

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**"Impacto del uso de aguas residuales en suelos agrícolas en la
comunidad de Santa Rosa de Huaysuy, Huanta- 2025"**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Ingeniería Ambiental y Geología

PRESENTADO POR:

Huaman Chavez, Nayeli Gabriela

ASESOR:

Dr. Santos Clemente Herrera Diaz

CO ASESOR:

Blgo. Luis Gonzalo La Torre Torres

HUANTA - PERÚ

2026

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**Informe final de tesis_Nayeli Gabriela Hu
aman Chavez.pdf**

RECuento DE PALABRAS

35866 Words

RECuento DE CARACTERES

202409 Characters

RECuento DE PÁGINAS

147 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.4MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 24, 2026 4:16 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 24, 2026 4:20 PM GMT-5

● **20% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 16% Base de datos de trabajos entregados
- 10% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)



Firmado digitalmente
por HERRERA DIAZ
Santos Clemente FAU
20574653798 soft
Fecha: 2026.07.13
08:26:00 -05'00'

Resumen



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

Creada por Ley N° 29658

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

"Año la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA AMBIENTAL

En la ciudad de Huanta, en el auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental del campus universitario de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, ubicado en la autopista Carlos Ch. Hiraoka, desvío a Ccollana, a los 01 días del mes de julio de 2026, siendo las 16:00 horas, se dio inicio al acto académico de sustentación de tesis con la presencia de los miembros del jurado calificador:

Dr. Solon Dante Carhuallanqui Ibarra

Mtro. Miguel Ángel Parejas Garavito

Dr. Santos Clemente Herrera Diaz

Miembro Titular 1 (Presidente)

Miembro titular 2

Miembro titular 3

Acto seguido se procedió a dar lectura a la Resolución de Vicepresidencia Académica N° 101-2026-CO-UNAH, en la que señala fecha, hora y designación de jurado evaluador para la sustentación de tesis de la **Bach. Nayeli Gabriela Huaman Chavez**, con la tesis titulada: **"Impacto del uso de aguas residuales en suelos agrícolas en la comunidad de Santa Rosa de Huaysuy, Huanta-2025"** asesorado por el Dr. Santos Clemente Herrera Diaz, para optar el Título profesional de: Ingeniera Ambiental.

Observaciones:

Terminada la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por los miembros del jurado evaluadores, los mismos que fueron defendidos y absueltos por la tesista. Acto seguido se procedió a calificar con el resultado siguiente:

Aprobado Regular	()
Aprobado Bueno	(X)
Aprobado Muy Buenos	()
Aprobado Excelente	()

Con la calificación de *Buena*..... (15)

Siendo las *17:05 horas*, se da por finalizada el acto académico de sustentación de tesis pasando a firmar los miembros del jurado evaluador.

[Firma]
Dr. Solon Dante Carhuallanqui Ibarra
DOCENTE
Dr. Solon Dante Carhuallanqui Ibarra
Miembro Titular 1 (Presidente)

[Firma]
Mtro. Miguel Ángel Parejas Garavito
Miembro Titular 2



[Firma]
Dr. Santos Clemente Herrera Diaz
DOCENTE ORDINARIO PRINCIPAL

Dr. Santos Clemente Herrera Diaz
Miembro Titular 3

"Impacto del uso de aguas residuales en suelos agrícolas en la comunidad de Santa Rosa de Huaysuy, Huanta- 2025"

AUTOR

Bach. Huaman Chavez Nayeli Gabriela

ASESOR

Dr. Santos Clemente Herrera Díaz

CO ASESOR

Blgo. Luis Gonzalo La Torre Torres

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con profundo amor, respeto y gratitud a mi familia, en especial a mis padres, Sabina y Pablo, quienes han sido la base sólida sobre la cual he construido cada paso de mi vida. Gracias por enseñarme, desde muy pequeña, que todo esfuerzo tiene su recompensa y que los sueños se alcanzan con constancia, disciplina y fe.

A ustedes, que nunca dudaron de mis capacidades y me sostuvieron incluso en los momentos más difíciles, les agradezco el apoyo incondicional, las palabras de aliento, los sacrificios silenciosos y la paciencia infinita.

Asimismo, expreso mi cariño y agradecimiento a mis hermanas, quienes con su compañía, comprensión y apoyo constante hicieron más llevadero este camino, dándome fuerza para continuar cuando parecía difícil.

Finalmente, reconozco con especial ternura a ese compañero fiel que, con su presencia diaria, su alegría y su calma, aportó un apoyo emocional invaluable en las largas jornadas de trabajo, recordándome la importancia de respirar, seguir adelante y no rendirme.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo y sincero agradecimiento a mi familia, por ser mi principal sostén durante todo este proceso. A mis padres, por su amor incondicional, sus consejos y su fortaleza. A mis hermanas, por su apoyo constante, su compañía y por alentarme a seguir adelante cuando más lo necesitaba.

Expreso mi sincero agradecimiento a mi asesor y coasesor por la orientación brindada durante el desarrollo de esta investigación. Su acompañamiento, observaciones y recomendaciones fueron determinantes para fortalecer el enfoque del estudio y asegurar el cumplimiento de los objetivos planteados.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de Huanta por la formación académica recibida y por facilitar los espacios y condiciones que permitieron la realización de este trabajo. Asimismo, reconozco la labor de los docentes que aportaron conocimientos fundamentales para mi preparación profesional, así como el apoyo de las áreas administrativas y académicas que contribuyeron al desarrollo adecuado de este proceso.

INDICE

INDICE DE TABLAS	xiv
INDICE DE FIGURAS	xvi
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	20
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.1. Descripción del problema	22
1.1.1. Formulación del Problema de Investigación.....	23
1.2. Objetivos de la Investigación	23
1.2.1. Objetivo general	23
1.2.2. Objetivos específicos.....	23
1.3. Justificación e importancia	24
1.3.1 Justificación teórica.....	24
1.3.2 Justificación metodológica.....	24
1.3.3 Justificación práctica.....	24
1.3.4. Justificación legal	24
1.4. Hipótesis	25
1.4.1. Hipótesis general	25
1.4.2. Hipótesis específicas.....	25
1.5. objetivos.....	25
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	26
2.1. Antecedentes de la investigación	26
2.1.1. Antecedentes internacionales	26

2.1.2. Antecedentes nacionales	28
2.1.3. Antecedentes locales	29
2.2. Bases Teóricas.....	30
2.2.1. Uso de aguas residuales en agricultura	30
2.2.2. Procesos de tratamiento de aguas residuales (PTAR).....	30
2.2.3. Calidad de agua de riego	30
2.2.4. Relación agua–suelo en sistemas de riego	31
2.2.5. Mecanismos fisicoquímicos del sistema agua residual–suelo agrícola.....	31
2.2.6. Marco Legal	32
2.3. Definición de Términos	35
2.3.1. Aguas residuales.....	35
2.3.2. PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales)	35
2.3.3. Parámetros fisicoquímicos del agua y suelo	36
2.3.4. Muestreo.....	38
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	39
3.1. Tipo y Nivel de Investigación.....	39
3.1.1. Tipo de investigación.....	39
3.1.2. Nivel de investigación	39
3.2. Ámbito Temporal y Espacial.....	39
3.2.1. Ámbito temporal.....	39
3.2.2. Ámbito espacial	39
3.2.3. Línea base ambiental diagnóstica	42

3.3. Población y Muestra	43
3.3.1. Población	43
3.3.2. Muestra	44
3.4. Instrumentos	45
3.5. Procedimiento	46
3.5.1. Selección de las Zonas de Muestreo.....	46
3.5.2. Determinación y Ubicación de Puntos de Muestreo	47
3.5.3. Selección de Parámetros Fisicoquímicos de suelo y agua.....	50
3.5.4. Recolección de Muestras	50
3.5.5. Envío de Muestras al Laboratorio	53
3.5.6. Procedimiento para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	53
3.5.7. Procedimiento para la determinación del pH suelo	54
3.5.8. Procedimiento para el cálculo de la densidad aparente	55
3.5.9. Procedimiento para la determinación de la Textura método Bouyoucos	56
3.5.10. Procedimiento para la determinación de la Compactación	57
3.6. Análisis de Datos	58
3.6.1. Procesamiento de datos	58
3.6.2. Análisis de normalidad y justificación del uso de Spearman	59
3.6.3. Criterio para la determinación del impacto del uso de aguas residuales	59
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1. Resultados.....	62

4.1.1. Evaluación de la concentración de parámetros fisicoquímicos del agua utilizada en los suelos agrícolas de la comunidad Santa Rosa de Huaysuy	62
4.1.2. Evaluación de la concentración de parámetros fisicoquímicos del suelo agrícola de la comunidad Santa Rosa de Huaysuy.....	77
4.1.3. Análisis de la relación de los parámetros fisicoquímicos del agua y suelo con los estándares de calidad ambiental en la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta.....	86
4.1.4. Determinación del impacto del uso de aguas residuales en suelos agrícolas en la comunidad de Santa Rosa de Huaysuy, Huanta	93
4.1.5. Estadística descriptiva de los parámetros y prueba de normalidad	96
4.2. Análisis	104
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....	109
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	110
CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
CAPÍTULO VIII: ANEXOS.....	125
8.1. Anexo A.....	125
8.1.1. Vistas fotográficas	125
8.2. Anexo B.....	136
8.2.1. Ficha de registro de datos en campo.....	136
8.3. Anexo C.....	140
8.3.1. Informes de ensayos de laboratorio	140
8.4. Anexo D.....	146
8.4.1. Memoria descriptiva de la infraestructura sanitaria de la localidad de Ayacucho (PTAR Totorillas, Ayacucho).....	146
8.5. Anexo E	149

8.5.1. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales (D.S. 004- 2017-MINAM).....	149
8.6. Anexo F	150
8.6.1. Matriz de consistencia	150

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Operacionalización de variables</i>	25
Tabla 2. <i>Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua – parámetros fisicoquímicos</i>	33
Tabla 3. <i>Rangos de parámetros fisicoquímicos basados en criterios agronómicos</i>	34
Tabla 4. <i>Caracterización preliminar de la población de estudio</i>	43
Tabla 5. <i>Descripción de los puntos de muestreo de agua en la zona de estudio</i>	48
Tabla 6. <i>Descripción de los puntos de muestreo de suelo en la zona de estudio</i>	49
Tabla 7. <i>Descripción del punto de muestreo de suelo extra</i>	49
Tabla 8. <i>Codificación de puntos de muestreo de agua y suelo para el análisis de datos</i> ..	58
Tabla 9. <i>Clasificación del impacto del uso de aguas residuales según la variación porcentual de los parámetros fisicoquímicos del suelo</i>	61
Tabla 10. <i>Resultados primer monitoreo agua, resultados de campo</i>	62
Tabla 11. <i>Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) analizadas en el laboratorio de la UNAH</i>	62
Tabla 12. <i>Resultados primer monitoreo agua, resultados de laboratorio UNALM</i>	65
Tabla 13. <i>Resultados del segundo monitoreo de agua con el multiparámetro HANNA</i>	68
Tabla 14. <i>Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) analizadas en el laboratorio de la UNAH</i>	68
Tabla 15. <i>Resultados segundo monitoreo de agua, analizados en la Universidad Nacional Agraria la Molina</i>	70
Tabla 16. <i>Resultados del multiparámetro HANNA de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta</i>	72
Tabla 17. <i>Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) analizadas en el laboratorio de la UNAH</i>	73
Tabla 18. <i>Resultados tercer monitoreo de agua, analizados en la Universidad Nacional Agraria la Molina</i>	75

