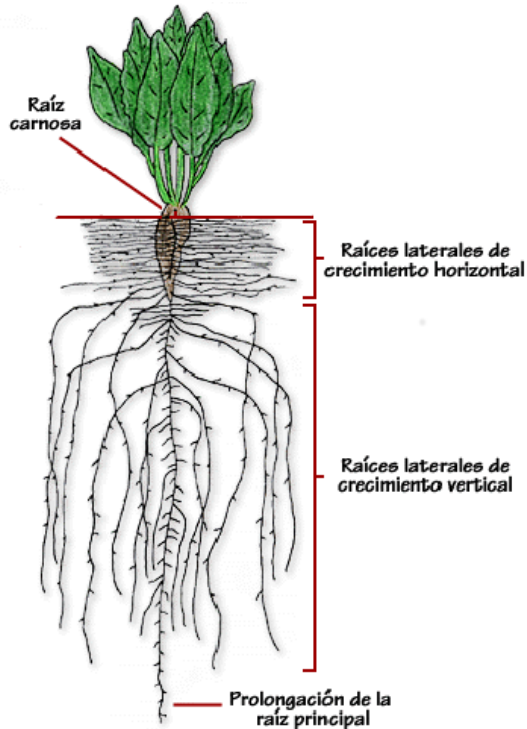
La salinidad se convierte en un problema cuando las sales se acumulan en la zona radicular (figura 38) a concentraciones que generan pérdidas en la producción agrícola. Estas sales provienen de dos posibles tipos de fuentes; el agua de riego o una capa freática elevada. Como se muestra en la figura 39, el rendimiento de los cultivos disminuye cuando el contenido de sales en la solución suelo impide que las plantas extraigan suficiente agua de la zona radicular ya que tiende a formarse costras que bloquean poros, resultando en un estado prolongado de escasez de agua para las plantas ya que la permeabilidad del suelo disminuye (Ayers & I. Westcot, s. f.).

Las sales que ocasionan este problema se clasifican como solubles y se transportan fácilmente en el agua de los canales de riego, y una parte de ellas acumulada en el suelo debido a riegos anteriores puede desplazarse por debajo de la zona radicular. Este proceso se activa al aplicar una cantidad de agua mayor que la requerida por el cultivo durante su periodo vegetativo. Además, es esencial considerar que la salinidad promedio del agua en la zona radicular representa el nivel que las plantas deben tolerar, siendo su medición directa un desafío considerable.

Desde otro punto de vista, la salinidad también se asocia con respecto a la presencia de niveles freáticos a poca profundidad, en donde, las sales que han sido acumuladas en la capa freática ascienden hacia la zona radicular, sin embargo, este estudio solo se centra en la salinidad causada por el agua que circula por los canales de riego, también conocido como riego superficial.

Figura 38. Zona radicular de una planta.

Fuente: <https://shre.ink/ri4s>.



Se debe considerar, que, en un sistema de riego, el impacto de la salinidad se vincula directamente a la acumulación de sales en las zonas radicales de los cultivos. En este contexto, se puede establecer una relación significativa entre este fenómeno y la concentración de sólidos disueltos en el agua, ya que estos últimos afectan la disponibilidad del agua para las plantas.

Para una comprensión más detallada, se proporcionan a continuación diversos tipos de respuestas de los cultivos en relación con la concentración de sólidos disueltos totales en tabla 51 y en consecuencia, a esta, se expone en la figura 39, donde se define la tolerancia de los cultivos ante diferentes niveles de salinidad.

Tabla 52. Influencia de la salinidad en las cosechas.

Fuente: (Ayers & I. Westcot, s. f.).

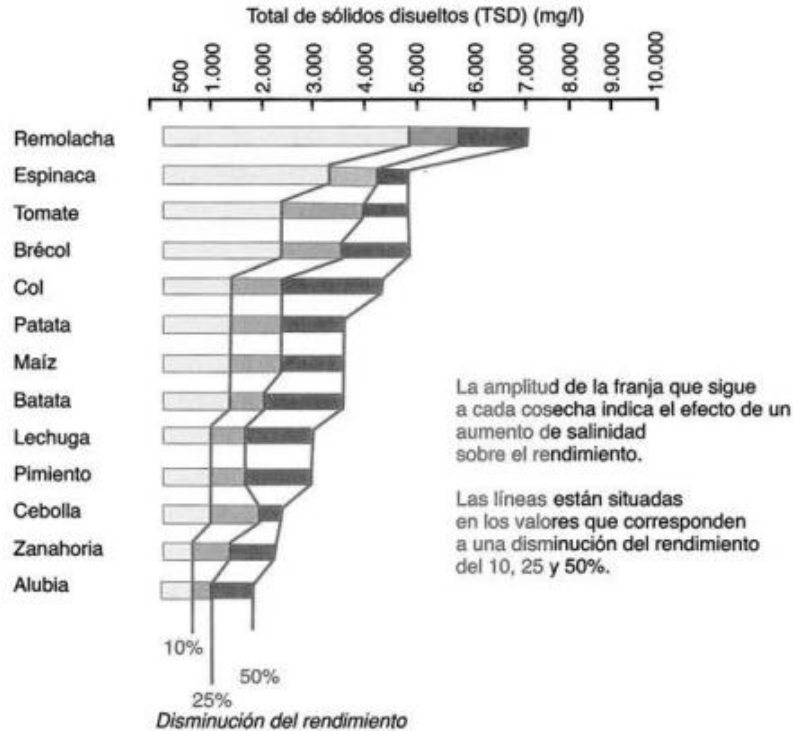
Total de sólidos disueltos (mg/l)	Respuesta de las cosechas
< 500	No se observan efectos perjudiciales
500 - 1000	Posibles efectos perjudiciales en cultivos sensibles
1000 - 2000	Efectos nocivos sobre muchas cosechas, se precisan practicas cuidadosas para su empleo.
2000 - 5000	Solo puede utilizarse en plantas tolerantes a la sal en suelos permeables y además se precisan practicas cuidadosas para su empleo

El análisis de la figura 39 revela que ciertos cultivos, como la remolacha, espinaca, tomate, brócoli y col, muestran una disminución del 50% en su rendimiento cuando están expuestos a niveles de sólidos disueltos totales que oscilan entre 4000 y 7000 mg/l. Sin embargo, en la zona donde se encuentran los canales de riego, predominan los cultivos de lechuga, papas y maíz, los cuales experimentan una reducción del 50% en su rendimiento ante la presencia de sólidos disueltos totales que varían entre 3000 y 3500 mg/l.

Por ejemplo, en San Joaquín, las verduras y las papas son los cultivos predominantes, con numerosos huertos familiares que abastecen a las familias localmente. Sin embargo, el aumento de la salinidad y la contaminación del suelo reduce la productividad. Como respuesta, los agricultores aplican más abonos químicos y orgánicos, como la gallinaza. Lamentablemente, estos compuestos, junto con la lluvia, contribuyen a la contaminación de los canales de agua. Es un ciclo de contaminación que afecta tanto al suelo como al agua.

Figura 39. Tolerancia a la salinidad de algunos ejemplos de cultivos.

Fuente: (Ayers & I. Westcot, s. f.).



4.6.2 Infiltración del Agua.

La problemática de la infiltración se basa en la velocidad con que el agua atraviesa la superficie del suelo, sin embargo, esta también varía según la calidad del agua y otros factores del suelo, como estructura, compactación, contenido de materia orgánica y propiedades químicas, como un resultado de esta problemática, es que el agua permanece en la superficie del suelo por períodos prolongados o se infiltra lentamente, lo cual ocasiona que los cultivos no reciban el agua necesaria o al contrario, lleguen a un punto de saturación de la misma.

Las complicaciones de infiltración atribuidas a la baja calidad del agua suelen impactar principalmente los primeros centímetros del suelo, y están ligadas a la estabilidad estructural y la relación entre el sodio y el calcio. El riego con aguas que contienen un alto nivel de sodio conduce

a su acumulación en los primeros centímetros del suelo. Como resultado, los agregados en esta capa superficial se desintegran en partículas más pequeñas, lo que obstruye los poros del suelo.

Este problema también puede ser causado por un contenido extremadamente bajo de calcio. En algunos casos, las aguas con bajo contenido de sales originan el mismo problema, pero más como resultado de su naturaleza corrosiva que del contenido de sodio en el agua o en el suelo.

Los factores de calidad del agua que suelen afectar la infiltración están relacionados con la salinidad del agua y la proporción de sodio en relación con los contenidos de calcio y magnesio. Una alta salinidad acelera la velocidad de infiltración, mientras que una baja salinidad o una alta RAS, la reduce (Ayers & I. Westcot, s. f.).

Independientemente del valor del RAS, las aguas con una salinidad muy baja (conductividad por debajo de 0.2 dS/m) inevitablemente generan problemas de infiltración. Adicionalmente, es necesario considerar como un factor externo que la dispersión del suelo y la destrucción de su estructura solo se manifiestan cuando el contenido de sodio supera al de calcio en una proporción superior a 3:1. Este contenido relativo de sodio conlleva a problemas significativos de infiltración, de manera similar a una salinidad muy baja del agua, debido a la insuficiencia de calcio para contrarrestar los efectos dispersantes del sodio.

4.1.1 Criterios de tratamiento para aguas en canales de riego

Según los resultados presentados, es evidente que la presencia de coliformes fecales en los canales de riego demuestran un comportamiento preocupante al situarse fuera de los límites permitidos, ya que la presencia de estos, indica una posible contaminación microbiológica, lo que plantea un riesgo para la calidad de los productos agrícolas (Carrera González, 2011).

Abordar estas problemáticas requiere de medidas para mejorar la gestión y tratamiento del agua en los canales de riego, incluyendo la implementación de prácticas de manejo adecuadas de modo que el agua utilizada para el riego cumpla con los estándares de calidad requeridos.

El "Manual de desinfección de aguas" expuesto por el laboratorio de Hidrología Ambiental de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción y de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), proporciona una guía detallada sobre técnicas y procedimientos para desinfectar el agua, con un enfoque en la reducción de coliformes fecales. Este recurso es invaluable para comprender y aplicar prácticas efectivas de desinfección que contribuyan a la protección de la salud pública y al mejoramiento de la calidad del agua utilizada en sistemas de riego agrícola (*Manual de desinfección de aguas de riego usando fotocatalizadores activados por la luz solar e inmovilizados en revestimientos de canales*, 2009).

La Norma Chilena y la normativa ecuatoriana mediante el acuerdo ministerial 097-A, utilizan la concentración de coliformes fecales como un indicador de calidad microbiológica. Esta normativa establece un límite permisible que especifica que la concentración de coliformes fecales debe ser igual o menor a 1.000 Coliformes Fecales por cada 100 mililitros de agua (Anexo 4). Este límite se aplica a las aguas de riego destinadas al cultivo.

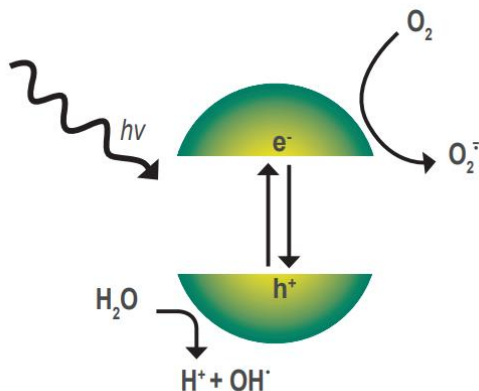
Para mitigar esta problemática, el sector agrícola puede recurrir al desarrollo de tecnologías de desinfección que sean económicas y fáciles de mantener, de modo que estén al alcance de la mayoría de los productores, sin importar el tamaño de su producción (*Manual de desinfección de aguas de riego usando fotocatalizadores activados por la luz solar e inmovilizados en revestimientos de canales*, 2009).

En este contexto, una opción viable para la disminución de coliformes fecales es la aplicación de la fotocatalisis solar. Este método aprovecha la energía solar para activar procesos químicos que eliminan microorganismos patógenos del agua, ofreciendo así una solución eficiente y sostenible para garantizar la calidad del agua utilizada en la agricultura.

El mecanismo de acción de este sistema de desinfección de aguas se basa en la promoción de la oxidación de los componentes constituyentes de la membrana celular de las bacterias, lo que produce un desorden celular debido a fallos en su membrana (Ver figura 40). Estas alteraciones conducen a la muerte de los microorganismos, causada por problemas en la actividad respiratoria y el colapso de la pared celular. La fotocatalisis se enmarca dentro de los Procesos Avanzados de Oxidación (PAO) y utiliza principalmente dióxido de titanio (TiO_2) como catalizador.