Tabla 19. <i>Resultados primer monitoreo de suelo en el laboratorio de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta</i>	77
Tabla 20. <i>Resultados primer monitoreo suelo, analizados por la UNALM</i>	78
Tabla 21. <i>Resultados del segundo monitoreo de suelos en el laboratorio de la UNAH</i>	80
Tabla 22. <i>Resultados segundo monitoreo suelo, analizados por la UNALM.....</i>	81
Tabla 23. <i>Resultados del tercer monitoreo de suelos en el laboratorio de la UNAH</i>	83
Tabla 24. <i>Resultados tercer monitoreo suelo, analizados por la UNALM</i>	84
Tabla 25. <i>Cálculo de la variación porcentual y clasificación del impacto en los suelos irrigados con aguas residuales.....</i>	93
Tabla 26. <i>Estadístico descriptivo de los parámetros evaluados.....</i>	96
Tabla 27. <i>Prueba de normalidad de los parámetros físicoquímicos del agua y suelo según tipo de muestra</i>	100
Tabla 28. <i>Correlación de Rho de Spearman (Ro)</i>	102

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Ubicación geográfica de la zona de estudio</i>	40
Figura 2. <i>Gráfico representativo de las características sociodemográficas y socioeconómicas</i>	41
Figura 3. <i>Parcelas seleccionadas para los puntos de muestreo</i>	45
Figura 4. <i>Puntos de muestreo de agua y suelo</i>	48
Figura 5. <i>Recolección de muestras de agua en la parcela seleccionada</i>	51
Figura 6. <i>Recolección de muestras de suelo en la parcela seleccionada</i>	52
Figura 7. <i>Distribución de parámetros fisicoquímicos del agua según puntos de muestreo</i>	63
Figura 8. <i>Perfil hidroquímico del primer monitoreo de agua en los puntos de muestreo</i>	66
Figura 9. <i>Parámetros fisicoquímicos del agua pH, OD, DBO₅, CE y TDS</i>	69
Figura 10. <i>Concentración de los parámetros fisicoquímicos evaluados en cada punto de muestreo</i>	71
Figura 11. <i>Tercer monitoreo de agua - parámetros de campo y DBO₅</i>	73
Figura 12. <i>Concentración de parámetros fisicoquímicos e índices de calidad del agua en el tercer monitoreo por punto de muestreo</i>	76
Figura 13. <i>Principales parámetros fisicoquímicos del suelo en el primer monitoreo por muestra.</i>	79
Figura 14. <i>Resumen comparativo de las propiedades químicas y físicas del suelo por punto de muestreo durante el segundo monitoreo</i>	82
Figura 15. <i>Resumen comparativo de las propiedades físicas y químicas del suelo por punto de muestreo durante el tercer monitoreo</i>	85
Figura 16. <i>Comparación del Potencial de Hidrogeno (pH) en los tres monitoreos de agua con los ECA de agua</i>	86
Figura 17. <i>Comparación de la Conductividad Eléctrica en los tres monitoreos de agua con los ECA de agua</i>	88

Figura 18. <i>Comparación de los resultados de DBO₅ agua y Materia Orgánica suelo con los ECA de agua</i>	89
Figura 19. <i>Comparación de los resultados Potasio (K⁺) agua y Potasio (K) suelo</i>	91
Figura 20. <i>Comparación de los resultados Calcio (Ca²⁺): agua y carbonato de calcio (CaCO₃): suelo</i>	92
Figura 21. <i>Clasificación del impacto según variación porcentual del suelo irrigado</i>	95

RESUMEN

El uso de aguas residuales (AR) en la agricultura constituye una alternativa frente a la limitada disponibilidad de agua para riego, especialmente en zonas agrícolas donde existe presión sobre los recursos hídricos. Sin embargo, su aplicación requiere evaluación y seguimiento, debido a que puede modificar las propiedades fisicoquímicas del suelo, principalmente aquellas relacionadas con salinidad, materia orgánica, nutrientes y carbonatos. En ese contexto, la presente investigación tuvo como objetivo determinar el impacto del uso de aguas residuales en suelos agrícolas de la comunidad de Santa Rosa de Huaysuy, Huanta. La investigación fue de enfoque cuantitativo, de campo, con nivel descriptivo y componente correlacional, donde se realizaron tres monitoreos en puntos de agua de riego (P1–P4) y muestras de suelo agrícola (M1–M7). El primer monitoreo fue considerado como línea base ambiental diagnóstica, los datos fueron procesados mediante estadística descriptiva, prueba de normalidad, correlación Rho de Spearman y cálculo de variación porcentual entre el monitoreo 1 y el monitoreo 3, con la finalidad de clasificar el impacto como bajo, moderado o alto. Los resultados evidenciaron que el pH del agua se mantuvo estable, con valores aproximados entre 7.16 y 7.50, dentro del rango establecido para uso agrícola. La DBO₅ presentó valores bajos en el primer monitoreo, entre 4.0 y 8.1 mg/L O₂, por debajo del valor de referencia de 15 mg/L O₂, mientras que la conductividad eléctrica mostró variaciones mínimas durante el periodo evaluado. En el suelo, las parcelas irrigadas con aguas residuales presentaron materia orgánica entre 1.6 % y 2.0 %, mientras que la parcela de referencia M7 alcanzó valores cercanos a 3.9 %–4.0 %, lo que evidencia diferencias asociadas al estado y manejo del suelo. El cálculo de variación porcentual mostró impacto bajo en pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y potasio disponible; solo el carbonato de calcio presentó impacto moderado. Se concluye que el impacto del uso de aguas residuales en los suelos agrícolas evaluados fue moderado durante el periodo de estudio, debido a que un parámetro evaluado fisicoquímico presentó variaciones moderadas.

PALABRAS CLAVE: Aguas residuales, suelos agrícolas, parámetros fisicoquímicos, riego agrícola, impacto ambiental

ABSTRACT

The use of wastewater (WW) in agriculture is an alternative to the limited availability of irrigation water, especially in agricultural areas where water resources are under pressure. However, its application requires evaluation and monitoring, as it can modify the soil's physicochemical properties, primarily those related to salinity, organic matter, nutrients, and carbonates. In this context, the present research aimed to determine the impact of wastewater use on agricultural soils in the community of Santa Rosa de Huaysuy, Huanta. The research employed a quantitative, field-based approach, with a descriptive and correlational component. Three monitoring events were conducted at irrigation water points (P1–P4) and on agricultural soil samples (M1–M7). The first monitoring event served as a diagnostic environmental baseline. The data were processed using descriptive statistics, normality tests, Spearman's rho correlation, and calculation of the percentage variation between monitoring events 1 and 3, in order to classify the impact as low, moderate, or high. The results showed that the water's pH remained stable, with values between 7.16 and 7.50, within the range established for agricultural use. BOD₅ showed low values in the first monitoring, between 4.0 and 8.1 mg/L O₂, below the reference value of 15 mg/L O₂, while electrical conductivity showed minimal variations during the evaluation period. In the soil, the plots irrigated with wastewater showed organic matter between 1.6% and 2.0%, while the reference plot M7 reached values close to 3.9%–4.0%, demonstrating differences associated with soil condition and management. The percentage variation calculation showed a low impact on pH, electrical conductivity, organic matter, and available potassium; only calcium carbonate showed a moderate impact. It is concluded that the impact of wastewater use on the evaluated agricultural soils was moderate during the study period, as one physicochemical parameter showed moderate variations.

KEYWORDS: Wastewater, agricultural soils, physicochemical parameters, agricultural irrigation, environmental impact.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de recursos hídricos constituye uno de los principales desafíos ambientales del siglo XXI, particularmente en regiones donde el crecimiento poblacional, la expansión urbana, el cambio climático y la intensificación de las actividades agrícolas han incrementado la presión sobre las fuentes de agua dulce superficiales y subterráneas (UNESCO, 2024). A nivel mundial, la agricultura es responsable de aproximadamente el 70 % de las extracciones totales de agua dulce, lo que genera una competencia creciente entre el uso agrícola, el consumo humano y las demandas industriales, especialmente en escenarios de estrés hídrico (FAO, 2022).

La escasez progresiva de recursos hídricos, el floreciente crecimiento de la población mundial y las actividades agrícolas asociadas han impulsado en las últimas décadas la búsqueda de fuentes alternativas de agua para riego, entre las que destaca el reúso de aguas residuales (AR) (Adedosu et al., 2025). El reúso de AR puede ser una fuente de materias primas como nutrientes, además, contribuyen a reducir la energía necesaria en la extracción de estas materias primas para su uso como fertilizantes. La combinación de una demanda de agua creciente, especialmente en agricultura y una disponibilidad de agua limpia cada vez menor está impulsando un uso cada vez mayor de fuentes de aguas no convencionales, como los efluentes urbanos (Mendoza-Retana et al., 2021a).

El reúso de efluentes tratados como recurso para riego se enmarca dentro de la gestión integrada de recursos hídricos y de modelos de economía circular, dado que permite recuperar nutrientes y agua que de otra forma se perderían, contribuyendo a la sostenibilidad de sistemas agrícolas en regiones con disponibilidad limitada de agua superficial o subterránea (Leal-Mendoza et al., 2023). Las directrices de la Organización Mundial de la Salud para la utilización segura de aguas residuales en agricultura recomiendan un manejo basado en evaluación de riesgos y barreras múltiples para proteger la salud humana y ambiental (Aquaculture & Organization, 1989). Asimismo, revisiones recientes destacan que el reúso, cuando está bien gestionado, puede mejorar la productividad de los cultivos y reducir la dependencia de fertilizantes químicos, por su contenido en potasio, nitrógeno y micronutrientes (Sdiri et al., 2023).

No obstante, el uso prolongado de aguas residuales en la agricultura puede generar diversos impactos significativos en las propiedades fisicoquímicas del suelo. Investigaciones recientes evidencian que el riego con efluentes puede ocasionar riesgos como la salinidad,

los metales pesados y el desequilibrio de nutrientes, especialmente en los suelos calcáreos, por lo que recomiendan gestionarse con cuidado (Saleh et al., 2025). Asimismo, el aumento de los riesgos microbiológicos, el deterioro de la calidad del suelo, el aumento de los niveles de patógenos y la mayor contaminación de los alimentos se han relacionado con la presencia residual de patógenos y contaminantes emergentes, lo cual, representa un riesgo potencial para la salud humana, particularmente en cultivos hortícolas que se consumen crudos (Obijanya et al., 2025).

En Latinoamérica, diversos estudios han evaluado los efectos del riego con aguas residuales en características del suelo y la salud ambiental. Por ejemplo, trabajos publicados en *Agronomía Mesoamericana* han reportado cambios en la disponibilidad de nutrientes y en parámetros de salinidad en suelos irrigados con efluentes de acuicultura, junto con aumentos en la carga microbiana y presencia de metales pesados, lo cual resalta la necesidad de un manejo adecuado del reúso en condiciones tropicales (Leal-Mendoza et al., 2023). Estos hallazgos coinciden con investigaciones en otras partes de la región que documentan la acumulación de elementos como cadmio y plomo en suelos y alimentos bajo esquemas de riego con aguas residuales (Carrillo de la Rosa & Araque, 2008).

En el Perú, la gestión de la calidad del agua y del suelo se encuentra regulada por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), establecidos mediante el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM para agua y el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM para suelo, los cuales definen los límites permisibles de parámetros fisicoquímicos y biológicos según el uso del recurso. Sin embargo, a pesar de este marco normativo, persiste una limitada disponibilidad de estudios científicos locales que evalúen de manera integrada el impacto del uso de aguas residuales sobre los suelos agrícolas, especialmente en zonas netamente agrícolas.

En este sentido, el presente estudio evalúa, desde un enfoque descriptivo-correlacional, el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua residual utilizada para riego y su relación con las propiedades fisicoquímicas de los suelos agrícolas de la comunidad de Santa Rosa de Huaysuy. La investigación no pretende demostrar causalidad experimental, debido a que no dispone de una línea base previa al uso de aguas residuales ni de un diseño de intervención controlado; más bien, busca aportar evidencia local sobre las condiciones observadas durante el periodo de monitoreo, comparar los resultados del agua con los Estándares de Calidad Ambiental vigentes y analizar el estado del suelo mediante criterios agronómicos. Con ello, se espera contribuir a la gestión sostenible del recurso hídrico, al

reúso seguro de aguas residuales y a la toma de decisiones de autoridades y agricultores de la zona.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

El agua con fines agrícolas se encuentra entre el 70% de las extracciones de agua dulce, por tanto, se crea una fuerte competencia entre la agricultura y otros fines, como el industrial y el doméstico (FAO, 2014). La reutilización de aguas residuales es urgente hoy en día considerando la escasez de agua y el aumento del consumo de agua a través de las actividades humanas (Al-Hazmi et al., 2023). Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) reciben y tratan grandes volúmenes de aguas residuales domésticas, industriales y urbanas que contienen microorganismos patógenos y no patógenos, compuestos químicos, metales pesados y otras sustancias potencialmente peligrosas (Ariyadasa et al., 2023). Estas aguas generalmente contienen numerosos nutrientes inorgánicos y orgánicos esenciales, considerados necesarios para el metabolismo vegetal (Natasha et al., 2023). Sin embargo, las AR pueden suponer un riesgo para la salud al introducir patógenos en el suelo y los cultivos irrigados, especialmente en los cultivos de regadío que se consumen crudas (Obayomi et al., 2019). Existen los riesgos de bioacumulación en suelos y cultivos de metales pesados, contaminantes emergentes, metabolitos intermedios y patógenos, y a sus efectos en la salud humana con el riego con agua de riego a largo plazo (Lyu et al., 2022).

Aprovechar en los cultivos, de una manera segura, el agua residual que contiene materia orgánica y nutrientes, aliviaría en parte esta presión sobre los recursos hídricos (FAO, 2014). Las aguas residuales también contienen componentes que pueden promover el crecimiento, incluyendo Nitrógeno (N) y Fósforo (P) y otros nutrientes beneficiosos (Poustie et al., 2020). La exposición a elementos tóxicos a través del consumo de vegetales contaminados, incluso en concentraciones muy bajas, se está convirtiendo en un grave problema para la salud humana en muchos países (Aslam et al., 2023).

Esta investigación sobre el impacto del uso de aguas residuales en suelos agrícolas en la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, ubicada en la provincia de Huanta de la región Ayacucho, aportará un conjunto de datos único, ya que esta comunidad resalta por ser la fuente principal de abastecimiento de cultivos a nivel del distrito Huanta, este estudio puede contribuir con información científica actualizada que ayude a implementar políticas locales para la gestión sostenible del agua y el tratamiento adecuado de las Aguas Residuales. La

caracterización físico-química del agua utilizada para el riego permitirá establecer límites y normativas específicas para la zona del valle. Desde el enfoque académico, la investigación aportará al cuerpo de conocimientos en áreas como ingeniería ambiental, agronomía y salud pública, promoviendo el análisis interdisciplinario y el desarrollo de soluciones sostenibles adaptadas al contexto peruano.

1.1.1. Formulación del Problema de Investigación

Interrogante general

¿Cuál es el impacto del uso de aguas residuales en suelos agrícolas en la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta – 2025?

Interrogante específico

1. ¿Cuál es la concentración de parámetros fisicoquímicos del agua de riego utilizada en los suelos agrícolas de la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta?
2. ¿Cuál es la concentración de parámetros del suelo agrícola de la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta?
3. ¿Cuál es la relación entre los parámetros fisicoquímicos del suelo y del agua con los Estándares de Calidad Ambiental?

1.2. Objetivos de la Investigación

1.2.1. Objetivo general

Determinar el impacto del uso de aguas residuales en suelos agrícolas en la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta – 2025.

1.2.2. Objetivos específicos

Evaluar la concentración de parámetros fisicoquímicos del agua utilizada en suelos agrícolas en la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta – 2025.

Evaluar la concentración de parámetros fisicoquímicos del suelo agrícola en la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta – 2025.

Analizar la relación de los parámetros fisicoquímicos del agua y suelo con los Estándares de Calidad Ambiental en la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1 Justificación teórica

La investigación sobre el impacto del uso de aguas residuales en cultivos agrícolas en la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, es necesaria para la implementación de políticas ambientales a nivel local. El propósito de este estudio es examinar el impacto del riego con aguas residuales en suelos agrícolas (Muhaidat et al., 2019), los resultados enfatizarán la necesidad de pretratamiento de aguas residuales y monitoreo de rutina para evitar la contaminación de los cultivos alimentarios del sistema de riego con aguas residuales (Khan et al., 2013).

1.3.2 Justificación metodológica

Se centra en determinar los impactos de las aguas residuales por lo cual se necesitan mecanismos que se empleen para conocer las características fisicoquímicas del suelo y agua para riego de esta zona agrícola. A través de instrumentos técnicos y científicos que permitan identificar, cuantificar y analizar las características fisicoquímicas tanto del agua utilizada para el riego como del suelo agrícola. Asimismo, se incluye la observación directa in situ, que permite identificar condiciones ambientales y prácticas agrícolas asociadas al uso de aguas residuales, que brinda un enfoque complementario a la investigación.

1.3.3 Justificación práctica

Este estudio busca proporcionar información mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos, estos datos no solo permitirán a los agricultores y autoridades locales tomar decisiones base para mejorar sus prácticas agrícolas y de manejo del recurso hídrico, por ello, contar con evidencia práctica local se vuelve fundamental para el diseño de estrategias (*Gestión del recurso hídrico en la ruralidad, mediante estrategias de fortalecimiento comunitario, 2016*).

1.3.4. Justificación legal

la Ley General del Ambiente (Ley N.º 28611) exige que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente (*Ley General del Ambiente. | SINIA, 2009*). Asimismo, la Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos, el cual, establece que el agua es un recurso natural de carácter patrimonial de la Nación y que su gestión debe asegurar su uso sostenible, en especial cuando se emplea para fines agrícolas (*Ley de Recursos Hídricos | SINIA, 2009*).

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Existe un impacto significativo del uso de aguas residuales para riego sobre las propiedades fisicoquímicas de los suelos agrícolas de la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta – 2025

1.4.2. Hipótesis específicas

H.1. Las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos del agua de riego presentan variación respecto a los valores de referencia establecidos en los ECA para agua de uso agrícola.

H.2. Las propiedades fisicoquímicas del suelo agrícola presentan diferencias entre las parcelas evaluadas irrigadas con aguas residuales y la parcela de referencia.

H.3. Existe asociación significativa entre los parámetros fisicoquímicos del agua de riego y los parámetros fisicoquímicos del suelo agrícola evaluados en la comunidad de Santa Rosa de Huaysuy.

1.5. objetivos

Variable dependiente: Suelo agrícola

Variable independiente: Uso de aguas residuales

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Instrumentos
VI Uso de aguas residuales	Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) reciben y tratan grandes volúmenes de aguas residuales (Ariyadasa et al., 2023). Estas aguas generalmente contienen numerosos nutrientes inorgánicos y orgánicos esenciales, considerados necesarios	D1: Calidad fisicoquímica del agua	pH, temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales (TDS), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica, materia orgánica	Valores numéricos obtenidos por muestra	Multiparámetro, frascos de recolección, laboratorio certificado

	para el metabolismo vegetal (Natasha et al., 2023).	D2: Comparación con estándares	Diferencias respecto a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA)	Si cumple o excede los valores de referencia	Normativa ECA para agua del MINAM, análisis comparativo	
VD	Suelo agrícola	Existen los riesgos de bioacumulación en suelos y cultivos de metales pesados, contaminantes emergentes, metabolitos intermedios y patógenos, y a sus efectos con el riego con AR (Lyu et al., 2022).	D1: Propiedades fisicoquímicas del suelo	pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, salinidad	Valores por muestra de suelo	Bolsas estériles, laboratorio, ficha de campo
			D2: Comparación con criterios de calidad	Diferencias respecto a los criterios de calidad ambiental del suelo	Si cumple o excede los valores de referencia	Normativa FAO para suelo, análisis comparativo

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Ortega et al., (2025) menciona en su investigación los efectos del riego con aguas residuales recuperadas en la productividad de las plantas. Para abordar esta brecha, se realizaron los análisis respectivos de parámetros fisicoquímicos, los resultados indicaron una mayor disponibilidad de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Na y B), lo que redujo la necesidad de fertilización. El riego prolongado incrementó la acumulación de NO_3^- , P, Na, B y Zn en el suelo, a la vez que redujo los niveles de Fe y Cu. El Na y el B alcanzaron niveles potencialmente tóxicos en el suelo.

En Túnez según Bedbabis et al. (2014) se llevó a cabo una investigación basándose en diferentes fuentes de riego. En los tratamientos de AR, se suministró una cantidad anual de 5000 m³ (3) ha (-1) de agua a un huerto. Se recogieron muestras de suelo al inicio del estudio y después. Se investigaron las principales propiedades del suelo, como la Conductividad Eléctrica (CE), el pH, los Cationes solubles, el cloruro (Cl^-), la tasa de adsorción de sodio (SAR), la Materia Orgánica (MO), así como la tasa de infiltración.

Según Moulia et al., (2023) en su artículo donde evaluó el efecto del uso de aguas residuales (AR) sobre la composición del suelo. Se caracterizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, y se monitorearon las comunidades bacterianas del agua y suelo. A pesar de las diferencias microbianas entre las aguas, las comunidades del suelo mostraron estabilidad, aunque se evidenció transferencia de bacterias del agua al suelo (43–70%). Además, la calidad del agua influyó en la abundancia de genes funcionales relacionados con el ciclo del nitrógeno, siendo más notable en suelos regados con AR.

Según Hentati et al., (2014) evaluó en dos muestras de suelo agrícola, el pH del suelo, la granulometría de la conductividad eléctrica, el riesgo potencial de salinidad, la capacidad de retención de agua y la composición química, así como el contenido de Materia Orgánica, los microorganismos patógenos y las concentraciones de metales pesados en los suelos regados con AR. Este estudio mostró un alto nivel de flora bacteriana en los suelos regados con AR se correlacionó significativamente ($p < 0,05$) ($r = \sim 0,5$) con el alto nivel de MO.