Figura 40. Activación del fotocatalizador mediante radiación.

Fuente: <https://shre.ink/8P3m>.



En resumen, el uso de agua tratada mediante fotocatalisis solar es una opción prometedora para diversas aplicaciones, pero su efectividad está estrechamente ligada a las condiciones iniciales del agua. Para que esta técnica funcione correctamente, es crucial que el agua cumpla con ciertos parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

En primer lugar, el agua debe ser clara y transparente para permitir la penetración de la luz solar, necesaria para activar la fotocatalisis. Una baja concentración de sólidos suspendidos evita la obstrucción del catalizador y maximiza su eficiencia. También se deben minimizar los contaminantes químicos, como metales pesados o pesticidas, que podrían interferir con el proceso. Por último, es preferible que el agua tenga una baja carga microbiológica para maximizar la efectividad y reducir el riesgo de contaminación bacteriana.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según el análisis de los resultados obtenidos en los sistemas de riego de San Joaquín, Checa-Sidcay-Ricaurte y Chicticay-Paute, se observa que la mayoría de parámetros tanto físicos, químicos y microbiológicos muestran un comportamiento acorde a las condiciones específicas de cada tramo de canal, por lo que, los criterios admisibles expuestos en la normativa ecuatoriana ayudan a caracterizar el cómo, la presencia de valores fuera del rango admisible puede influir en la calidad del suelo.

La evaluación de la salinidad del canal de San Joaquín revela un grado de restricción actualmente catalogado como "Ninguno" en cuanto al uso del agua circulante, debido a los valores obtenidos de conductividad, con 2.8 milimhos/cm su valor más alto, junto con una concentración de sólidos disueltos totales de 380 mg/L en el punto de distribución, muestran que el agua de este canal actualmente se mantiene dentro de rangos aceptables para el cultivo, lo que garantiza una adecuada disponibilidad de agua para las plantas. Además, con respecto a la tasa de infiltración del agua en el suelo se presentan valores de RAS de 3.6 y una dureza del agua de 70 ppm, la cual la clasifica como "Agua blanda", apoyando la idea de que el agua en este canal es adecuada y apropiada para la actividad de riego.

La evaluación de la salinidad del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte revela una variación significativa en los grados de restricción. Aunque los bajos valores de conductividad (0.13 milimhos/cm) sugieren un grado de restricción de "Ninguno", la presencia de sólidos disueltos, especialmente en los puntos de muestreo 2 y 4 con valores de 1940 y 1920 mg/L respectivamente, indican un cambio en la factibilidad del uso del agua en riego a "Ligero a Moderado".

Además, los valores de RAS en estos mismos puntos (17.15 y 17.53), junto con la dureza del agua (80 ppm), clasificada como "Agua moderadamente dura", indican un grado de restricción "Severo" en la tasa de infiltración del agua en el suelo. Esta situación representa una problemática significativa debido a los altos niveles de estos parámetros en el agua, lo que indirectamente resultará en una reducción en el rendimiento de los cultivos.

El análisis de la salinidad y la tasa de infiltración del agua en el suelo realizado en el canal de Chicticay-Paute revela un grado de restricción que tiende hacia "Ligero a Moderado". Esto se debe a los valores de conductividad y sólidos disueltos presentes a lo largo del canal. Además, se observan variaciones en la tasa de infiltración, especialmente en el punto de muestreo 4, lo que sugiere la presencia de casos atípicos en los niveles de sólidos disueltos totales o conductividad eléctrica en dicho punto.

En el canal de San Joaquín, se observa un ICA promedio de 45, lo que indica que el agua en circulación se encuentra en la categoría de "Contaminada". En relación con su uso, se sugiere que el agua requiere "Tratamiento para la mayoría de cultivos". Esta evaluación destaca la necesidad de implementar medidas para mejorar la calidad del agua en el canal, como el tratamiento adecuado antes de su uso en actividades agrícolas, con el fin de proteger la salud de los cultivos y optimizar su rendimiento.

En el caso del canal de Checa-Sidcay-Ricaurte, este contiene un ICA promedio de 40, sin embargo, se observa un comportamiento descendente en la calidad del agua a lo largo del canal, comenzando en 45 en su punto de captación, luego disminuyendo a 39 en el punto de muestreo y finalmente se mantiene en 38 hasta su punto de distribución, lo que sugiere un deterioro progresivo en la calidad

del agua a lo largo del canal. En cuanto al uso del agua, se encuentra en la misma categoría que el caso anterior, lo que implica que aún requiere "Tratamiento para la mayoría de cultivos".

En el caso del canal de Chicticay-Paute, este presenta con un ICA promedio de 31, se observa un patrón variable en la calidad del agua a lo largo de su recorrido. Iniciando con un ICA de 32 en su punto de captación, luego aumenta a 37 en el punto de muestreo 2, pero posteriormente disminuye a 32 y luego a 29 en los siguientes puntos de muestreo hasta su punto de distribución con 28. En cuanto al uso del agua, en los tres primeros puntos de muestreo se encuentra en la categoría "Tratamiento para la mayoría de cultivos", lo que implica que aún requiere ciertos procesos de tratamiento antes de ser utilizado. Sin embargo, en los tres últimos puntos de muestreo, el agua entra en la categoría "Solo para cultivos muy resistentes", indicando que su calidad es considerablemente deficiente y solo es apta para cultivos extremadamente robustos que puedan tolerar un agua "fuertemente contaminada".

El objetivo de evaluar la calidad del agua utilizada en sistemas de riego y analizar los posibles impactos en el suelo se aborda mediante un análisis detallado de las interacciones entre los parámetros del agua y su efecto en la calidad del suelo, como se explica en el inciso 4.6. Se observa que los sistemas de riego en estudio abastecen una variedad de cultivos, los cuales desempeñan un papel crucial en el desarrollo agrícola local. En relación con la salinidad, se evidencia que la acumulación de sales en la zona radicular de los cultivos puede reducir su rendimiento. Este problema puede originarse tanto por el agua de riego como por una capa freática elevada. Además, los cultivos pueden experimentar efectos negativos en su rendimiento cuando se exponen a ciertos niveles de sólidos disueltos totales en el agua. En el estudio se destaca que la salinidad afecta particularmente a cultivos como la remolacha, espinaca, tomate, brócoli y col.

- Es esencial definir los parámetros a analizar en laboratorio, asegurándose de que cada uno esté respaldado por normativas nacionales o internacionales. Este enfoque facilitará la comparación de los resultados con los límites establecidos en dichas normativas.
- Se recomienda mantener monitoreos continuos y aumentar puntos de muestreo, de modo que, se pueda identificar de forma precisa los orígenes de los contaminantes en el canal de riego, además, se sugiere incrementar la cantidad de parámetros analizados, centrándose especialmente en parámetros definidos en la tabla 3 del acuerdo ministerial 097-A. Este enfoque fortalecerá la capacidad de detección y comprensión de las fuentes de contaminación, permitiendo una intervención más precisa y eficaz.
- En el ámbito de la ingeniería civil, se puede implementar varios tipos de obras tales como; sistemas de filtración avanzados los cuales ayudaran a eliminar partículas suspendidas y contaminantes, mejorando así la calidad general del agua utilizada en el riego. La construcción de estructuras de sedimentación, como desarenadores, facilitará la separación de sedimentos y materiales sólidos, sin embargo, se debe priorizar también el mantenimiento de las obras existentes en los canales de riego, las cuales se encuentran en un estado de abandono.
- Una medida que mitigue varios contaminantes en el agua de los canales, sería la implementación de entubados en los canales abiertos, ya que este ayudaría a prevenir la entrada de desperdicios y agua contaminada al canal, reduciendo así la contaminación y protegiendo la calidad del agua destinada al riego. Además, el entubado facilitaría el control y la gestión del agua, minimizando el impacto negativo de las actividades humanas en el canal.

- La construcción de interceptores para la recolección de aguas residuales puede ayudar a mitigar la contaminación del agua al capturar y dirigir adecuadamente las aguas residuales lejos de los sistemas de riego y las fuentes de agua potable. Esta medida contribuirá a mejorar la calidad del agua utilizada en los sistemas de riego.
- El tratamiento de agua basado en la fotocátalisis solar, resulta en un proceso innovador que aprovecha la radiación solar para generar especies altamente oxidantes. Esta tecnología presenta una serie de ventajas significativas en comparación con otras formas de desinfección del agua. En primer lugar, su eficiencia energética es notable. Al depender únicamente de la radiación solar para activar el fotocatalizador, los sistemas de fotocátalisis solar requieren un mantenimiento mínimo y no consumen energía externa durante su operación. Esta característica los hace altamente rentables y sostenibles a largo plazo, lo que los convierte en una opción atractiva para comunidades con recursos limitados. Además, la potencia de desinfección de la fotocátalisis solar es impresionante. Las especies oxidantes producidas durante el proceso son extremadamente poderosas y no selectivas, lo que significa que son capaces de eliminar una amplia gama de microorganismos patógenos y degradar numerosos contaminantes orgánicos presentes en el agua. Esta capacidad versátil hace que la tecnología sea altamente efectiva para mejorar la calidad del agua y proteger la salud pública, por lo que este tipo de tratamiento ofrece una solución eficiente, rentable y accesible para la desinfección del agua, con el potencial de mejorar la calidad de vida y proteger el medio ambiente en diversas comunidades alrededor de los sistemas de riego.

BIBLIOGRAFIA

(Acuerdo Ministerial No. 097-A. (2015). *Criterios de Calidad para Aguas de Consumo Humano y Uso Doméstico*.

Avilés L, H. (2006). El valor del agua en la agricultura. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida [en línea]*, 5, 28–31.

Ayers, R. S., & I. Westcot, D. W. (s. f.). *La calidad del agua en la agricultura*. FAO.

Aznar Jiménez, A. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Revista interdisciplinaria de gestión ambiental*, 2(23), 12–19.

Baccaro, K., Degorgue, M., Lucca, M., Picone, L., Zamuner, E., & Andreoli, Y. (2006). Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar del Plata. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 35(3), 95–110.

Barrenetxea, C. O., (2003). Contaminación ambiental: Una visión desde la química. En *Contaminación ambiental: Una visión desde la química* (pp. 1–678). Paraninfo.
<https://investigacion.ubu.es/documentos/5f61ef102999521342ed5044>

Betancourt Aguilar, C. (2016). La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan/ Water quality for irrigation water, main measurement indicators and processes that affect them. *Agroecosistemas*, 4, 47–61.

Carrera González, G. del C. (2011). *Modelación de oxígeno disuelto y materia orgánica y su influencia en la distribución y diversidad de indicadores bentónicos de la Cuenca del Río San Pedro en el tramo Amaguaña Guangopolo* [bachelorThesis, SANGOLQUÍ / ESPE / 2011].
<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/3702>

Cirelli, A. F. (2012). El agua: Un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147–170.

Corrales, L., & Fung McLeod, E. (2017). *Diseño de un Sistema de monitoreo de los co-beneficios generados por la iniciativa REDD+ MbA de El Salvador*.

Dunán-Avila, P. L., Fernández-Rodríguez, M., Riverón-Zaldívar, A. B., Bassas-Noa, P. R., Dunán-Avila, P. L., Fernández-Rodríguez, M., Riverón-Zaldívar, A. B., & Bassas-Noa, P. R. (2022). Evaluación preliminar de la calidad de las aguas del río Yamanigüey para el riego agrícola. *Minería y Geología*, 38(1), 83–98.

El agua para la agricultura de las Américas (Libro)—IICA. (s. f.). *Agua.org.mx*. Recuperado 11 de enero de 2024, de <https://agua.org.mx/biblioteca/el-agua-para-la-agricultura-de-las-americas-libro/>

Gómez, J. J. C., & Muñoz, R. B. (2015). *Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala*.

Gómez López, M. J. (1996). Determinación y diferenciación de e. Coli y coliformes totales aplicando un mismo sustrato cromogénico. *TECNOLOGIA Y CIENCIAS DEL AGUA*, XVI, 21.

Guilcamaigua, D., & Chancusig, E. (2019). Evaluación de la calidad del agua de riego en tres agroecosistemas: Tradicional, orgánico y convencional. . . Nr., 001. <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/6932>

López-Hernández, M., Ramos-Espinosa, M. G., & Carranza-Fraser, J. (2007). Análisis multimétrico para evaluar contaminación en el río Lerma y lago de Chapala, México. *Hidrobiológica*, 17, 17–30.