En el estudio de Durán, (2016) en Colombia evaluó la calidad de agua mediante parámetros fisicoquímicos, químicos, microbiológicos y biológicos, constituyéndose en un referente metodológico para investigaciones con aguas residuales. Se midieron variables como Turbiedad, Temperatura, Sólidos Disueltos Totales, Conductividad, pH, Nitratos, Fosfatos, Oxígeno Disuelto, DBO₅ y DQO, además de coliformes totales y fecales. La metodología incluyó revisión de estudios recientes, análisis estadístico descriptivo y comparación frente a normas ambientales, integrando finalmente todos los parámetros en un Índice de Calidad de Agua (IQA). Los resultados evidenciaron altos niveles de turbiedad, SDT, fosfatos y coliformes fecales, mientras que la DBO₅, pH y nitratos se mantuvieron en rangos aceptables, el IQA concluyó un estado altamente contaminado, resaltando la importancia de combinar indicadores fisicoquímicos y biológicos para evaluar impactos asociados al uso de aguas residuales.

En el estudio realizado por Marin et al., (2019) en Venezuela, donde se evaluó la calidad del agua mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA), integrando catorce parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Entre ellos se midieron temperatura, pH, dureza, conductividad eléctrica, nitratos, nitritos, sulfatos, cloruros, hierro, manganeso, sodio, potasio, fenoles y coliformes fecales. La metodología consistió en el muestreo de ocho pozos durante tres meses, determinación de parámetros in situ y en laboratorio siguiendo métodos estándar, asignación de pesos relativos y cálculo del ICA mediante el método aritmético ponderado.

Los resultados mostraron excesos de nitritos, nitratos, fenoles, manganeso y coliformes fecales, además los valores del ICA variaron de agua excelente a no apta para consumo humano.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Leonel & Tonetti, (2021), mencionan en su revisión que la reutilización de aguas residuales está asociada para el rendimiento de los cultivos y el suelo, en relación a los procesos de desinfección más comunes utilizados para tratar las aguas residuales para el riego de cultivos. Además de todas estas ventajas, la adopción sostenible de AR requiere consideraciones sobre los impactos en la productividad de los cultivos, las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo, también aporta minerales, materia orgánica y nutrientes como nitrógeno y fósforo para el cultivo.

Aguilar Sánchez et al., (2021) describe una investigación de tipo experimental que consistió en recoger 5 muestras de terrenos de cultivo con el propósito de verificar el potencial de Hidrógeno (pH), Conductividad Eléctrica (C. E.), Fosforo (P), Potasio (K), Carbono (C), Materia Orgánica, Nitrógeno (N), el análisis mecánico, la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), cantidad de Calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}), Potasio (K^{+}), concentración de Sodio (Na^{+}) e Hidruro de Calcio ($\text{Ca}^{+2} + \text{H}^{+}$), los resultados relevantes destacan que la mayoría de muestras presentan concentraciones superiores de componentes químicos.

Mendoza-Retana et al., (2021) resalta en su investigación que el tratamiento y uso de aguas residuales constituye un reto, porque con frecuencia esa es la única opción con la que cuentan los agricultores. Estas aguas representan un recurso valioso, tanto desde el punto de vista económico como ambiental en la conservación de recursos hídricos y reciclaje de nutrientes. El contenido de AR puede tener como consecuencia, la degradación de las propiedades físicas y químicas del suelo, no solo resultando en contaminación del suelo, también conduce a una bioacumulación.

Leon Santa María, (2021) desarrolló una investigación en el departamento Huánuco, con el objetivo de evaluar el Índice de Calidad Ambiental del Suelo mediante la caracterización taxonómica de los suelos, el análisis de sus propiedades fisicoquímicas y la aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP). Para ello, realizó 20 calicatas y 45 muestreos de suelo, evaluando parámetros como textura, pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo,

potasio, capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio, aluminio, hidrógeno y cadmio, contrastando este último con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo vigentes en el Perú. Los resultados evidenciaron la presencia de nueve subgrupos de suelo, además, el Índice de Calidad Ambiental del Suelo alcanzó un valor de 41,48 %, clasificándose como de calidad ambiental regular. Esto demuestra la importancia de evaluar indicadores fisicoquímicos y ambientales del suelo para determinar los efectos que puede generar el uso de aguas residuales en actividades agrícolas, especialmente en parámetros como pH, materia orgánica, nutrientes y metales pesados, los cuales influyen directamente en la calidad ambiental y productividad del suelo.

2.1.3. Antecedentes locales

Pozo Huilca, (2024) evaluó la calidad del agua en Waper con fines agrícolas en Ayacucho mediante un estudio observacional descriptivo, realizando el muestreo en dos puntos, donde se analizaron parámetros fisicoquímicos como pH, Conductividad Eléctrica, Cloruros, Carbonatos Y Bicarbonatos, y parámetros químicos como Calcio, Magnesio, Sodio, Sulfatos, Nitratos y Boro, en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental del D.S. N°004-2017-MINAM para riego. Los resultados mostraron que todos los parámetros evaluados se ubicaron dentro de los límites permitidos para uso agrícola. Finalmente, la clasificación C3S1 determinó una alta salinidad, pero bajo riesgo sódico, concluyendo que el agua es apta para riego en cultivos tolerantes a salinidad y con suelos de buena permeabilidad.

Espinoza Tacuri, (2015) caracterizó la calidad del agua del río Alameda aplicando el Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (WQI-NSF) en siete zonas de muestreo durante un año. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos como pH, Oxígeno Disuelto, Temperatura, Sólidos Totales Disueltos, Turbidez, Nitratos, Fosfatos y Demanda Bioquímica de Oxígeno, además del parámetro biológico coliformes fecales, siguiendo estándares de muestreo y análisis en campo y laboratorio. Los resultados evidenciaron un deterioro progresivo de la calidad del agua desde la parte alta hacia la parte baja de la cuenca, pasando de “buena” a “mala” según el índice. El análisis de conglomerados demostró cuatro agrupaciones de zonas: aguas no contaminadas, medianamente contaminadas, contaminadas y altamente contaminadas.

Ortega (2021) evaluó el impacto del riego con aguas residuales domésticas tratadas sobre la fertilidad del suelo y la productividad agrícola, este estudio empleó un diseño experimental con parcelas control y tratadas, monitoreando parámetros fisicoquímicos del suelo como pH, Conductividad Eléctrica, Materia Orgánica, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Capacidad de Intercambio Catiónico y Salinidad Total. Asimismo, se cuantificaron metales pesados como cadmio, plomo y arsénico, siguiendo protocolos de análisis de laboratorio certificados. Los resultados mostraron incrementos significativos en materia orgánica, nitrógeno y fósforo en suelos irrigados con aguas residuales, favoreciendo la productividad; sin embargo, se observó aumento progresivo de salinidad y ligeras acumulaciones de metales pesados sin superar los límites permisibles. El estudio concluyó que el uso de aguas residuales puede mejorar la fertilidad y rendimiento agrícola, pero requiere monitoreo constante para evitar salinización y contaminación por metales.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Uso de aguas residuales en agricultura

Esta técnica es relevante en zonas con escasez de agua, ya que aprovecha los nutrientes presentes en las aguas residuales para reducir la necesidad de fertilizantes químicos y mejorar la fertilidad del suelo, constituyen una fuente alternativa de agua que puede contribuir a aliviar la presión sobre los recursos de agua dulce, a la vez que mejora la productividad agrícola (Mizyed, 2025) y se presenta como una estrategia prometedora para la conservación del agua y el reciclaje de nutrientes (Rodrigues-Silva et al., 2025).

2.2.2. Procesos de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Una PTAR orgánica consiste en altos niveles de DQO y DBO que requieren múltiples etapas de tratamiento consecutivas que comienzan con el tratamiento preliminar, el tratamiento químico, el tratamiento biológico, el tratamiento terciario y el tratamiento de lodos («Synthesis of wastewater treatment process (WWTP) and supplier selection via Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)», 2021).

2.2.3. Calidad de agua de riego

Se define a partir de tres criterios fundamentales: Salinidad, Sodicidad y Toxicidad, los cuales determinan su efecto sobre el suelo y el rendimiento de los cultivos. El criterio de salinidad hace referencia a la concentración total de sales solubles presentes en el agua; niveles elevados pueden incrementar la salinidad del suelo y generar un efecto osmótico,

reduciendo la capacidad de las raíces para absorber agua, aun cuando el suelo parezca húmedo (Palomino Simbrón, 2017).

2.2.4. Relación agua–suelo en sistemas de riego

La interacción entre el agua de riego y el suelo genera procesos de Intercambio Iónico, disolución y precipitación de sales, además que la conductividad eléctrica del agua influye directamente en la estructura del suelo, valores elevados pueden afectar cultivos hortícolas sensibles (*Water quality for agriculture*, 2006). Asimismo, el pH del suelo influye en la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, es decir, este factor puede ser la causa de que se presente deficiencia, toxicidad o que los elementos no se encuentren en niveles adecuados (Ibarra Castillo et al., 2009).

2.2.5. Mecanismos fisicoquímicos del sistema agua residual–suelo agrícola

El uso de aguas residuales en riego agrícola puede modificar las propiedades del suelo mediante el ingreso de sales disueltas, materia orgánica biodegradable, nutrientes y cationes como calcio, magnesio, sodio y potasio. La conductividad eléctrica del agua expresa la cantidad de iones presentes; por ello, cuando el agua de riego contiene mayor concentración de sales, puede incrementar la fuerza iónica de la solución del suelo y favorecer cambios en la salinidad edáfica. Sin embargo, la magnitud de estos cambios depende de la textura, drenaje, frecuencia de riego, lavado de sales, manejo agrícola y capacidad tampón del suelo.

En suelos con presencia de carbonatos, el sistema carbonato-bicarbonato cumple una función amortiguadora del pH. La presencia de CaCO_3 puede neutralizar la acidez y mantener el pH en rangos de neutralidad o ligera alcalinidad. Por ello, una asociación positiva entre pH y conductividad eléctrica no debe interpretarse automáticamente como efecto causal del riego con aguas residuales, sino como una relación entre el contenido iónico del sistema y la capacidad de amortiguación del suelo. Asimismo, la materia orgánica aportada por el agua residual puede estimular la actividad microbiana, pero su acumulación final en el suelo depende también de la labranza, la extracción por cultivos, la cobertura vegetal y el historial agronómico de cada parcela.

2.2.6. Marco Legal

a) OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales DS N° 022-2009

Esta normativa define los requerimientos estructurales, operativos y funcionales que deben implementarse en cada etapa de tratamiento: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario, incluyendo procesos complementarios como desinfección, espesamiento y manejo de lodos. También precisa los parámetros físicoquímicos y microbiológicos que deben controlarse como DBO, DQO, SST, coliformes, nutrientes y metales, para asegurar una operación adecuada y una depuración eficiente (*OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales DS N° 022-2009*, 2009).

b) Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El Decreto Supremo establece los límites máximos permitidos para diversos elementos, sustancias y parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, con el objetivo de asegurar que los cuerpos hídricos, en su condición de componentes esenciales de los ecosistemas acuáticos no representen peligro alguno a la salud humana.