Mancilla Villa, O. R., (2017). Concentración iónica y metales pesados en el agua de riego de la cuenca del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armería. *Idesia (Arica)*, 35(3), 115–123.

<https://doi.org/10.4067/S0718-34292017005000303>

Manual de desinfección de aguas de riego usando fotocatalizadores activados por la luz solar e inmovilizados en revestimientos de canales. (2009).

<https://bibliotecadigital.fia.cl/handle/20.500.11944/145529>

Medina Valdovinos, E. K., Mancilla Villa, O. R., Larios, M. M., Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., & Barreto García, O. A. (2016). Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco. *Idesia (Arica)*, 34(6), 51–59. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016005000035>

Meza, J. M. (2009). *Calidad de las aguas del río Lerma en relación con el riego agrícola.*

https://www.academia.edu/102289013/Calidad_de_las_aguas_del_r%C3%ADo_Lerma_en_relaci%C3%B3n_con_el_riego_agr%C3%ADcola

Mogrovejo-Lazo, A., & Carabajo-Alvear, R. (2022). La importancia de la agricultura en la economía de la provincia de Azuay. *Sociedad & Tecnología*, 6, 129–146.

<https://doi.org/10.51247/st.v6i1.329>

Montilla Cabudiva, L., & Frías Quiñones, T. D. M. (2016). *Evaluación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el sector Puerto de Productores río Itaya, Loreto-Perú 2014-2015.* <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2349836>

Normas Oficializadas – Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (s. f.).

Recuperado 22 de noviembre de 2023, de <https://www.normalizacion.gob.ec/normas-oficializadas/>

Pérez, J. I., Nardini, A. G., & Galindo, A. A. (2018). Análisis Comparativo de Índices de Calidad del Agua Aplicados al Río Ranchería, La Guajira-Colombia. *Información tecnológica*, 29(3), 47–58. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300047>

Plan Nacional de Riego y Drenaje – Ministerio de Agricultura y Ganadería. (s. f.).

Recuperado 9 de marzo de 2024, de <https://www.agricultura.gob.ec/el-plan-nacional-de-riego/>

Rodríguez, S., Jaramillo, S., Zurita, D., Valdiviezo, A., Choloquina, C., Rodríguez, S., Jaramillo, S., Zurita, D., Valdiviezo, A., & Choloquina, C. (2022). Evaluación de la Calidad del Agua de Riego Proveniente de la Acequia Tilipulo Enríquez-Cotopaxi Mediante la Relación de Absorción de Sodio (RAS). *Revista Politécnica*, 49(2), 55–64. <https://doi.org/10.33333/rp.vol49n2.06>

Sarabia Meléndez, I. F., Cisneros Almazán, R., Aceves De Alba, J., Durán García, H. M., & Castro Larragoitia, J. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2), 103–113.

Schnoor, J. L. (1996). *Environmental modeling: Fate and transport of pollutants in water, air, and soil*. New York : Wiley. <http://archive.org/details/environmentalmod0000schn>

Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico*. Sello Editorial de la Universidad de Medellín. <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/2568>

Sutadian, A. D., Muttill, N., Yilmaz, A. G., & Perera, B. J. C. (2016). Development of river water quality indices-a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(1), 58. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-5050-0>

Tchobanoglous, G., Tsuchihashi, R., & Burton, F. (2013). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. <https://www.mheducation.com/highered/product/wastewater-engineering-treatment-resource-recovery-metcalf-eddy-inc-burton/M9780073401188.html>

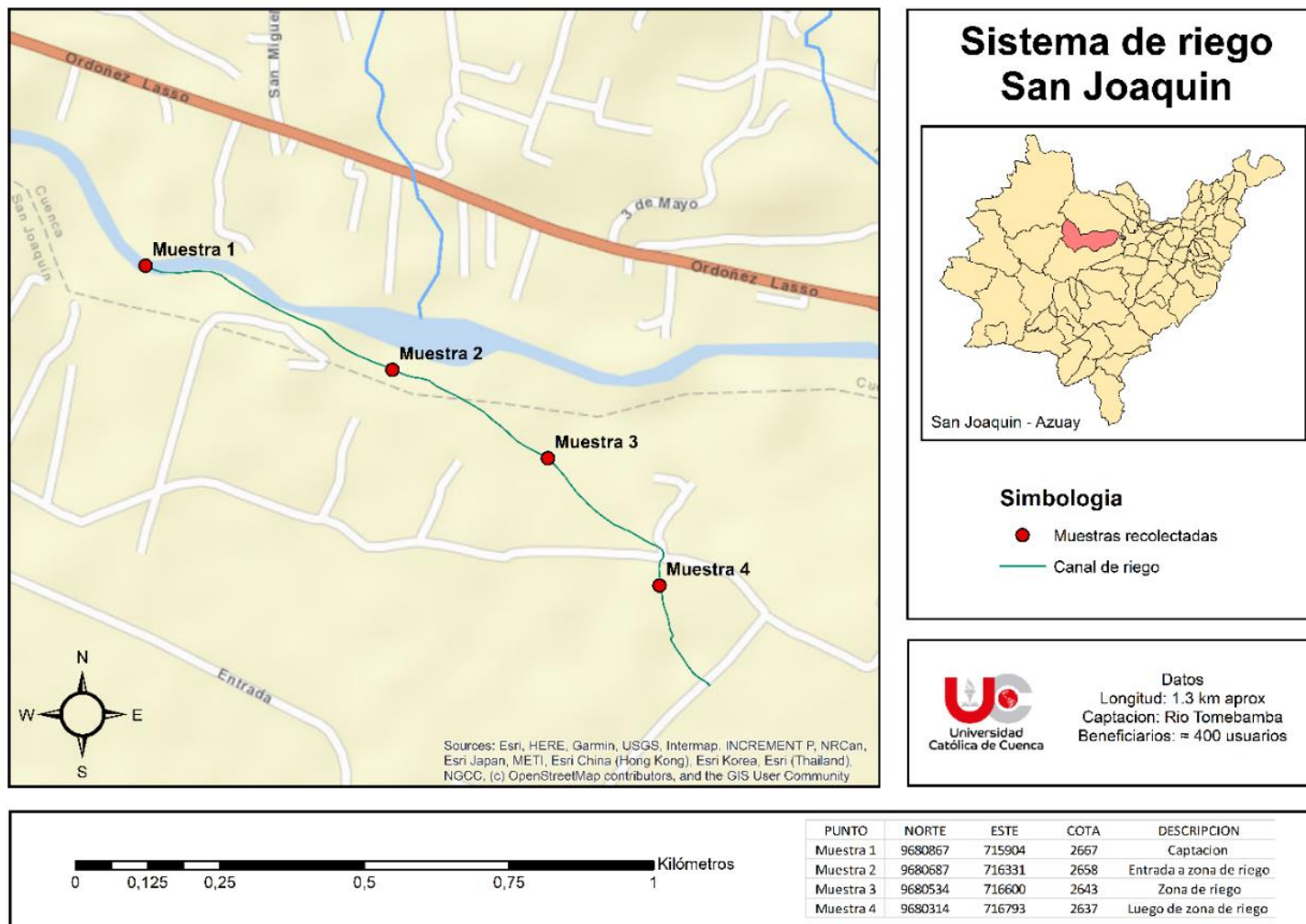
Villalobos Arambula, V., Garcia-Winder, M., & Ávila, F. (2017). *Serie—Agua, Innovación y Productividad*.

Vizcaíno, L. F. L. (s. f.). *Indices de Calidad del Agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala*.

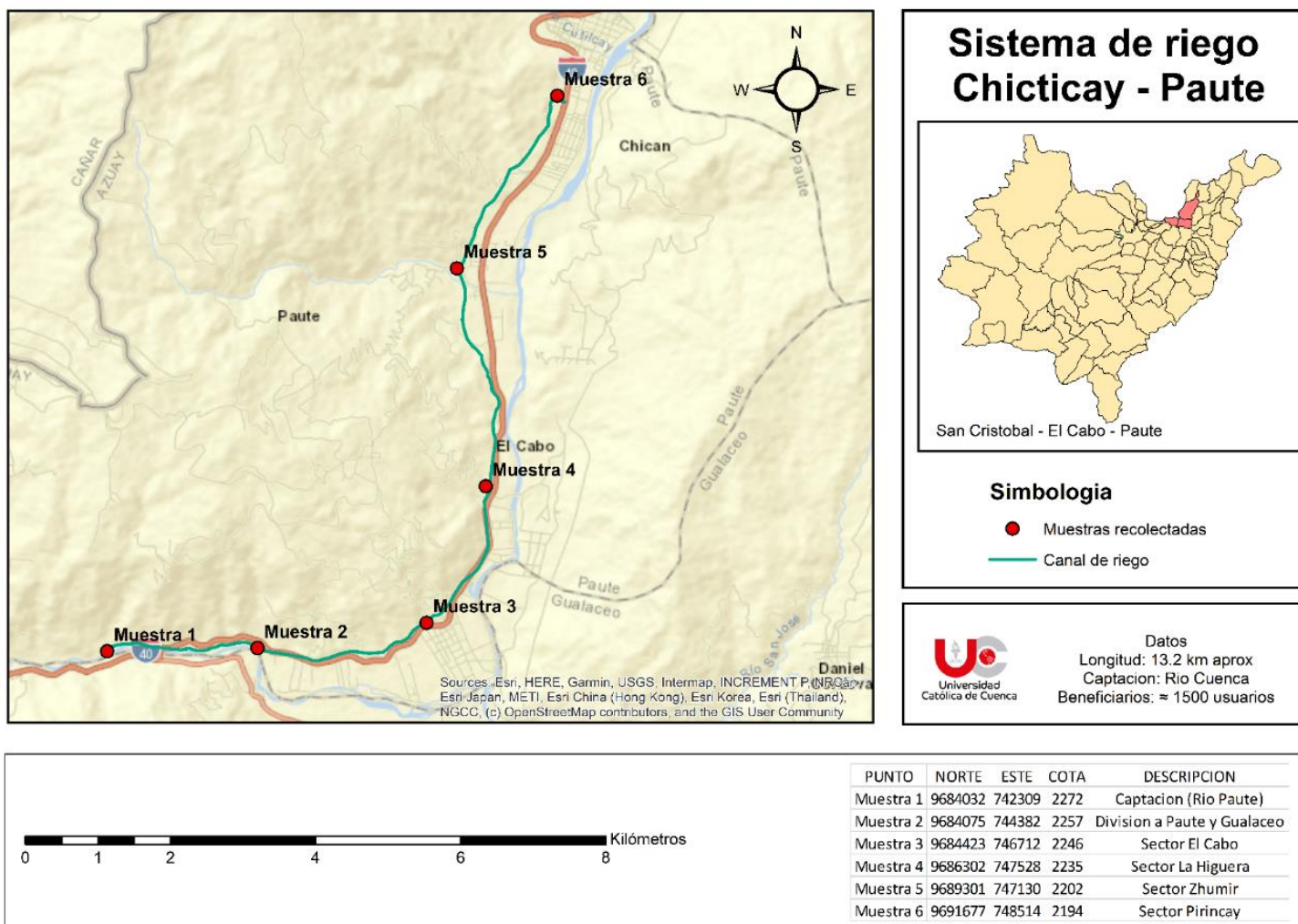
World Health Organization. (2016). *Nitrate and nitrite in drinking-water*. <https://www.who.int/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/nitrate-nitrite-background-document.pdf>

ANEXOS

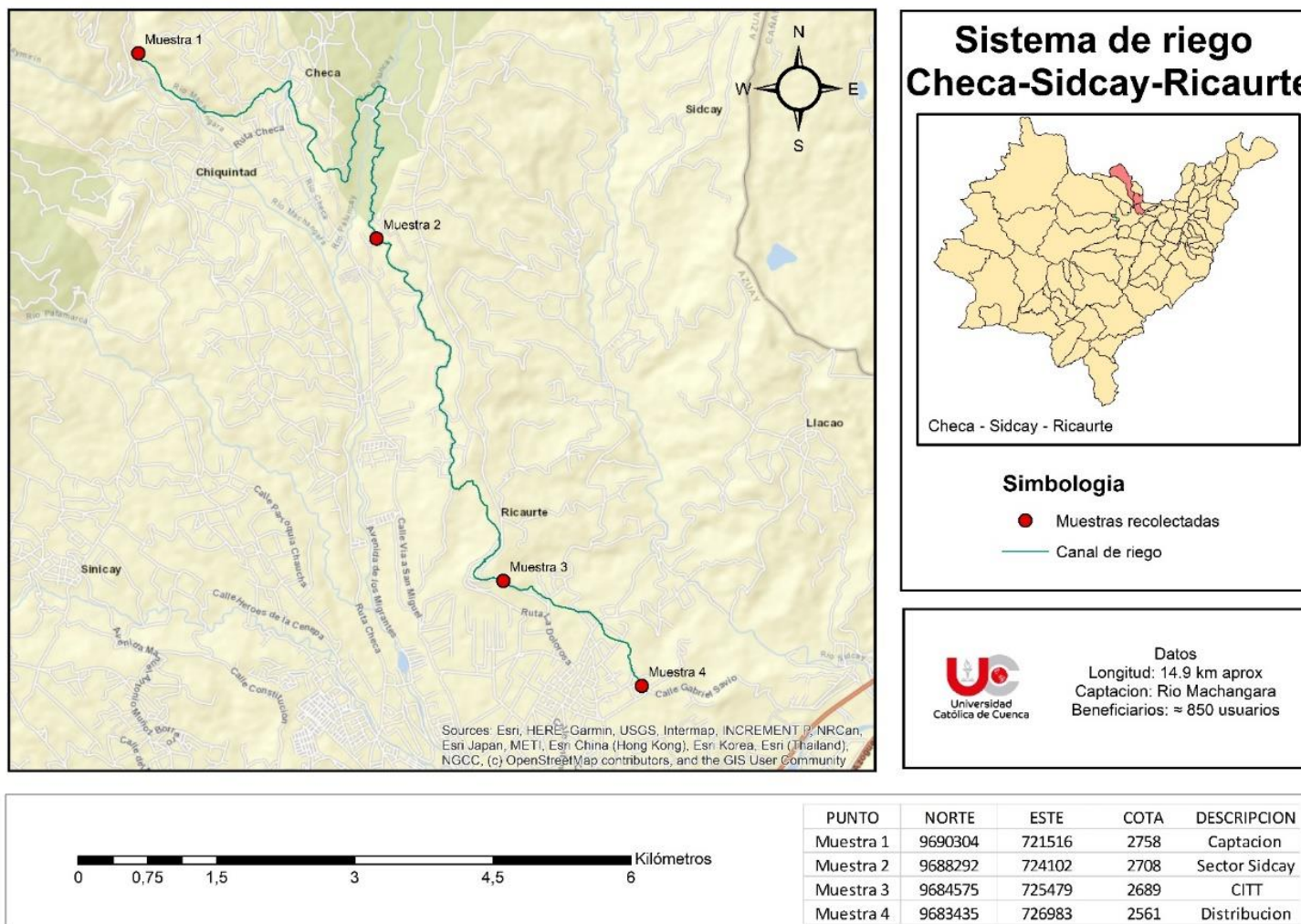
Anexo 1. Mapa de muestreo del sistema de riego “San Joaquín”



Anexo 2. Mapa de muestreo del sistema de riego “Chicticay - Paute”



Anexo 3. Mapa de muestreo del sistema de riego “Checa – Sidcay - Ricaurte”




























Anexo 4. Criterios de calidad de aguas para riego agrícola.

PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y grasas	Película Visible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1

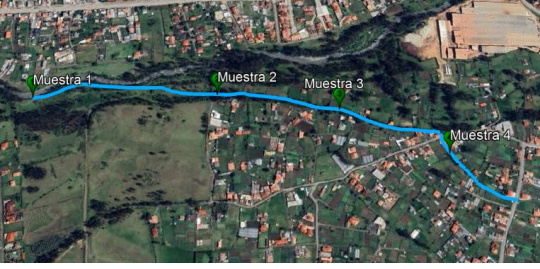












Anexo 5. Parámetros de los niveles de la calidad de agua para riego.

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN *		
		Ninguno	Ligero-Moderado	Severo
Salinidad: (1)				
CE (2)	milimhos/cm	0,7	0,7-3,0	>3,0
SDT (3)	mg/l	450	450-2000	>2000
Infiltración: (4)				
RAS=0-3yCE=		0,7	0,7-0,2	<0,2
RAS=3-6yCE=		1,2	1,2-0,3	<0,3
RAS=6-12yCE=		1,9	1,9-0,5	<0,5
RAS=12-20yCE=		2,9	2,9-1,3	<1,3
RAS=20-40yCE=		5,0	5,0-2,9	<2,9
Toxicidad por iones específicos (5)				
Sodio:				
Irrigación superficial RAS (6)	meq/l	3,0	3,0-9,0	>9
Aspersión	meq/l	3,0	3,0	
Cloruros:				
Irrigación superficial	meq/l	4,0	4,0-10,0	>10
Aspersión	meq/l	3,0	3,0	
Boro:	mg/l	0,7	0,7-3,0	>3
Efectos misceláneos (7)				
Nitrógeno (N-NO ₃ -)	mg/l	5,0	5,0-30,0	>30
Bicarbonato (HCO ₃ -) Solo aspersión	meq/l	1,5	1,5-8,5	>8,5
pH	Rango normal		6,5-8,4	

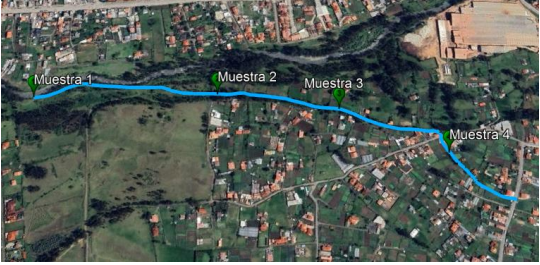




















Anexo 6. Parámetros químicos obtenidos en laboratorio del canal de San Joaquín.

SISTEMA DE RIEGO "SAN JOAQUIN"				Parámetros químicos medidos en laboratorio		
				Muestras	Coordenadas	
					E	S
				1	715904.0	9680867.0
				2	716331.0	9680687.0
				3	716600.0	9680534.0
4	716793.0	9680314.0				
Muestra	Cloro libre	Nitratos	Nitritos	Fosfatos	DQO	DBO5
1						
2						
3						
4						

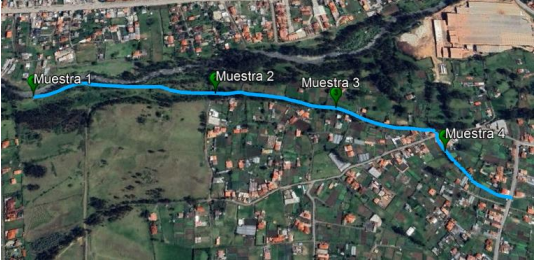












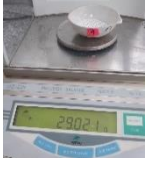
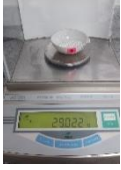


Anexo 7. Parámetros físicos obtenidos en laboratorio del canal de San Joaquín.

SISTEMA DE RIEGO "SAN JOAQUIN"		Parámetros físicos medidos en laboratorio		
		Muestras	Coordenadas	
			E	S
		1	715904.0	9680867.0
		2	716331.0	9680687.0
		3	716600.0	9680534.0
4	716793.0	9680314.0		
Muestra	Turbidez	Color aparente	Color real	
1				
2				
3				
4				

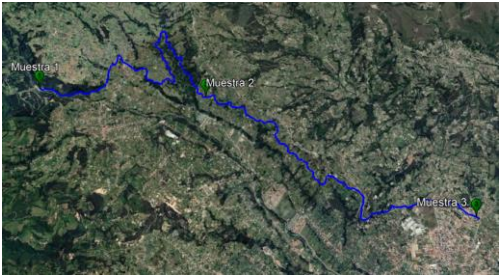











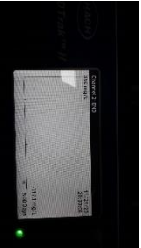





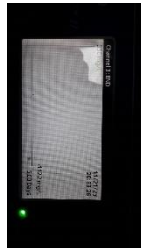






Anexo 8. Parámetros obtenidos in situ del canal de San Joaquín.

SISTEMA DE RIEGO "SAN JOAQUIN" 		Parámetros medidos en in situ		
		Muestras	Coordenadas	
			E	S
		1	715904.0	9680867.0
		2	716331.0	9680687.0
		3	716600.0	9680534.0
		4	716793.0	9680314.0
Muestras		pH	Conductividad	Oxígeno disuelto
1	 			
2	 			
3	 			
4	 			

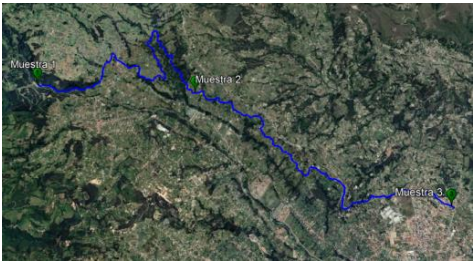












Anexo 9. Sólidos suspendidos y totales de las muestras del canal de San Joaquín.

SISTEMA DE RIEGO "SAN JOAQUIN"				Sólidos suspendidos y totales medidos en laboratorio		
				Muestras	Coordenadas	
					E	S
				1	715904.0	9680867.0
				2	716331.0	9680687.0
				3	716600.0	9680534.0
4	716793.0	9680314.0				
Muestra	Sólidos Suspendidos			Sólidos Totales		
	Volumen Muestra	Peso inicial Capsula	Peso final Capsula	Volumen Muestra	Peso inicial Capsula	Peso final Capsula
1	50 mL			5 mL		
2						
3						
4						

Anexo 10. Parámetros químicos obtenidos en laboratorio del canal de riego Checa – Sidcay – Ricaurte.

SISTEMA DE RIEGO " CHECA – SIDCAY - RICAURTE "				Parámetros químicos medidos en laboratorio		
				Muestras	Coordenadas	
					E	S
				1	721516.0	9690304.0
				2	724102.0	9688292.0
				3	726989.0	9683437.0
4	725479.0	9684575.0				
Muestra	Cloro libre	Nitratos	Nitritos	Fosfatos	DQO	DBO5
1						
2						
3						
4						

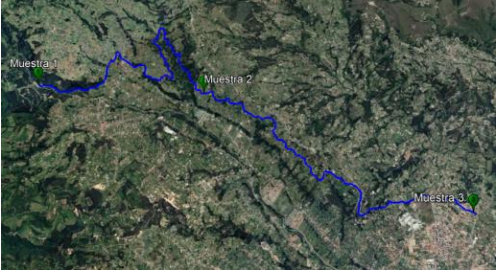
















Anexo 11. Parámetros físicos obtenidos en laboratorio del canal de riego Checa – Sidcay – Ricaurte.

SISTEMA DE RIEGO " CHECA – SIDCAY - RICAURTE "		Parámetros físicos medidos en laboratorio		
		Muestras	Coordenadas	
			E	S
		1	721516.0	9690304.0
		2	724102.0	9688292.0
		3	726989.0	9683437.0
4	725479.0	9684575.0		
Muestra	Turbidez	Color aparente	Color real	
1				
2				
3				
4				

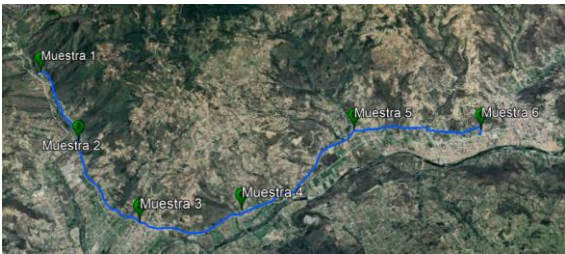




































Anexo 12. Parámetros obtenidos in situ del canal de Checa – Sidcay – Ricaurte.

SISTEMA DE RIEGO " CHECA – SIDCAY - RICAURTE "		Parámetros medidos en in situ		
		Muestras	Coordenadas	
			E	S
		1	721516.0	9690304.0
		2	724102.0	9688292.0
		3	726989.0	9683437.0
4	725479.0	9684575.0		
Muestras		pH	Conductividad	Oxígeno disuelto
1				
2				
3				
4				




Anexo 13. Solidos suspendidos y totales de las muestras del canal de Checa – Sidcay – Ricaurte.