Asimismo, esta norma consolida y actualiza las disposiciones emitidas previamente mediante los Decretos Supremos N° 002-2008-MINAM, N° 023-2009-MINAM y N° 015-2015-MINAM, los cuales aprobaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. De esta manera, el Decreto compila, modifica y deroga ciertos valores, parámetros, categorías y subcategorías establecidos en dichas normas anteriores, manteniendo solo aquellos criterios que continúan vigentes. Todo ello queda regulado en el cuerpo del Decreto Supremo y en la figura que constituye parte integral del mismo (*Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias | SINIA*, 2017).

b.1. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Corresponde al uso del agua destinada al riego de cultivos y bebida de animales, y establece los niveles máximos permitidos de sustancias químicas, elementos, compuestos orgánicos, microorganismos y parámetros físico-químicos que garantizan la protección de la salud humana y la integridad de los ecosistemas agrícolas y pecuarios.

Esta categoría regula la calidad del agua utilizada en actividades agrícolas, especialmente en sistemas de riego por gravedad, aspersión o microirrigación, con el fin de evitar la acumulación de sales, metales, nutrientes o agentes patógenos en el suelo, así como prevenir riesgos para animales de crianza que consuman directamente esta agua.

Tabla 2*Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua – parámetros fisicoquímicos*

Parámetro	Unidad	D1: Agua para riego no restringido	D1: Agua para riego restringido	D2: Bebida de animales
Aceites y Grasas	mg/L	5	—	10
Bicarbonatos	mg/L	518	—	—
Cianuro Wad	mg/L	0,1	—	0,1
Cloruros	mg/L	500	—	—
Color	Color verdadero Escala PtV	100 (a)	—	100 (a)
Conductividad	µS/cm	2 500	—	5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15	—	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	—	40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2	—	0,5
Fenoles	mg/L	0,002	—	0,01
Fluoruros	mg/L	1	—	—
Nitratos (NO ₃ ⁻ -N) + Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	100	—	100
Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	10	—	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	—	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	—	6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000	—	1 000
Temperatura	°C	Δ 3	—	Δ 3

Nota. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría 3.

c) Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)

Herramienta oficial desarrollada en el Perú para evaluar el estado ambiental de los cuerpos de agua naturales, permitiendo una interpretación integral de diversos parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos. Esta metodología forma parte de los lineamientos técnicos establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM) para el monitoreo y la gestión de la calidad del agua en el país. Su finalidad es brindar un indicador sintético que represente el grado de alteración o conservación de un ecosistema acuático, facilitando la toma de decisiones en materia ambiental y de gestión hídrica (*Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)* | SINIA, 2020).

d) Clasificación de la calidad ambiental del suelo

Se define como la capacidad que tiene el suelo para desempeñar sus funciones ecológicas, productivas y ambientales de manera sostenible, manteniendo sus propiedades físicas, químicas y biológicas dentro de condiciones que permitan el desarrollo de los ecosistemas y las actividades humanas sin generar efectos adversos sobre el ambiente, considerando la aptitud del suelo para sustentar el crecimiento de las plantas, regular el ciclo de nutrientes, almacenar y filtrar agua, mantener la biodiversidad y contribuir a la conservación de los recursos naturales (OECD & FAO, 2022).

Tabla 3

Rangos de parámetros fisicoquímicos basados en criterios agronómicos

Parámetro	Unidad	Calidad Baja	Calidad Moderada	Calidad Alta	Interpretación
pH	Unidad de pH	< 5,5 o > 8,5	5,5 – 6,0 y 8,0 – 8,5	6,0 – 8,0	Determina la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
Conductividad Eléctrica (CE)	dS/m	> 4,0	2,0 – 4,0	< 2,0	Indica el grado de salinidad del suelo.
Materia Orgánica (MO)	%	< 2,0	2,0 – 4,0	> 4,0	Refleja el nivel de fertilidad y actividad biológica.
Fósforo Disponible (P)	ppm	< 7	7 – 15	> 15	Nutriente esencial para el crecimiento vegetal.

Potasio Disponible (K)	ppm	< 80	80 – 150	> 150	Favorece el desarrollo y resistencia de los cultivos.
Carbonato de Calcio (CaCO ₃)	%	> 15	5 – 15	< 5	Influye en la alcalinidad y disponibilidad de nutrientes.

Nota. Criterios agronómicos de fertilidad de suelos utilizados por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), la FAO y laboratorios de análisis de suelos.

2.3. Definición de Términos

2.3.1. Aguas residuales

Son un efluente líquido al cual se le ha alterado su composición inicial debido al impacto ambiental que representa, su estudio ha venido de la mano con el tratamiento de la misma (Alfaro-Arrieta, 2023), estas son generadas por actividades domésticas, municipales e industriales contienen diversos componentes característicos, entre ellos las excretas humanas como heces y orina, el agua utilizada en duchas y baños, restos de comida, así como productos empleados para la limpieza y el mantenimiento del hogar. Además de estos elementos predominantes, también pueden encontrarse múltiples compuestos orgánicos e inorgánicos en bajas concentraciones. Debido a esta diversidad de sustancias, las aguas residuales suelen describirse y evaluarse considerando sus propiedades físicas, químicas y sus componentes biológicos, lo que permite comprender mejor su comportamiento y los posibles riesgos asociados (Egusquiza Córdova, 2023).

2.3.2. PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales)

Instalación que recibe y depura las aguas residuales generadas por actividades domésticas, municipales e industriales, mediante la aplicación de procesos físicos, químicos y biológicos orientados a reducir sólidos, materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos y compuestos tóxicos. El propósito central es transformar el agua cruda en un efluente seguro que pueda ser descargado al ambiente o reutilizado en actividades autorizadas, como el riego agrícola o la recarga de acuíferos. Diversos organismos señalan que las PTAR cumplen un rol esencial en la protección de la salud pública y en la conservación de los ecosistemas, al minimizar los riesgos asociados a la contaminación hídrica (Instituto de aguas, 2024). Del mismo modo, el Ministerio de Vivienda del Perú sostiene que estas plantas permiten mejorar

la disponibilidad del recurso hídrico y promover el aprovechamiento sostenible, especialmente en zonas urbanas y agrícolas donde la demanda es creciente (*PTAR y PTAP*, 2025).

2.3.3. Parámetros fisicoquímicos del agua y suelo

a) pH

El pH (potencial de hidrógeno) determina el grado de adsorción de iones (H^+) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino. Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo (*Propiedades Químicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*, 2025).

b) Conductividad Eléctrica (CE)

Es una medida de la capacidad del suelo, específicamente, de la solución presente en sus poros para conducir la corriente eléctrica. Esa capacidad depende de la concentración de iones (sales disueltas) en el agua intersticial del suelo: cuantos más iones, mayor será la CE, por lo cual esta se considera un indicador indirecto de la salinidad del suelo, así como de su fertilidad, disponibilidad de nutrientes y otras propiedades edáficas (Fritz et al., 1999).

c) Materia Orgánica (MO)

Base de la estructura del suelo, alimento para macro y microorganismos, y una propiedad emergente que contribuye transversalmente a la calidad y la salud del suelo (*Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*, 2014).

d) DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno)

Es un parámetro vinculado al contenido de materia orgánica, que indica la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para oxidar, descomponer o estabilizar la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas, y se determina a partir del proceso natural de oxidación durante la degradación (López & Yovani, 2019)

e) Aniones

Los aniones incluyen especies disueltas en la solución del suelo como nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^{3-} / H_2PO_4^- / HPO_4^{2-}), sulfatos (SO_4^{2-}), cloruros (Cl^-), carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), entre otros, que pueden moverse con el agua, ser absorbidos por las plantas o lixiviar hacia capas más profundas (1.5 *Química del suelo*, 2022a)

f) Cationes

Los cationes son iones con carga eléctrica positiva, es decir, átomos o grupos de átomos que han perdido uno o más electrones. Los cationes tienden a ser retenidos en el complejo de intercambio catiónico (CIC) del suelo, lo que permite que estén disponibles para las plantas de forma gradual (1.5 *Química del suelo*, 2022b).

g) Fósforo

El fósforo ingresa a las aguas superficiales por los vertimientos de saneamiento, es el segundo principal nutriente y responsable de eutrofización de los cuerpos de agua superficial (Hídricos, 2018).

h) Potasio

El potasio es un catión esencial que regula funciones fisiológicas de las plantas y cuya disponibilidad en el suelo depende de factores como textura, pH y materia orgánica (OECD & FAO, 2022)

i) Boro

Un aumento en la concentración de boro en cuerpos de aguas superficial se puede deber a los vertidos de aguas residuales. En las aguas subterráneas, el contenido de boro se encuentra de manera natural por la lixiviación de rocas y suelos con presencia de boratos y borosilicatos (Brañez Condorena, 2023).

j) Carbonatos

Son las sales de carbonato presentes en la fracción mineral del suelo. su presencia afecta la reacción del suelo (pH), su estructura, su capacidad de intercambio de cationes, la disponibilidad de nutrientes, y la actividad biológica. Cuando su proporción es alta, pueden

reducir la solubilidad de ciertos nutrientes y limitar la adaptación de cultivos (Ramírez Rodríguez, 2020).

k) Nitratos

Es un parámetro que refleja la descomposición de la materia orgánica de origen animal y/o vegetal, la cual puede producir metahemoglobina, causando la coloración azulada de la piel en los lactantes alimentados con leche preparada, debido a que los nitratos presentes se transforman en nitritos dentro del sistema digestivo de los niños (Durán, 2016b).

l) Surcos

Consisten en canalizaciones lineales y estrechas que se abren en el suelo con el propósito de facilitar el riego, la siembra o el drenaje en los sistemas agrícolas. Constituyen una técnica tradicional y ampliamente utilizada en el riego por gravedad, donde el agua circula a través de estos canales para infiltrar progresivamente hacia las raíces de los cultivos. Los surcos también permiten ordenar el terreno, mejorar la aireación del suelo, reducir la erosión superficial y optimizar la distribución del agua en parcelas con cultivos en hileras (*CHAPTER 3. FURROW IRRIGATION*, 2014)

2.3.4. Muestreo

El muestreo es un proceso fundamental que consiste en seleccionar y recolectar una muestra representativa, garantizando que mantenga las mismas características del material original. Para lograrlo, deben considerarse factores como posibles cambios químicos, interacción con el aire y el tipo de recipiente empleado. Las técnicas de muestreo en aguas residuales incluyen determinaciones químicas, biológicas y físicas, y su principal objetivo es obtener muestras representativas y homogéneas para asegurar resultados confiables. Debido a que los errores analíticos suelen originarse en un muestreo inadecuado, es indispensable utilizar recipientes apropiados y procedimientos correctos para evitar interferencias y alteraciones en los analitos (Chiriboga Arroba, 2010).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es aplicada, este tipo de investigación está dirigido a iluminar la comprensión y/o resolución de problemas de algún fenómeno o aspecto de la realidad perteneciente al dominio de estudio de una disciplina científica; se caracteriza por que busca la aplicación de conocimientos (Pozo Huillca, 2024b). Por el enfoque, es cuantitativa, debido a que se procesan datos numéricos derivados de la medición de parámetros fisicoquímicos del suelo y agua.

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo, porque se pretende analizar y detallar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del suelo antes y después del riego con aguas residuales, sin intervención sobre las variables de estudio. Asimismo, incorpora un componente correlacional, debido a que busca determinar el grado de relación existente entre los parámetros fisicoquímicos del agua utilizada para el riego y los parámetros fisicoquímicos del suelo agrícola, por lo cual, no se limita únicamente a describir los valores de las variables estudiadas, sino que pretende identificar la existencia de asociaciones entre ellas, esto busca comprender cómo la calidad fisicoquímica del agua puede influir o estar vinculada con las condiciones fisicoquímicas del suelo agrícola.