SISTEMA DE RIEGO " CHECA – SIDCAY - RICAURTE "				Solidos suspendidos y totales medidos en laboratorio			
	Muestras		Coordenadas				
			E	S			
	1	721516.0	9690304.0				
	2	724102.0	9688292.0				
	3	726989.0	9683437.0				
4	725479.0	9684575.0					
Muestra	Solidos Suspendidos			Solidos Totales			
	Volumen Muestra	Peso inicial Capsula	Peso final Capsula	Volumen Muestra	Peso inicial Capsula	Peso final Capsula	
1	50 mL			5 mL			
2							
3							
4							

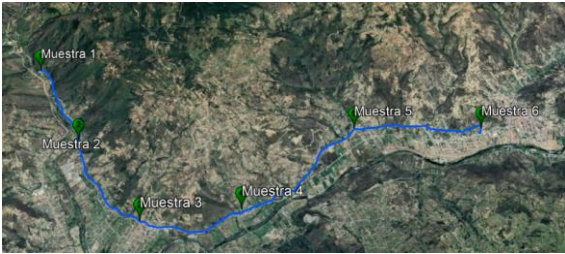
























Anexo 14. Parámetros químicos obtenidos en laboratorio del canal de riego Chicticay – Paute.

SISTEMA DE RIEGO "CHICTICAY - PAUTE"				Parámetros químicos medidos en laboratorio		
				Muestras	Coordenadas	
					E	S
				1	742309	9684032
				2	744382	9684075
				3	746712	9684423
				4	747528	9686302
				5	747130	9689301
6	748514	9691677				
Muestra	Cloro libre	Nitratos	Nitritos	Fosfatos	DQO	DBO5
1						
2						
3						
4						
5						
6						

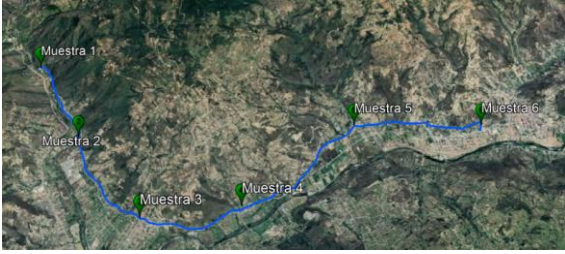
























Anexo 15. Parámetros físicos obtenidos en laboratorio del canal de riego Chicticay – Paute.

SISTEMA DE RIEGO "CHICTICAY - PAUTE"		Parámetros físicos medidos en laboratorio		
		Muestras	Coordenadas	
			E	S
		1	742309	9684032
		2	744382	9684075
		3	746712	9684423
		4	747528	9686302
		5	747130	9689301
6	748514	9691677		
Muestra	Turbidez	Color aparente	Color real	
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Anexo 16. Parámetros obtenidos in situ del canal de Chicticay – Paute.

SISTEMA DE RIEGO "CHICTICAY - PAUTE"		Parámetros medidos en in situ		
		Muestras	Coordenadas	
			E	S
		1	742309	9684032
		2	744382	9684075
		3	746712	9684423
		4	747528	9686302
		5	747130	9689301
		6	748514	9691677
Muestras		pH	Conductividad	Oxígeno disuelto
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Anexo 17. Solidos suspendidos y totales de las muestras del canal de Chicticay – Paute.

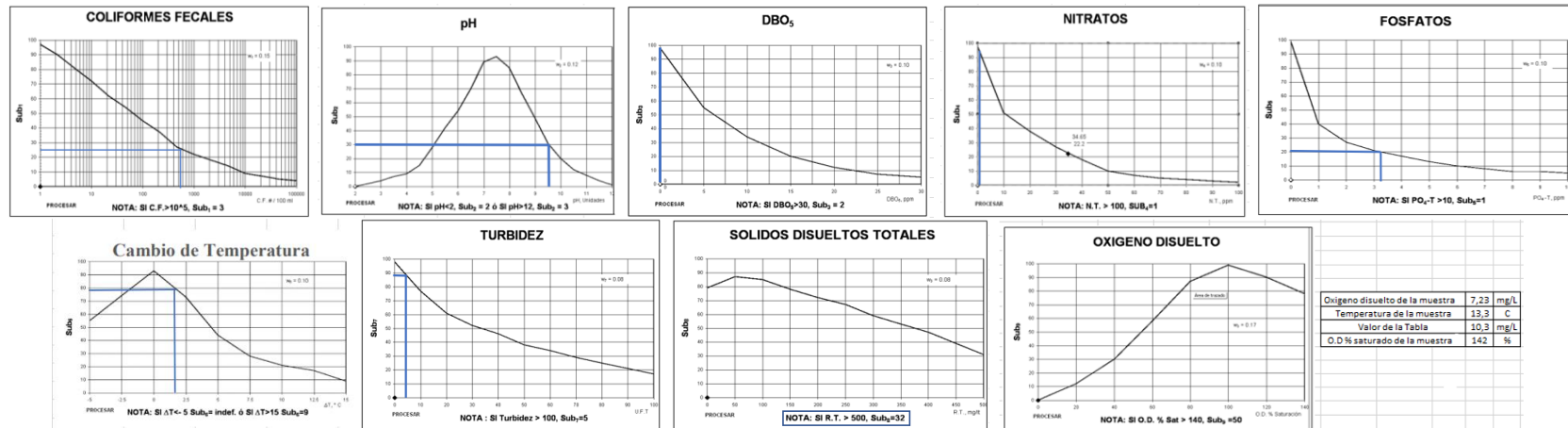
SISTEMA DE RIEGO "CHICTICAY - PAUTE"				Solidos suspendidos y totales medidos en laboratorio		
				Muestras	Coordenadas	
					E	S
				1	742309	9684032
				2	744382	9684075
				3	746712	9684423
				4	747528	9686302
				5	747130	9689301
6	748514	9691677				
Muestra	Solidos Suspendidos			Solidos Totales		
	Volumen Muestra	Peso inicial Capsula	Peso final Capsula	Volumen Muestra	Peso inicial Capsula	Peso final Capsula
1	50 mL			5 mL		
2						
3						
4						
5						
6						

Anexo 18. Número más probable de bacterias por cada 100 ml de muestra analizada mediante la inoculación de cinco tubos con volúmenes de 10, 1 y 0.1 ml de muestra.

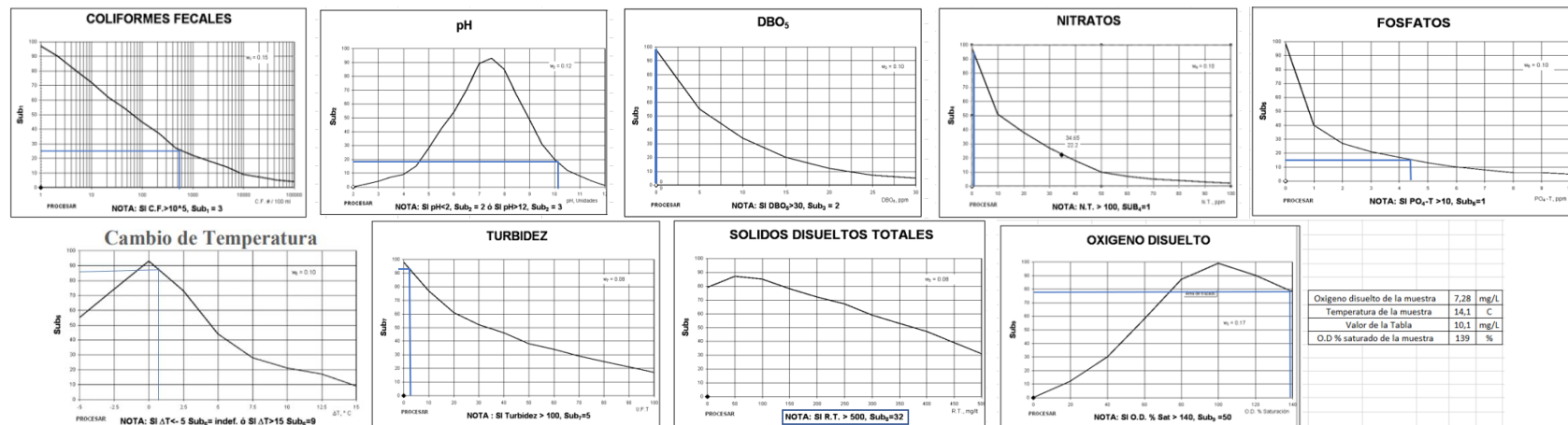
Pos* 10;1;0,1	NMP	Pos* 10;1;0,1	MPN	Pos* 10;1;0,1	MPN	Pos* 10;1;0,1	MPN	Pos* 10;1;0,1	MPN	Pos* 10;1;0,1	MPN
000	<1.8	100	2	200	4.5	300	7.8	400	13	500	23
001	1.8	101	4	201	6.8	301	11	401	17	501	31
002	3.6	102	6	202	9.1	302	13	402	21	502	43
003	5.4	103	8	203	12	303	16	403	25	503	58
004	7.2	104	10	204	14	304	20	404	30	504	76
005	9	105	12	205	16	305	23	405	36	505	95
010	1.8	110	4	210	6.8	310	11	410	17	510	33
011	3.6	111	6.1	211	9.2	311	14	411	21	511	46
012	5.5	112	8.1	212	12	312	17	412	26	512	64
013	7.3	113	10	213	14	313	20	413	31	513	84
014	9.1	114	12	214	17	314	23	414	36	514	110
015	11	115	14	215	19	315	27	415	42	515	130
020	3.7	120	6.1	220	9.3	320	14	420	22	520	49
021	5.5	121	8.2	221	12	321	17	421	26	521	70
022	7.4	122	10	222	14	322	20	422	32	522	95
023	9.2	123	12	223	17	323	24	423	38	523	120
024	11	124	15	224	19	324	27	424	44	524	150
025	13	125	17	225	22	325	31	425	50	525	180
030	5.6	130	8.3	230	12	330	17	430	27	530	79
031	7.4	131	10	231	14	331	21	431	33	531	110
032	9.3	132	13	232	17	332	24	432	39	532	140
033	11	133	15	233	20	333	28	433	45	533	180
034	13	134	17	234	22	334	31	434	52	534	210
035	15	135	19	235	25	335	35	435	59	535	250
040	7.5	140	11	240	15	340	21	440	34	540	130
041	9.4	141	13	241	17	341	24	441	40	541	170
042	11	142	15	242	20	342	28	442	47	542	220
043	13	143	17	243	23	343	32	443	54	543	280
044	15	144	19	244	25	344	36	444	62	544	350
045	17	145	22	245	28	345	40	445	69	545	440
050	9.4	150	13	250	17	350	25	450	41	550	240
051	11	151	15	251	20	351	29	451	48	551	350
052	13	152	17	252	17	352	32	452	56	552	540
053	15	153	19	253	26	353	37	453	64	553	920
054	17	154	22	254	29	354	41	454	72	554	1600
055	19	155	24	255	32	355	45	455	81	555	>1600

* Numero de cultivos (tubos) positivos con cada una de las tres cantidades de muestra usadas como inóculo

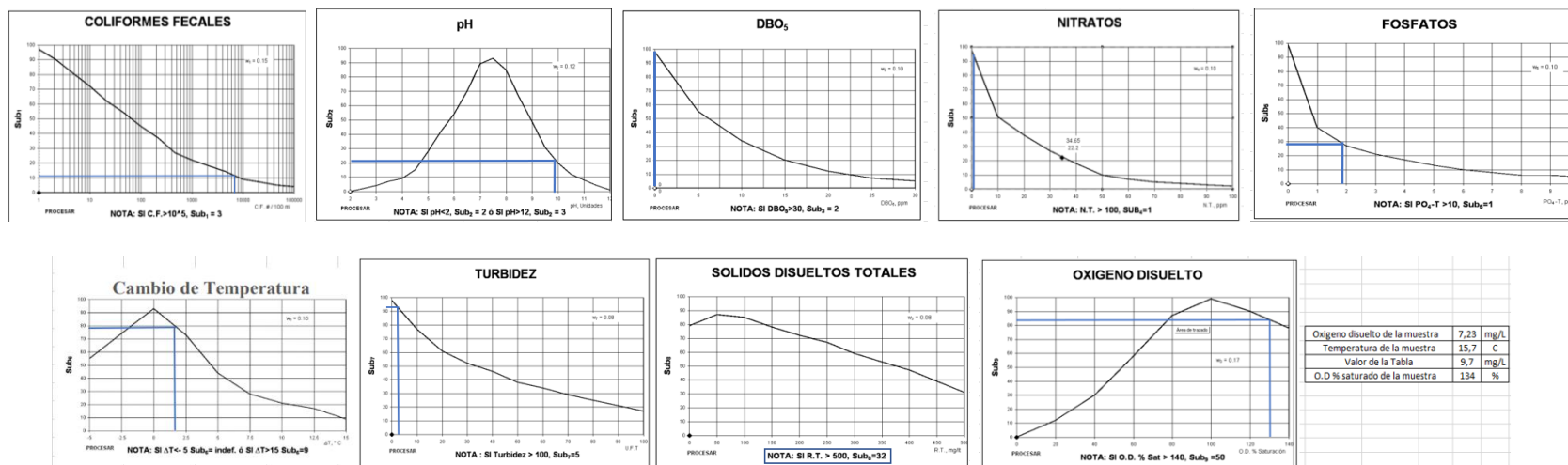
Anexo 19. Graficas de los Sub i de la muestra 1 del canal de Checa – Sidcay – Ricaurte.



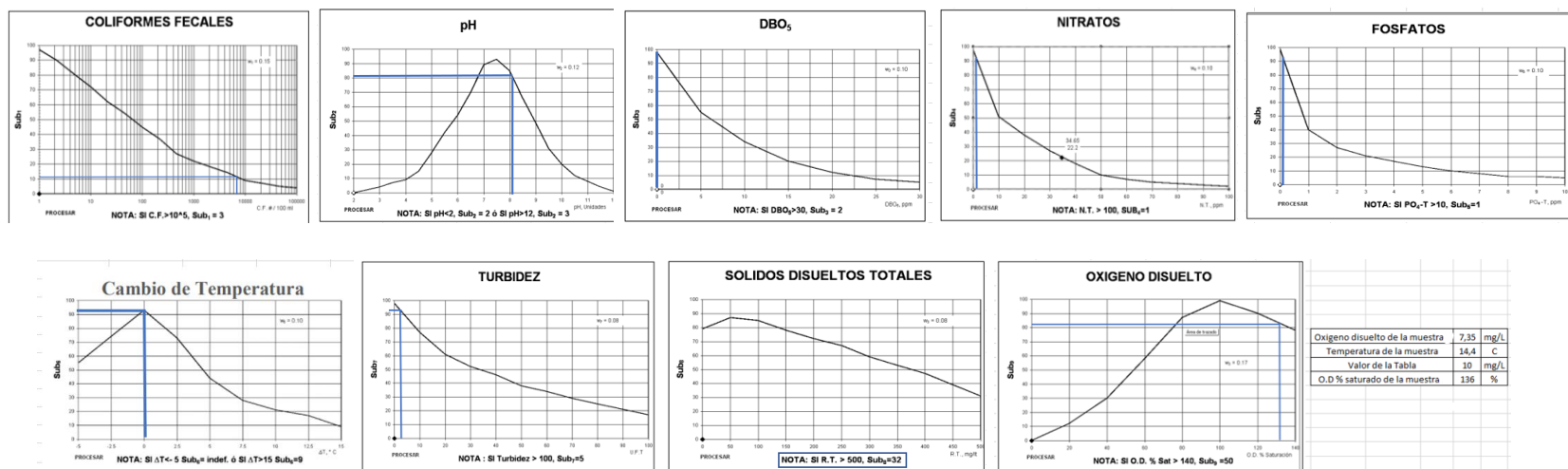
Anexo 20. Graficas de los Sub i de la muestra 2 del canal de Checa – Sidcay – Ricaurte.



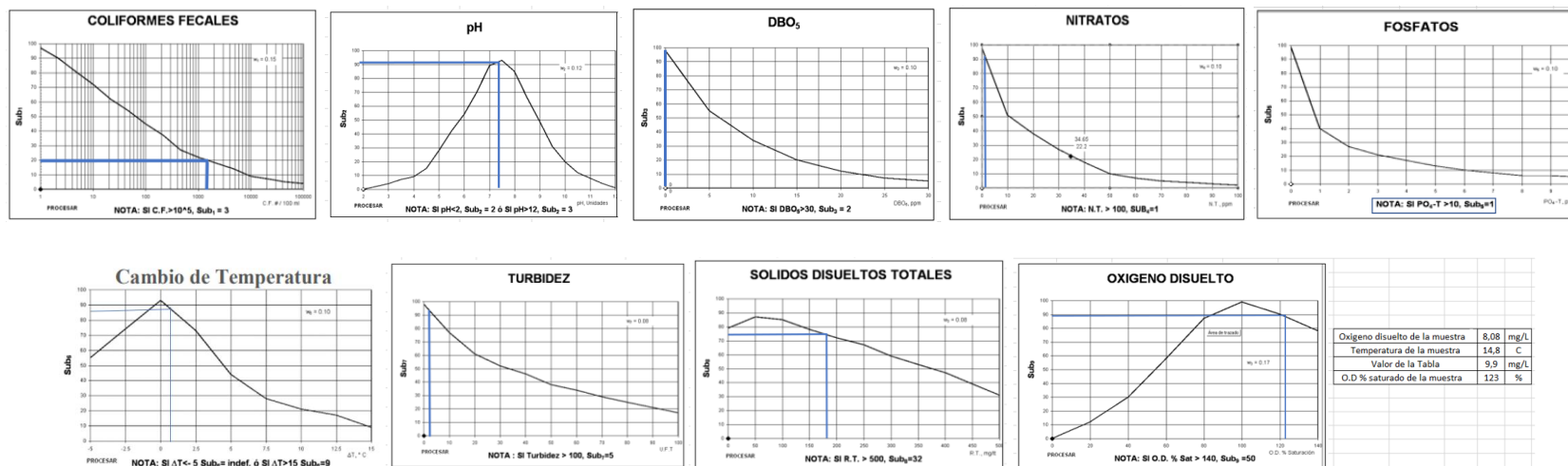
Anexo 21. Graficas de los Sub i de la muestra 3 del canal de Checa – Sidcay – Ricaurte.



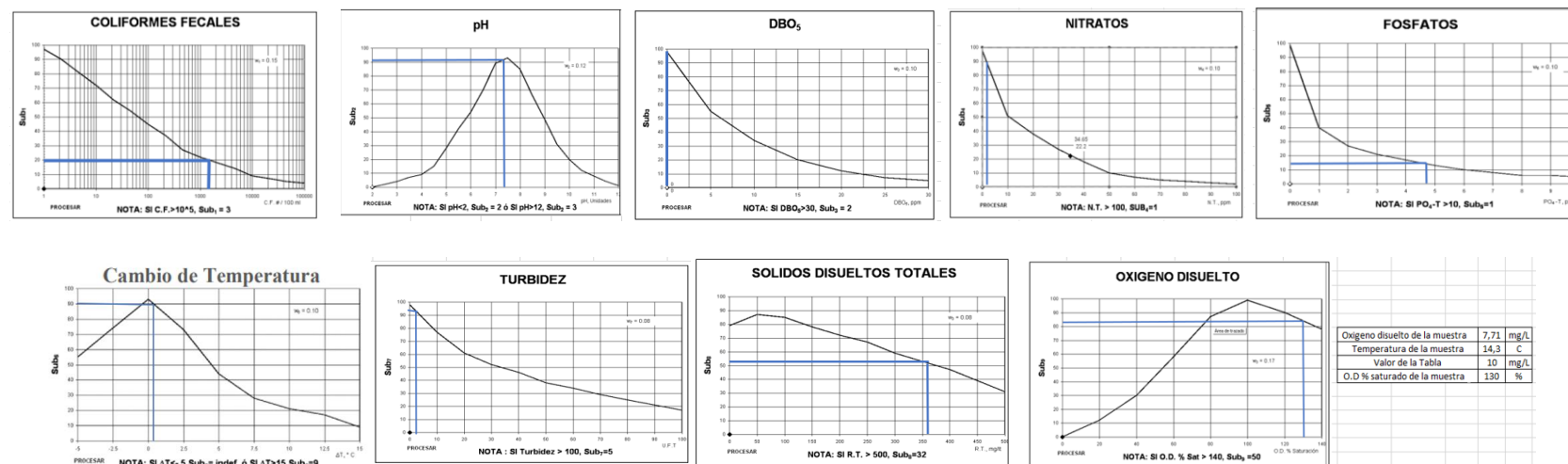
Anexo 22. Graficas de los Sub i de la muestra 4 del canal de Checa – Sidcay – Ricaurte.



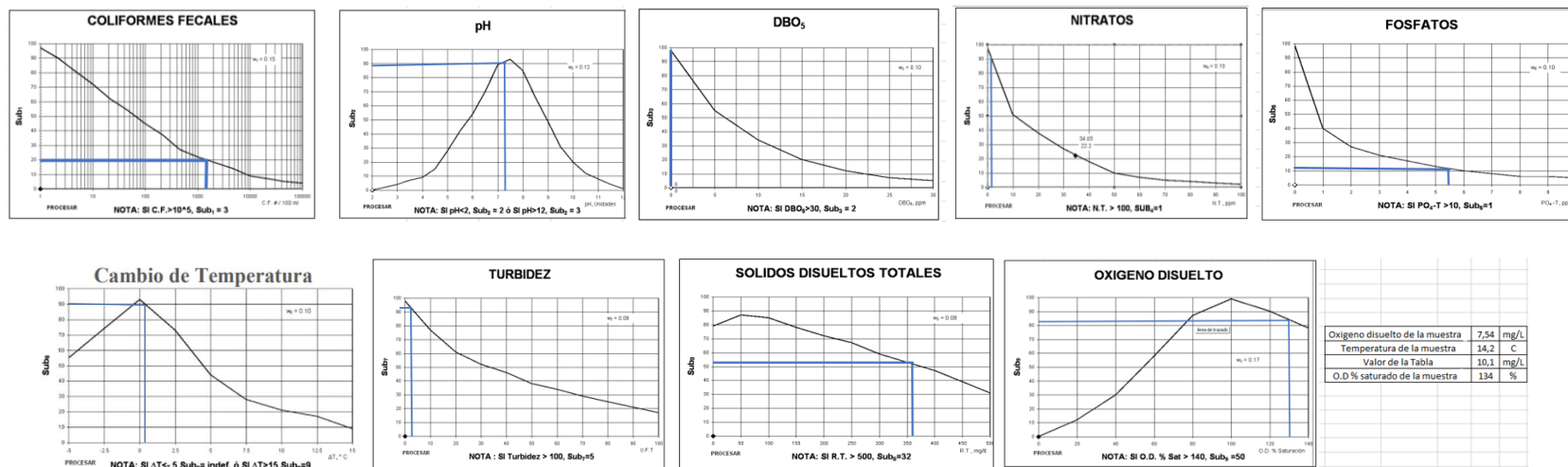
Anexo 23. Graficas de los Sub i de la muestra 1 del canal de San Joaquín.



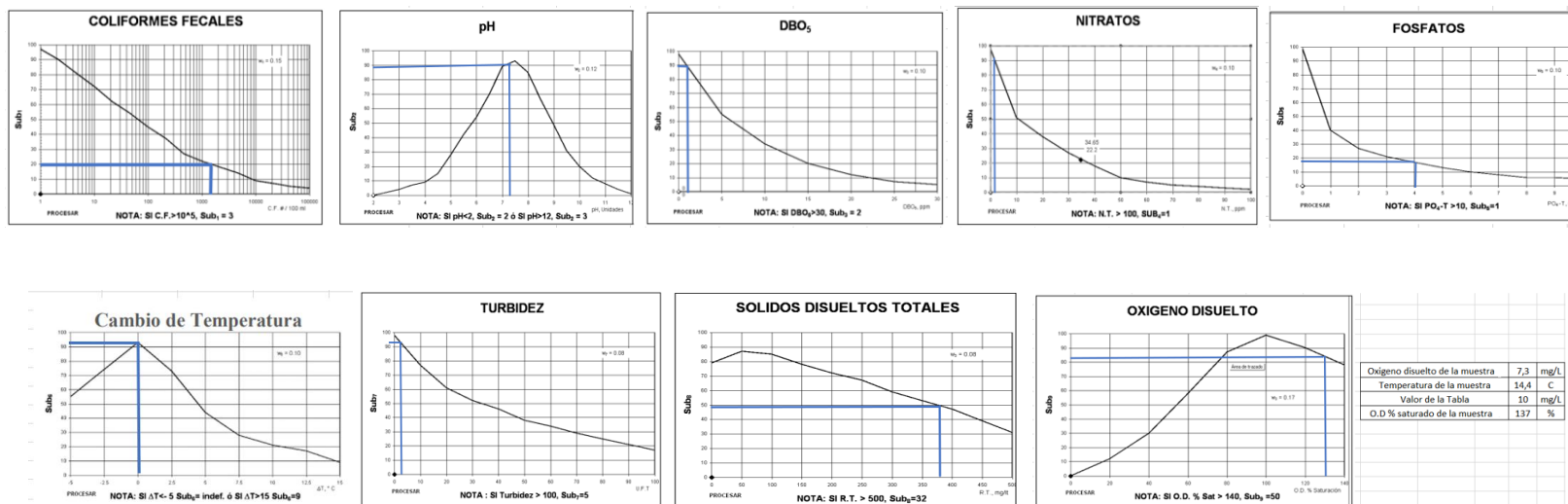
Anexo 24. Graficas de los Sub i de la muestra 2 del canal de San Joaquín.