3.2. Ámbito Temporal y Espacial

3.2.1. Ámbito temporal

El estudio se llevará a cabo en un periodo de 4 meses, en los cuales se realizarán las actividades de recolección de muestras, análisis de laboratorio, procesamiento de datos, así como también la interpretación de resultados.

3.2.2. Ámbito espacial

Políticamente el espacio geográfico del área de estudio se encuentra ubicado en la región Ayacucho, provincia Huanta, distrito Huanta, Centro Poblado de Maynay y comunidad de Santa Rosa de Huaysuy, consta de un aproximado de poco más de 5 km de la ciudad de Huanta.

3.2.2.1. Descripción de la Zona de Estudio

La zona de estudio se encuentra dentro de los límites de la Cuenca Mantaro, con una superficie aproximada de 3,34 hectáreas, ubicada en la zona UTM 18 L, con coordenadas 578 641,06 m E y 8 565 030,23 m S (Ver Figura 1), estimadas mediante Google Earth y a una altitud cercana a los 2411 m.s.n.m. El sistema de riego utilizado en la zona se nutre de los efluentes de la PTAR Totorá, ubicada en la ciudad de Ayacucho, provincia de Huamanga, a unos 3,5 km del óvalo de la Magdalena, sobre la carretera Ayacucho - Huanta. Tras su tratamiento mediante rejillas, desarenadores, tanques Imhoff, filtros percoladores y lagunas facultativas/percoladoras los efluentes tratados se destinan a reúso agrícola o son vertidos en cuerpos receptor como ríos (Bendezu Montero & Martínez Maraví, 2017).

Figura 1

Ubicación geográfica de la zona de estudio



Nota. La figura representa el mapa de la zona de estudio, especificando la ubicación departamental, provincial y distrital.

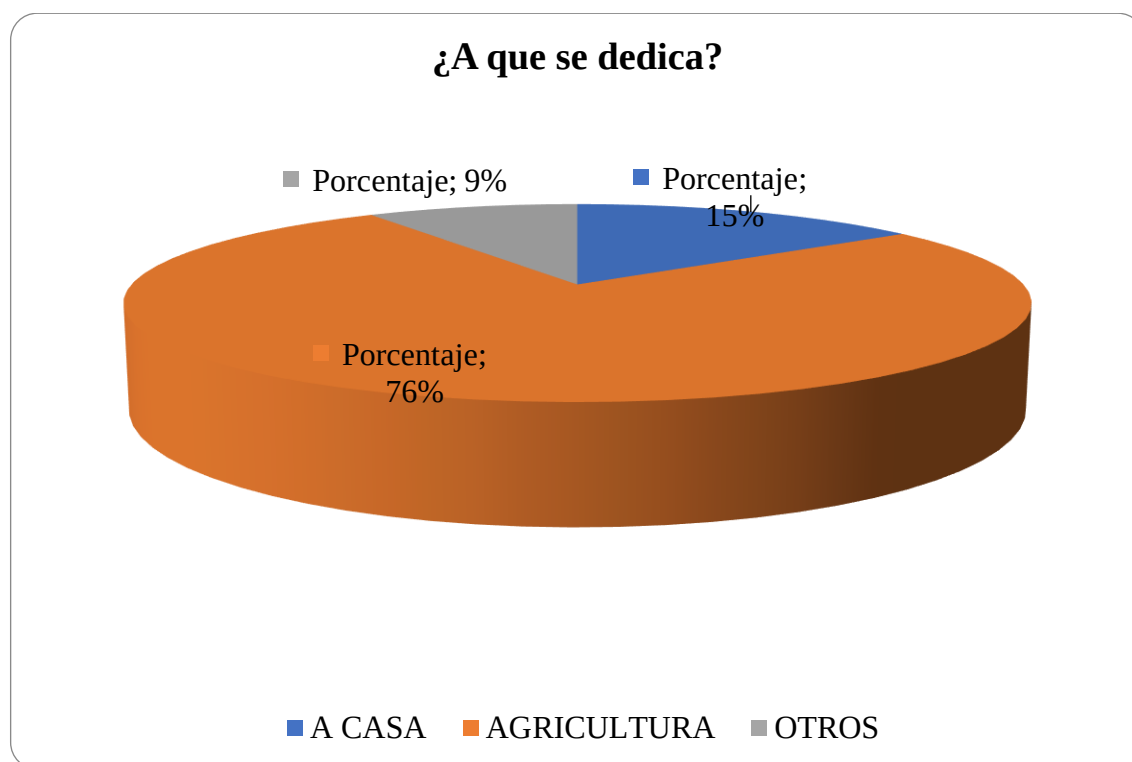
3.2.2.2. Características sociodemográficas y socioeconómicas de la población

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de una encuesta aplicada para el expediente del proyecto de JASS de Santa Rosa de Huaysuy a los pobladores de la localidad de Santa

Rosa de Huaysuy, se determinó que la actividad económica predominante es la agricultura, la cual representa el 75,76 % de los encuestados. Asimismo, el 15,15 % de la población se dedica principalmente a las labores del hogar, actividad desarrollada mayoritariamente por mujeres, mientras que el 9,09 % restante realiza otras actividades económicas complementarias (Proyectos de Inversión, 2025).

Figura 2

Gráfico representativo de las características sociodemográficas y socioeconómicas



Nota. Representación grafico pastel de la actividad socioeconómica de la población de Santa Rosa de Huaysuy, obtenido de Proyecto JASS Santa Rosa de Huaysuy (2025).

La producción agrícola local se caracteriza por el cultivo de diversos productos, siendo los más representativos el limón, la tara, el maíz, hortalizas, palta y papaya, los cuales constituyen la base del sustento económico de las familias de la comunidad. Estos productos son, en su mayoría, destinados tanto al consumo familiar como a la comercialización en mercados.

En la localidad aún se mantienen prácticas tradicionales de intercambio, como el trueque de frutas y verduras, coexistiendo con la participación de intermediarios, quienes adquieren los

productos agrícolas para su posterior comercialización, influyendo en la dinámica económica local.

Si bien la agricultura es la actividad principal, una gran parte de los pobladores complementa sus ingresos con la crianza de animales, especialmente ganado vacuno, lo que contribuye a la diversificación de las fuentes de sustento económico de las familias.

Finalmente, a partir de la información recopilada mediante las encuestas realizadas por este proyecto, se estimó que el ingreso económico promedio mensual de las familias de la localidad de Santa Rosa de Huaysuy asciende aproximadamente a S/ 593,33, valor asociado principalmente a las actividades agrícolas que desarrollan.

3.2.3. Línea base ambiental diagnóstica

Para la presente investigación se consideró el primer monitoreo como línea base ambiental diagnóstica del sistema agua-suelo en la comunidad de Santa Rosa de Huaysuy. Esta decisión se fundamenta en que no se contó con registros históricos o mediciones previas al uso de aguas residuales en las parcelas agrícolas evaluadas; por ello, el primer monitoreo constituye la condición inicial registrada dentro del periodo de estudio y sirve como punto de referencia para comparar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en los monitoreos posteriores.

La línea base ambiental diagnóstica no se interpreta como una condición anterior absoluta al uso de aguas residuales, sino como una caracterización inicial del estado del agua de riego y del suelo agrícola al momento de iniciar la evaluación. Este criterio es metodológicamente válido en estudios ambientales descriptivos y de monitoreo, debido a que la línea base permite establecer las condiciones existentes del área de estudio y generar información de comparación para el seguimiento temporal de los parámetros evaluados.

Asimismo, estudios relacionados con el reúso de aguas residuales en agricultura han empleado campañas iniciales de muestreo para establecer condiciones de referencia. En el estudio de Cary, L., Jovanovic, Z. et al., (2009) mencionan sobre uso de aguas residuales para riego, donde evaluaron la calidad inicial del suelo mediante una campaña de muestreo antes del seguimiento posterior del sistema irrigado. De manera similar, el estudio de línea base del proyecto Wider Uptake en Accra consideró el muestreo de aguas residuales, suelos y vegetales para caracterizar inicialmente las condiciones del sistema agrícola irrigado con aguas residuales y orientar evaluaciones posteriores.

En ese sentido, el primer monitoreo permitió describir la condición inicial de los puntos de agua P1_Canal, P2_Parcela1, P3_Parcela2 y P4_Parcela3, así como de las muestras de suelo M1 a M7. Los resultados obtenidos en esta etapa fueron utilizados como referencia diagnóstica para analizar la estabilidad, variación o tendencia de los parámetros fisicoquímicos durante los siguientes monitoreos. Además, la muestra M7_Parcelanula fue considerada como punto de comparación espacial, debido a que permite contrastar las condiciones de las parcelas agrícolas irrigadas con aguas residuales frente a un suelo con menor intervención agrícola directa.

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

La población de estudio estuvo constituida por la totalidad de parcelas agrícolas ubicadas dentro del área de influencia del sistema de riego con aguas residuales, comprendiendo una superficie aproximada de 3,34 ha. Durante el reconocimiento de campo se identificaron quince (15) parcelas agrícolas diferenciadas, codificadas de la letra A a la O (ver anexo A-figura 25), las cuales presentaban diferentes tipos de frecuencia de riego y niveles de actividad agrícola. Entre los cultivos predominantes se identificaron hortalizas, frutales, tara, alfalfa y algunas parcelas sin actividad agrícola al momento de la evaluación.

La caracterización preliminar de estas parcelas permitió conocer las condiciones productivas existentes dentro del área de estudio y establecer criterios técnicos para la selección de las unidades de muestreo, considerando aspectos como el tipo de cultivo, frecuencia de riego y representatividad de las condiciones agrícolas predominantes.

Tabla 4

Caracterización preliminar de la población de estudio

	Este (m)	Norte (m)	Cultivos observados	Frecuencia de riego	Estado de la parcela	Observaciones		
A	578591.47	8564829.62	Alfalfa, tara y frutales	Cada 15 días	Cultivada parcialmente	Presencia de especies forestales y frutales asociadas.		
B	578664.76	8564846.19	Hortalizas, frutales y alfalfa	2 veces por semana	Cultivada	Alta intensidad de riego debido a cultivos hortícolas.		
C	578700.11	8564852.88	Tara	1 vez al mes	Cultivada	Predominio permanente.	de	cultivo
D	578609.81	8564876.42	Alfalfa y tara	Cada 15 días	Cultivada	Cobertura moderada.		vegetal

E	578667.13	8564919.36	Tara, frutales y palta	1 vez al mes	Cultivada	Presencia de cultivos permanentes de valor comercial.
F	578631.18	8564920.20	Tara y frutales	1 vez al mes	Cultivada	Parcela con predominio de especies arbóreas.
G	578599.00	8564919.91	Sin cultivos	Sin riego	Descanso o abandonada	Área sin aprovechamiento agrícola al momento de la inspección.
H	578655.69	8564961.21	Alfalfa	Cada 15 días	Cultivada	Cultivo forrajero predominante.
I	578611.98	8564965.64	Sin cultivos	Sin riego	Descanso o abandonado	Ausencia de actividad agrícola.
J	578648.40	8565005.30	Hortalizas, tara y frutales	2 veces por semana	Cultivada	Alta demanda hídrica y diversidad de cultivos.
K	578618.18	8565039.91	Tara	1 vez al mes	Cultivada	Cultivo permanente de baja demanda hídrica.
L	578643.41	8565042.29	Alfalfa	Cada 15 días	Cultivada	Uso agrícola activo.
M	578636.38	8565106.19	Hortalizas, frutales y tara	2 veces por semana	Cultivada	Alta intensidad de riego por presencia de hortalizas.
N	578659.40	8565069.43	Sin cultivos	Sin riego	Descanso o abandonada	Área sin producción agrícola.
O	578665.09	8565184.73	Sin cultivos	Sin riego	Descanso o abandonado	Parcela sin actividad agrícola observada.