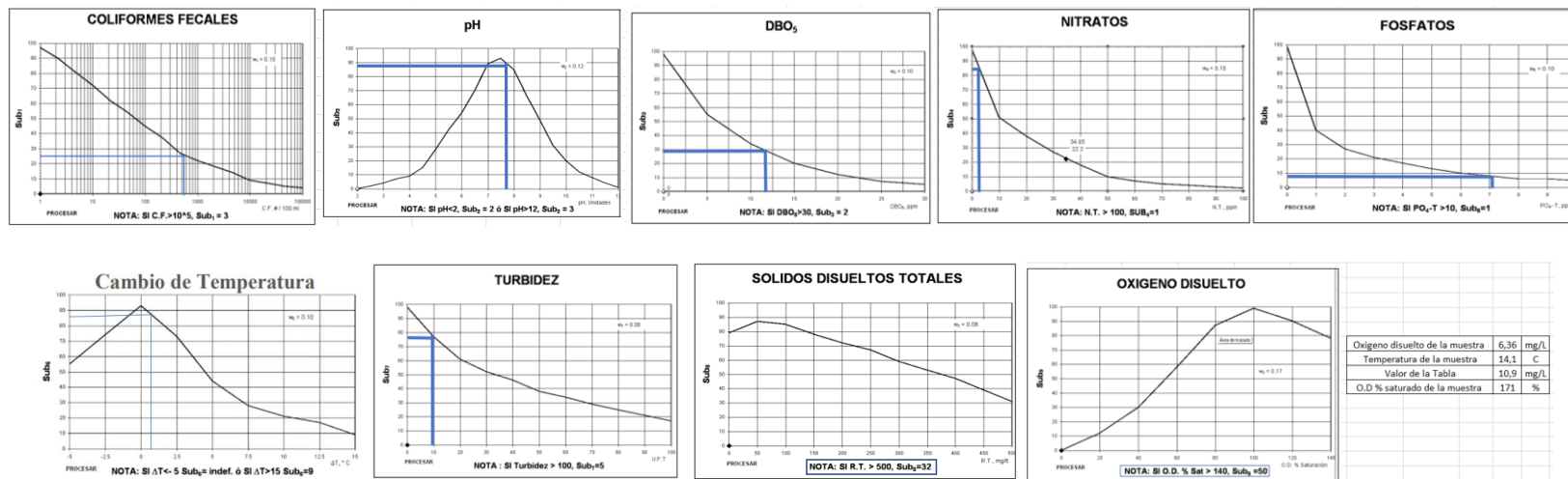
Anexo 25. Graficas de los Sub i de la muestra 3 del canal de San Joaquín.



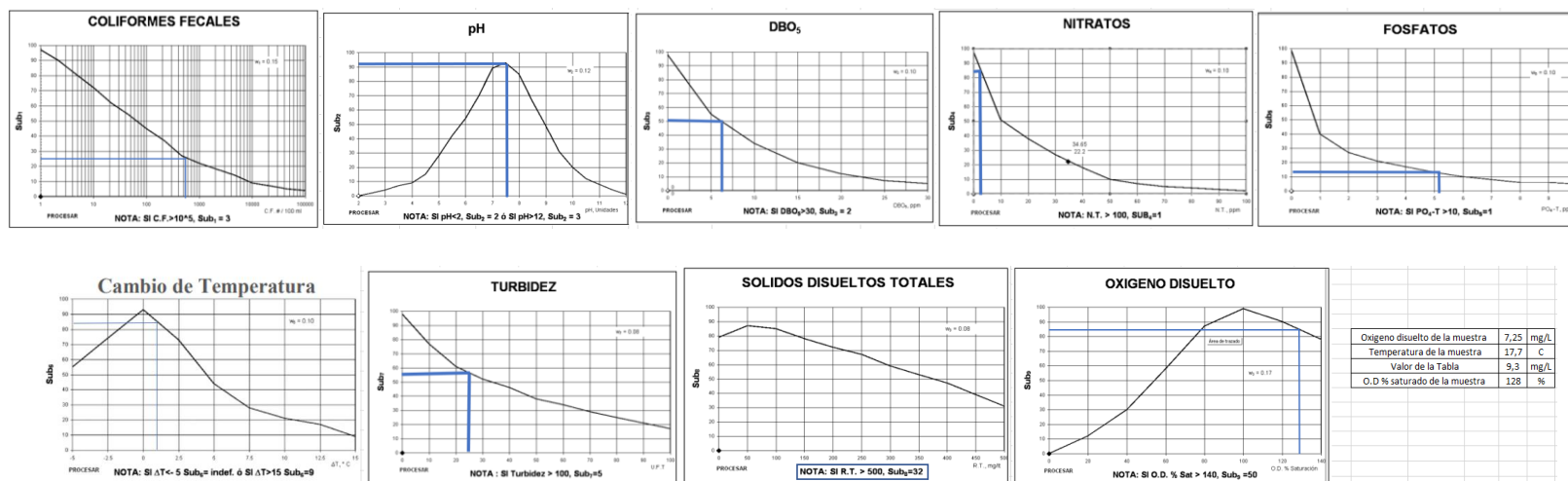
Anexo 26. Graficas de los Sub i de la muestra 4 del canal de San Joaquín.



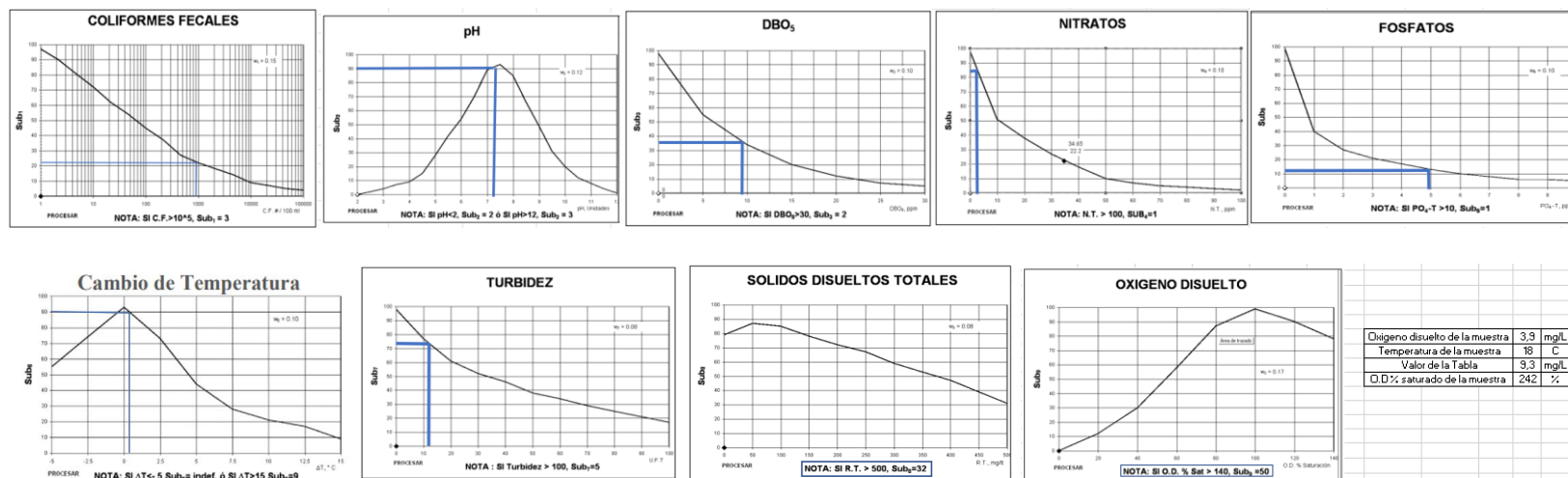
Anexo 27. Graficas de los Sub i de la muestra 1 del canal de Chicticay - Paute.



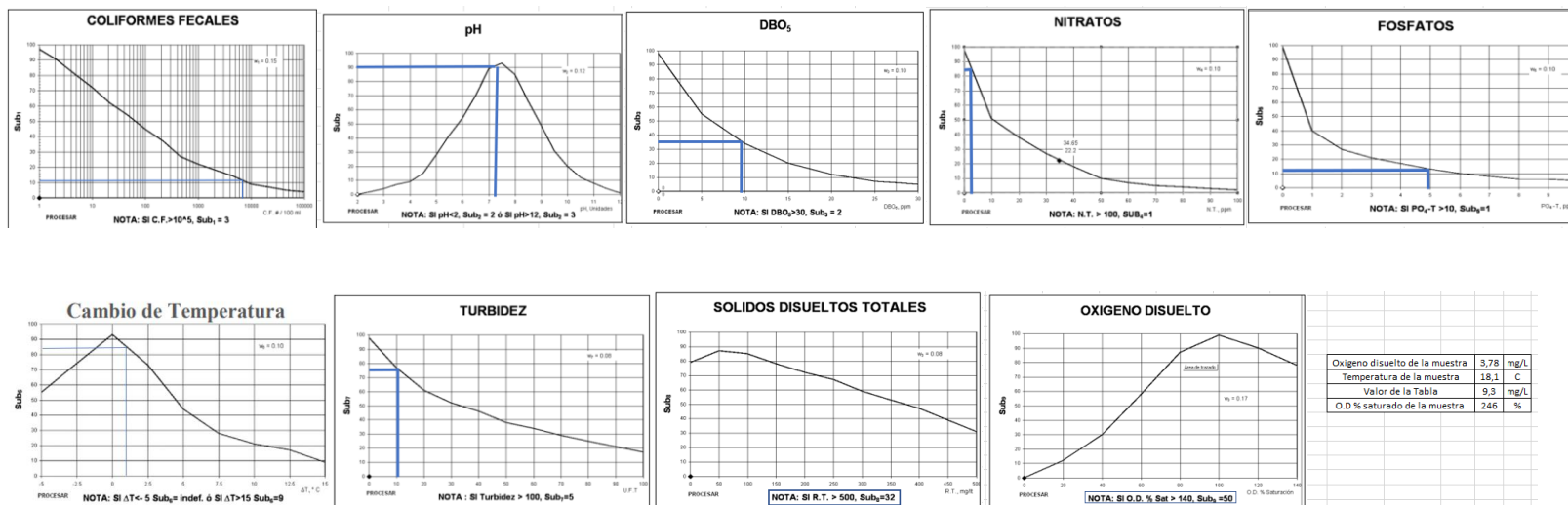
Anexo 28. Graficas de los Sub i de la muestra 2 del canal de Chicticay - Paute.



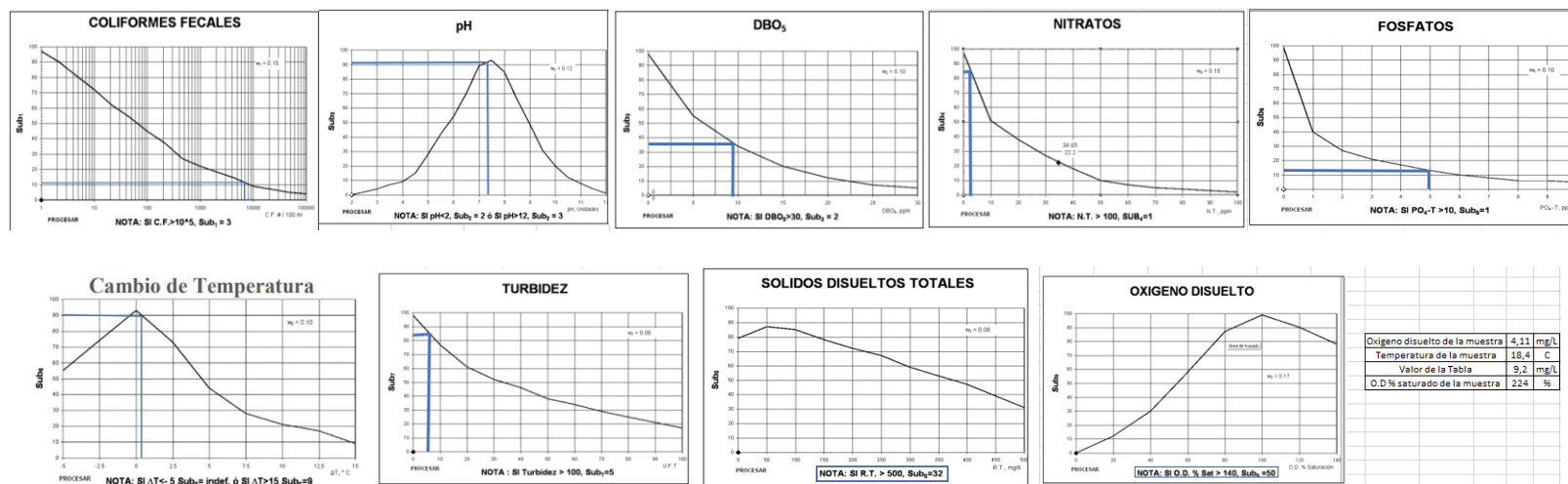
Anexo 29. Graficas de los Sub i de la muestra 3 del canal de Chicticay - Paute.



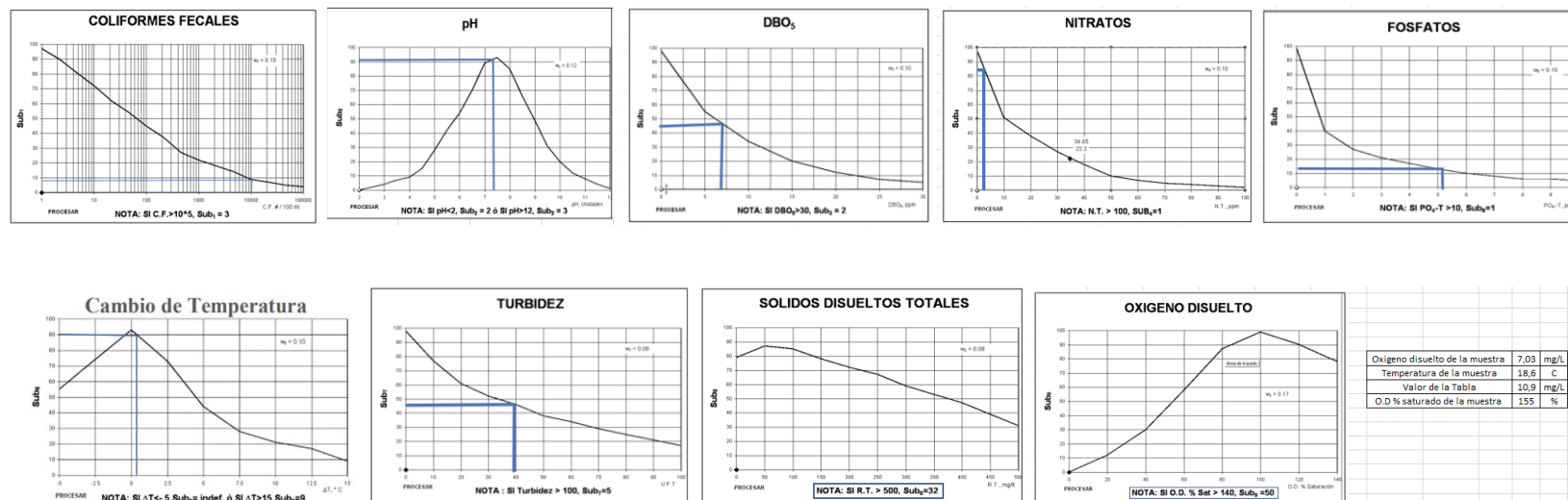
Anexo 30. Graficas de los Sub i de la muestra 4 del canal de Chicticay - Paute.






Anexo 31. Graficas de los Sub i de la muestra 5 del canal de Chicticay - Paute.







Anexo 32. Graficas de los Sub i de la muestra 6 del canal de Chicticay - Paute.





Anexo 33. Cultivos presentes en los terrenos colindantes a los sistemas de riego.


Cultivos	Sistema de riego	Análisis
	<p>San Joaquín</p>	<p>Entre los principales productos de la zona, se evidencio la presencia de cultivos de maíz, coliflor, zanahorias y lechugas.</p>
	<p>Chiticay-Paute</p>	<p>Entre los principales productos de la zona, se evidencio la presencia de cultivos de papas, frejol, y flores.</p>
	<p>Checa-Sidcay-Ricaurte</p>	<p>Entre los principales productos de la zona, se evidencio la presencia de cultivos de maíz, papas y hortalizas</p>





Anexo 34. Problemáticas evidenciadas del sistema de riego de San Joaquín.

Problemática	Análisis
	<p>Se evidencia la presencia de tuberías que vierten agua proveniente de viviendas al canal de riego, se puede concluir que existe una clara intersección entre las actividades humanas y la gestión del agua destinada a la agricultura, además, la presencia de estas tuberías expone la falta de un sistema adecuado de gestión de aguas residuales en la zona, lo que podría tener consecuencias negativas tanto para la calidad del agua como para la salud del suelo</p>
	<p>Como se evidencia, la presencia de un tipo muro de llantas a poco más de 20 cm del canal de riego proyecta una inadecuada gestión de residuos, en este caso, ya que estas pueden resultar en una contaminación directa del agua y afectar negativamente la salud del suelo. Las llantas pueden liberar sustancias químicas perjudiciales cuando se descomponen, contaminando así el agua del canal y comprometiendo su calidad.</p>
	<p>En este punto se evidencia una descarga de agua de lluvia desde una casa colindante al canal de riego, este caso puede tener consecuencias significativas en varios parámetros del agua. Esta actividad puede introducir contaminantes químicos, como metales pesados, productos químicos domésticos y nutrientes. Además, la escorrentía urbana podría transportar sedimentos y microorganismos, alterando la turbidez y la calidad microbiológica del agua. Este flujo descontrolado también podría influir en la temperatura del canal.</p>
	<p>La presencia de contaminación con materiales no degradables como plásticos, cauchos, etc, en subraya una seria problemática en la calidad del agua del canal de riego. Esta contaminación puede tener impactos adversos en la salud del ecosistema acuático y la idoneidad del agua para la agricultura, esta problemática afecta la calidad química y biológica del canal de riego. Esto incluye posibles cambios en la concentración de contaminantes y la presencia de microorganismos indeseados.</p>





	<p>La problemática de usar el agua del canal para fines de lavado de ropa destaca una problemática en la gestión del recurso hídrico. Esta actividad puede introducir contaminantes biológicos y químicos al canal, alterando la calidad del agua. La presencia de detergentes y productos químicos domésticos puede influir en la calidad química y la carga orgánica del agua</p>
	<p>En el punto de distribución se evidencia la presencia de contaminación por plásticos, residuos orgánicos y sedimentos provenientes de una calle principal que atraviesa al canal de riego, lo cual señala una grave problemática ambiental. Estos desechos pueden alterar significativamente los parámetros del agua, afectando la calidad física, química y biológica. La contaminación por residuos orgánicos contribuye a la carga biológica y los sedimentos afectan parámetros como la turbidez del agua.</p>



Anexo 35. Problemáticas evidenciadas del sistema de riego de Checa-Sidcay-Ricaurte.

Problemática	Análisis
	<p>La proximidad de establos de cerdos y pollos al canal de riego plantea una seria amenaza para la calidad del agua. Los desechos animales pueden introducir contaminantes orgánicos y nutrientes al agua, afectando la calidad microbiológica y química del canal. La presencia de bacterias, nitrógeno y fósforo en niveles elevados puede comprometer la salud del ecosistema acuático. La gestión inadecuada de estos desechos puede llevar a la proliferación de algas y la eutrofización</p>

	<p>En este punto se evidencia una fuerte infiltración de aguas residuales provenientes de un grupo de casas en el canal de riego, lo cual plantea una grave amenaza para la calidad del agua. Esta contaminación puede introducir una carga significativa de contaminantes químicos y biológicos, alterando parámetros clave como la concentración de nutrientes y la presencia de microorganismos patógenos. La calidad microbiológica y química del agua puede deteriorarse, comprometiendo su idoneidad para el riego.</p>
	<p>Se muestra una posible filtración no controlada del agua del canal, lo cual destaca una preocupante problemática en la gestión hídrica. Esta situación puede llevar a la pérdida de recursos esenciales y afectar negativamente la eficiencia del canal. La falta de control en la filtración plantea riesgos para la calidad del agua y la sostenibilidad del sistema de riego. Es imperativo abordar esta fuga no gestionada con medidas preventivas y reparaciones adecuadas para garantizar el uso eficiente del agua y la salud continua del canal.</p>
	<p>Se observa la presencia de tuberías que descargan agua de viviendas al canal de riego. Esto indica una conexión evidente entre las actividades humanas y la gestión del agua para la agricultura. Además, la existencia de estas tuberías revela la ausencia de un sistema adecuado de tratamiento de aguas residuales en la zona, lo que podría acarrear consecuencias negativas tanto para la calidad del agua como para la salud del suelo.</p>
	<p>En el punto de final del canal, se observa una contaminación notable por plásticos, residuos orgánicos y sedimentos provenientes de una calle principal que cruza el canal de riego. Esto indica una seria problemática ambiental. Estos desechos tienen el potencial de causar alteraciones significativas en los parámetros del agua, afectando la calidad física, química y biológica. La contaminación por residuos orgánicos contribuye a la carga biológica, mientras que los sedimentos inciden en parámetros como la turbidez del agua.</p>

Anexo 36. Problemáticas evidenciadas del sistema de riego de Chicticay-Paute.

Problemática	Análisis
	<p>En el punto de captación se evidencia contaminación por plásticos y la formación de un tipo de espuma en el agua, lo cual podría indicar una considerable contaminación por presencia de químicos, además, los desechos plásticos pueden alterar los parámetros del agua, afectando la calidad química y biológica. Este tipo de contaminación pueden influir en la oxigenación del agua.</p>
	<p>La exposición de tramos del canal de riego en áreas propensas a deslizamientos de tierra, piedras y otros materiales indica una amenaza significativa. La entrada de estos sedimentos al canal puede alterar parámetros como la turbidez, afectando la calidad física del agua. La presencia de materiales rocosos podría también introducir minerales indeseados, impactando la composición química del agua.</p>
	<p>En este punto se evidencia un excesivo crecimiento de plantas, inclusive con raíces penetrando el canal de riego, lo cual indica una problemática que afecta la calidad del agua y la eficiencia del sistema. Este fenómeno puede provocar obstrucciones, reduciendo el flujo y generando acumulación de sedimentos. La presencia de raíces puede también introducir materia orgánica al agua, afectando la carga biológica y la calidad microbiológica. Estos factores comprometen la utilidad del canal para el riego y pueden alterar parámetros como la turbidez y la concentración de nutrientes.</p>
	<p>En este punto se evidencia una infiltración de agua desde el canal a una quebrada, junto con la presencia de residuos de vidrio y plásticos, señalando una seria amenaza para la calidad del agua. Estos materiales contaminantes pueden alterar parámetros clave como la concentración de contaminantes químicos, se debe considerar que este tipo de infiltración compromete la disponibilidad del agua para el riego. La presencia de vidrios y plásticos implica riesgos y sugiere la posible presencia de contaminantes tóxicos.</p>

	<p>La posible presencia de detergentes en los canales de aguas causa la formación de un tipo de espuma. blanquisca. Esta contaminación se amplifica con la presencia de productos químicos, especialmente residuos de tratamiento de aguas residuales, algunos problemas en las instalaciones de tratamiento agravan la situación, contribuyendo a la formación de espumas en los canales de riego. La interacción de detergentes, productos químicos y residuos de tratamiento afecta la calidad del agua en estos canales.</p>
	<p>La existencia de contaminación con materiales no degradables, como plásticos, subraya una seria preocupación respecto a la calidad del agua en el canal de riego. Esta contaminación tiene consecuencias negativas en la aptitud del agua para actividades agrícolas, impactando tanto en la calidad química como biológica del canal. Se podrían experimentar alteraciones en la concentración de contaminantes y la presencia de microorganismos indeseados como resultado de este tipo de problemática.</p>

Anexo 37. Registro de clima del mes de octubre de 2023.

Tiempo mensual - Cuenca, Azuay, Ecuador

A partir de las 10:50 p. m. GMT-05:00



AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Bryam Fernando Chimbo Puma** portador de la cédula de ciudadanía N.º **0106977705**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Evaluación de la calidad del agua en sistemas de riego y cómo afectaría a la calidad del suelo y distribución del agua”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 28 de marzo del 2024

F: 

Bryam Fernando Chimbo Puma

0106977705

www.ucacue.edu.ec