Nota. Elaboración propia a partir del reconocimiento de campo realizado en el área de estudio. La clasificación de las parcelas se efectuó considerando los cultivos predominantes, la frecuencia de riego y las condiciones de uso agrícola observadas durante la etapa de selección de las unidades de muestreo.

3.3.2. Muestra

Estuvo conformada por tres parcelas agrícolas identificadas como B, J y M, cada una con una extensión aproximada de 1 000 m², ubicadas dentro del área de estudio, la selección de parcelas de muestreo se realizó mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, el cual consiste en la elección deliberada de unidades de análisis según criterios del investigador y los objetivos del estudio, priorizando aquellos casos que aportan mayor información sobre el fenómeno evaluado (*Hernández Sampieri, 2014*)

Este tipo de muestreo es ampliamente utilizado en investigaciones ambientales y de ciencias aplicadas, ya que permite seleccionar unidades representativas con características específicas del fenómeno de estudio, en ese sentido, la selección de parcelas con mayor exposición al riego con aguas residuales permite obtener información más precisa sobre los posibles efectos en el suelo agrícola (FAO, 2022).

Según la Guía para la Recolección de Muestras Ambientales de ELAW (2021), la selección de los puntos de muestreo debe orientarse hacia aquellas áreas que resulten más representativas del fenómeno en estudio y que presenten una mayor influencia de la fuente potencial de alteración ambiental, en ese sentido, las parcelas seleccionadas constituyeron unidades de muestreo adecuadas para evaluar la influencia del riego con aguas residuales sobre la calidad del suelo agrícola.

Las parcelas seleccionadas presentan una mayor intensidad de riego, con una frecuencia de dos veces por semana, además de concentrar la mayor diversidad de cultivos del área de estudio, incluyendo hortalizas, frutales, tara y alfalfa. Estas características evidencian una interacción más frecuente entre el suelo y el agua de riego, lo que incrementa la probabilidad de identificar posibles variaciones en las propiedades fisicoquímicas del suelo asociadas al uso de aguas residuales.

Figura 3

Parcelas seleccionadas para los puntos de muestreo



Nota. Parcelas de muestreo para la selección de puntos de monitoreo para el análisis de laboratorio.

3.4. Instrumentos

Para llevar a cabo la investigación, se emplearon los lineamientos establecidos en el Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los Recursos Hídricos Superficiales |

SINIA, (2016), el cual detalla los procedimientos e instrumentos necesarios para la recolección, preservación y transporte de muestras de agua destinadas a análisis fisicoquímicos. Asimismo, para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos del suelo, se utilizaron las indicaciones de la Guía para el Muestreo de Suelos y Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos | SINIA, (2014) y de tesis peruanas aplicadas a monitoreos agrícolas. Para la gestión, elaboración de tablas y gráficos, se utilizaron los programas Microsoft Excel 2016 y Microsoft Word 2016. Finalmente, para la ubicación espacial y elaboración de mapas temáticos se emplearon los softwares ArcMap 10.8 y QGIS 3.28.9.

Los dispositivos utilizados fueron previamente calibrados, para la medición de parámetros básicos del agua como la Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Conductividad Eléctrica – EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Sólidos Totales Disueltos – TDS (ppm), Salinidad (%) y pH, se utilizó un multiparámetro portátil marca HANNA HI 9829. Para el registro de coordenadas geográficas de los puntos de muestreo se empleó un equipo GPS portátil. En la recolección de muestras de agua se emplearon botellas de plástico de 1 L previamente lavadas con agua destilada y enjuagadas con la propia muestra, en conformidad con los lineamientos de muestreo del MINAM.

En cuanto al muestreo de suelos, se utilizaron bolsas Ziploc de alta resistencia, adecuadas para preservar muestras destinadas a análisis fisicoquímicos. Para la remoción y homogenización del suelo se emplearon herramientas manuales como palas, cucharillas de acero inoxidable y espátulas, siguiendo los procedimientos detallados por la FAO para suelos agrícolas. Para la conservación térmica de las muestras antes de su entrega al laboratorio se utilizó un Cooler, además de una cámara fotográfica digital para el registro visual del proceso.

En laboratorio, los análisis fisicoquímicos fueron realizados por la Universidad Nacional Agraria La Molina, acreditada por INACAL, la cual cuenta con equipamiento avanzado para el análisis de parámetros fisicoquímicos.

3.5. Procedimiento

3.5.1. Selección de las Zonas de Muestreo

La selección de las zonas de muestreo se realizó mediante una inspección preliminar del área de estudio, con la finalidad de identificar las parcelas agrícolas más representativas y con mayor exposición al riego mediante aguas residuales. Durante el reconocimiento de campo

se evaluaron las características de uso del suelo, el tipo de cultivos predominantes, la frecuencia de riego y la accesibilidad a los puntos de monitoreo.

Posteriormente, se efectuó el georreferenciamiento de cada parcela mediante el uso de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), registrándose las coordenadas UTM de los puntos de monitoreo seleccionados. La ubicación de estos puntos permitió asegurar la trazabilidad del muestreo y facilitar futuras evaluaciones o monitoreos en las mismas condiciones espaciales, esta información obtenida durante el trabajo de campo fue organizada en una tabla de estaciones de muestreo, en la cual se consignaron los códigos de identificación, coordenadas geográficas, ubicación y demás características relevantes de cada punto evaluado.

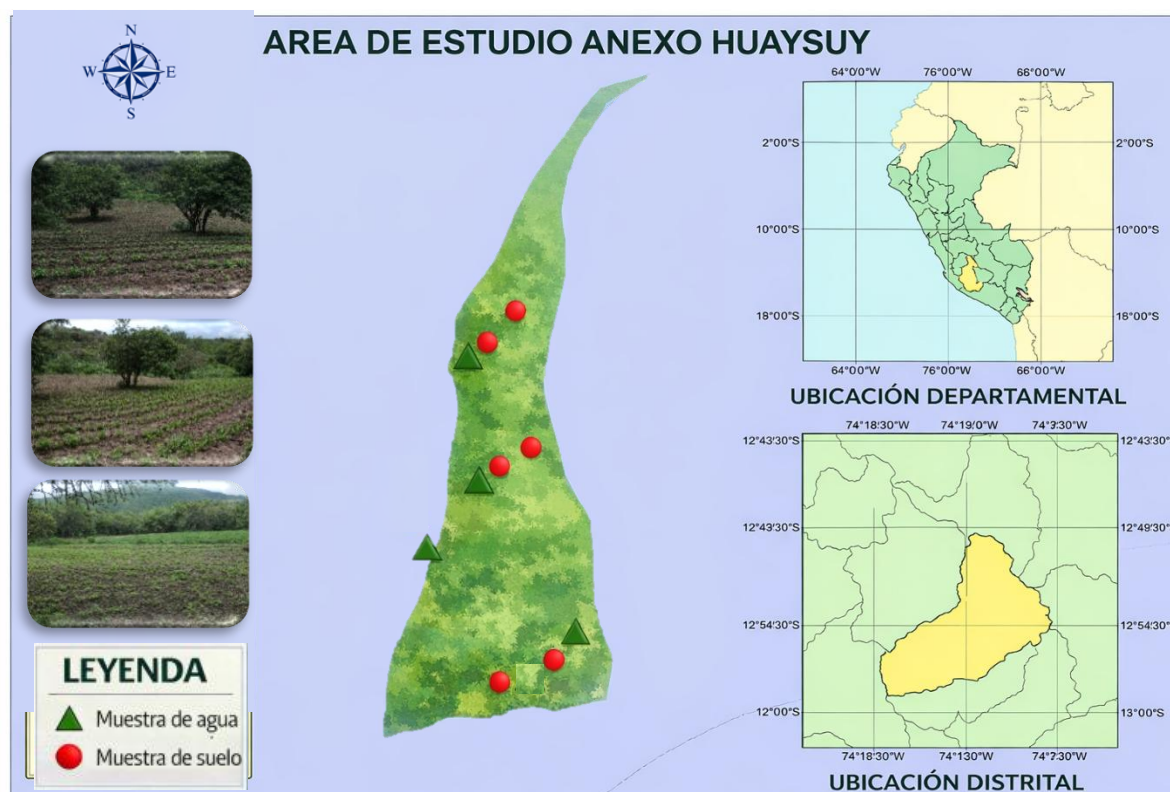
3.5.2. Determinación y Ubicación de Puntos de Muestreo

La cantidad y número de puntos de muestreo de agua se determinaron de acuerdo al Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (ANA, 2016) y en caso de suelo se enfocó en la Guía Básica para el Muestreo de Suelos para Comunidades (*ELAW Guides to Environmental Sampling - ELAW*, 2021) y en la Guía para el Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2014). En áreas de características homogéneas y de extensión reducida pueden emplearse muestras simples distribuidas espacialmente dentro del área de estudio, señalando como referencia la obtención de cuatro (4) muestras por hectárea para representar adecuadamente las condiciones del suelo.

En el presente caso, el área de estudio corresponde a terrenos agrícolas irrigados de manera continua con aguas residuales, donde la acción permanente del riego, las labores agrícolas y los procesos naturales de infiltración favorecen la redistribución de nutrientes, sales y otros elementos en el perfil superficial del suelo, generando condiciones relativamente homogéneas dentro de cada parcela agrícola. Adicionalmente, las parcelas a muestrear se conforman en un aproximado de 1 000 m² cada una, superficies considerablemente menores a una hectárea. Bajo estas condiciones, y considerando la homogeneidad observada en el uso del suelo, manejo agrícola y fuente de riego, se establecieron dos puntos de muestreo por parcela: uno ubicado próximo a la fuente de abastecimiento de agua residual tratada y otro en una zona más alejada.

Figura 4

Puntos de muestreo de agua y suelo



Nota. Ubicación de puntos de muestreo de suelo y agua en la comunidad Huaysuy - Huanta

Tabla 5

Descripción de los puntos de muestreo de agua en la zona de estudio

Puntos de muestreo	Altura m.s.n.m.	Coordenadas UTM			Detalles
		Zona	Este	Norte	
P1_canal	2410.0	8L	578564	8564955	Punto en el canal principal
P2_Parcela1	2420.0	8L	578692	8564857	Aproximadamente a 170 m del canal principal en la parcela 1.
P3_Parcela2	2393.0	8L	578672	8564983	Aproximadamente a 96 m del canal principal en la parcela 2
P4_Parcela3	2400.0	8L	578660	8565074	Aproximadamente a 69 m del canal principal en la parcela 3.

Nota. Ubicación de los puntos de muestreo de agua detallados por el dispositivo GPS en la zona de estudio

Tabla 6

Descripción de los puntos de muestreo de suelo en la zona de estudio

Puntos de muestreo	Altura	Coordenadas UTM			Detalles
	m.s.n.m.	Zona	Este	Norte	
M1_Parcela1	2424.0	8L	578646	8564825	Aproximadamente a 74 m del canal principal, ubicada en la parcela 1
M2_Parcela1	2422.0	8L	578679	8564841	Aproximadamente a 151 m del canal principal, ubicada en la parcela 1
M3_Parcela2	2398.0	8L	578633	8564998	Aproximadamente a 41 m del canal principal, ubicada en la parcela 2
M4_Parcela2	2394.0	8L	578657	8565013	Aproximadamente a 65 m del canal principal, ubicada en la parcela 2
M5_Parcela3	2405.0	8L	578622	8565096	Aproximadamente a 37 m del canal principal, ubicada en la parcela 3
M6_Parcela3	2401.0	8L	578643	8565116	Aproximadamente a 45 m del canal principal, ubicada en la parcela 3

Nota. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo en las parcelas seleccionadas en la zona de estudio, Huaysuy, provincia Huanta y departamento Ayacucho.

Tabla 7

Descripción del punto de muestreo de suelo extra

Punto de muestreo	Altura	Coordenadas UTM			Detalles
	m.s.n.m.	Zona	Este	Norte	
M7_Parcelanula	2410.0	8L	578668	8565204	Aproximadamente a 77 m del punto de muestreo de suelo más cercano, ubicada en la parcela 3

Nota. Punto de muestreo extra tomado para la comparación de un suelo jamás regado por Aguas Residuales (AR), se encuentra a una altura similar a los otros puntos de suelo realizados.

3.5.3. Selección de Parámetros Fisicoquímicos de suelo y agua

La selección de los parámetros fisicoquímicos de ambos elementos se realizó según a las normativas vigentes; para el agua de riego se consideraron los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 3, establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM (*Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias* | SINIA, 2017), los cuales regulan la calidad del agua destinada al riego de vegetales. En este estudio se seleccionaron los siguientes parámetros: temperatura (°C), conductividad eléctrica (EC, $\mu\text{S}/\text{cm}$), sólidos totales disueltos (TDS, ppm), salinidad (%), pH, aniones, cationes, DBO₅, nitratos y boro, debido a que estos parámetros influyen en la variación del suelo. La elección de los puntos de muestreo de agua se basa en los lineamientos técnicos del Protocolo Nacional Para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales | SINIA, (2016) de la ANA, el cual establece la necesidad de capturar la variabilidad espacial a lo largo del sistema de distribución

Para el suelo se seleccionaron los parámetros esenciales para la evaluación de la fertilidad y salinidad: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo (P), potasio (K) y carbonatos, los cuales permiten analizar procesos de acumulación salina, disponibilidad de nutrientes y efectos físicos del agua utilizada para riego. Asimismo, se incorporó un punto adicional correspondiente a un suelo que nunca ha sido regado con aguas residuales, con el fin de disponer de un control que permita comparar directamente los efectos potenciales del riego con agua proveniente de la PTAR Totorillas. Esta decisión se respalda en el protocolo de la ANA, que recomienda el uso de puntos de referencia o control para evaluar la influencia de actividades antrópicas, así como en los lineamientos del DS N.º 011-2017-MINAM, aplicables para el análisis de suelos agrícolas.

3.5.4. Recolección de Muestras

La recolección de muestras de agua de riego y suelo agrícola se realizaron siguiendo los lineamientos establecidos en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales de la Autoridad Nacional del Agua y la Guía para el Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente, con el fin de garantizar la representatividad y confiabilidad de las muestras destinadas al análisis fisicoquímico. Durante todo el proceso de recolección de muestras se utilizó indumentaria de protección personal como botas de jebe, guantes, mascarilla, gorra y chaleco, con la finalidad de protección frente al contacto directo con aguas residuales y suelos potencialmente contaminados. Asimismo, se aplicaron medidas básicas de bioseguridad, como el lavado de manos y la desinfección del equipo

antes y después del muestreo, en concordancia con las prácticas de campo recomendadas por la ANA y el MINAM (Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados: Muestreo de aguas subterráneas | SINIA, 2016).

a) Recolección de muestras de agua de riego

Las muestras de agua de riego fueron recolectadas directamente del canal principal y de los puntos de distribución hacia las parcelas agrícolas, se utilizaron botellas plásticas de 1 L, previamente lavadas, enjuagadas con agua destilada y acondicionadas en campo mediante un triple enjuague con el agua a muestrear (Costa Rodríguez, 2021). La muestra se recolectó introduciendo la botella a contracorriente, evitando el contacto con el fondo o las paredes del canal, de acuerdo con el protocolo de la ANA. Durante el muestreo se realizaron mediciones in situ de parámetros básicos, empleando un multiparámetro portátil previamente calibrado. Cada muestra fue rotulada inmediatamente, indicando código del punto, además de rellenar la ficha de campo (anexo B), y posteriormente conservada en un cooler con refrigerantes a una temperatura aproximada de 4 °C hasta su traslado al laboratorio, evitando la exposición directa a la luz solar (Ponce Flores, 2021).

Figura 5

Recolección de muestras de agua en la parcela seleccionada



Nota. Imagen fotográfica de la toma de muestras de agua en una de las parcelas de muestreo

b) Recolección de muestras de suelo agrícola

El muestreo de suelos se realizó en las parcelas seleccionadas, considerando áreas representativas de cultivos irrigadas con aguas residuales, así como un punto de control correspondiente a un suelo nunca regado con este tipo de agua. En cada parcela se retiró previamente la cobertura vegetal superficial como restos de cultivos u hojarasca provenientes de plantas cercanas para evitar interferencias en el análisis.

Las muestras de suelo se extrajeron a una profundidad de 0 a 20 cm (Navas V et al., 2003), correspondiente al horizonte superficial o capa arable, donde se concentra la mayor interacción entre agua, suelo y planta. Para ello se utilizaron herramientas manuales limpias (pala, cucharilla y espátula de acero inoxidable), desinfectadas entre cada punto de muestreo para evitar contaminación cruzada, siguiendo las recomendaciones del MINAM (*Guía para Muestreo de Suelos*, 2014)). Cada muestra fue colocada en bolsas plásticas tipo Ziploc de alta resistencia, debidamente rotuladas con el código del punto, además se realizó la ficha de campo correspondiente indicando la fecha y datos de ubicación para cada muestra (Anexo B). Posteriormente, las muestras fueron homogenizadas manualmente, retirando piedras, raíces y materiales gruesos, y almacenadas para su transporte al laboratorio.

Figura 6

Recolección de muestras de suelo en la parcela seleccionada



Nota. Imagen fotográfica de la recolección de muestras de suelo

3.5.5. Envío de Muestras al Laboratorio

Una vez concluida la etapa de recolección de muestras en campo, éstas fueron preparadas para su envío al Laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), institución especializada en la elaboración de ensayos de agua y suelos. El envío se realizó siguiendo criterios técnicos de preservación y trazabilidad. Las muestras de agua fueron conservadas en sus respectivos envases plásticos sin abrir, previamente rotulados, asimismo se evitó la exposición directa a la luz solar y a fuentes de calor.

En caso de las muestras de suelo, éstas fueron transportadas en bolsas plásticas tipo Ziploc, debidamente selladas y etiquetadas, colocadas en un contenedor rígido para evitar pérdidas de material o contaminación externa durante el traslado.

Previo al envío, se elaboró la documentación correspondiente, que incluyó la ficha de campo donde se detalla códigos de identificación, fecha y hora de muestreo, ubicación geográfica y responsable de la toma de muestras. Esta información fue entregada junto con las muestras al laboratorio de la UNALM, garantizando la correcta recepción, registro y posterior análisis.

3.5.6. Procedimiento para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ se determinó mediante un método respirométrico manométrico en sistema cerrado, donde el consumo de oxígeno por los microorganismos se refleja como una disminución de presión; el CO₂ generado durante la biodegradación es absorbido químicamente por KOH colocado en el vaso de sellado de la tapa, permitiendo que el equipo exprese el resultado directamente como mg/L O₂.

Se utilizaron frascos de medición específicos para DBO, fundas de goma para el sellado hermético de cada frasco, un equipo respirométrico para DBO en sistema cerrado, un agitador magnético para mantener la homogeneidad de la muestra durante el ensayo, un matraz o vaso volumétrico de rebose de 428 mL para el llenado sin presencia de aire, y una solución de hidróxido de potasio (KOH), empleada como absorbente químico del dióxido de carbono generado durante el proceso de biodegradación.

Primeramente, la muestra de agua fue homogeneizada cuidadosamente para garantizar su representatividad. Posteriormente, se midieron 428 mL de muestra utilizando un vaso volumétrico, se adicionaron 10 gotas del reactivo inhibidor de nitrificación (inhibidor/nitrificador de nitrógeno) al vaso volumétrico que contenía la muestra (Figura 12), tras lo cual la mezcla fue sometida a agitación constante en un agitador magnético

durante 10 minutos (Figura 13.). Este procedimiento tuvo como finalidad suprimir el consumo de oxígeno asociado a bacterias nitrificantes, permitiendo que la medición refleje principalmente la demanda carbonácea de oxígeno, conforme a lo indicado en el *Determining The Bod - Lovibond BD 600 Instruction Manual*, (2015).

Concluido el tiempo de agitación, la muestra fue vertida cuidadosamente en el frasco de medición de DBO, al cual fue colocado dentro una funda de goma, asegurando el sellado y aislamiento completo del sistema, para seguidamente, adicionar cuatro gotas de solución de hidróxido de potasio (KOH) en este (Figura 14). Durante este procedimiento se tuvo especial cuidado de evitar el contacto directo entre la muestra y la solución de KOH, ya que podría alterar los resultados de la medición, tal como se especifica en el manual de instrucciones del equipo.

Finalmente, se enroscó la cabeza del equipo provista del sensor, asegurando un cierre en cada frasco colocado en el soporte del sistema de medición. Las muestras fueron incubadas en condiciones de oscuridad, bajo condiciones estándar para la determinación de DBO₅, durante un período de cinco días a una temperatura controlada de 20 °C, de acuerdo con el método (*NEMI Method Summary - 405.1*, 1974). Transcurrido el período de incubación, se procedió al registro del valor de DBO₅, el cual fue reportado automáticamente por el equipo y expresado en miligramos de oxígeno por litro (mg/L O₂).

3.5.7. Procedimiento para la determinación del pH suelo

Para la determinación del pH del suelo se empleó el método potenciométrico, utilizando un pH-metro (potenciómetro) equipado con electrodo combinado de vidrio, en una suspensión suelo: agua en proporción de masa: volumen, condición ampliamente utilizada en análisis rutinarios de suelos (*Manual de métodos de análisis de solo*, 2017). Para la ejecución del ensayo se dispuso de un vaso de precipitación de 50 mL, agua destilada, probeta para medición de volumen, barra magnética, balanza de precisión, agitador magnético y el pH-metro previamente calibrado.

La muestra de suelo se preparó en condición de suelo seco a temperatura ambiente. En primer lugar, se pesaron 10 g de suelo en una balanza de precisión (Figura 15). Posteriormente, la muestra se tamizó mediante un tamiz de 2 mm, con el objetivo de homogeneizar el material y trabajar con la fracción fina del suelo, tal como se emplea en metodologías estandarizadas de laboratorio para análisis químico estipuladas en el Manual de métodos de análisis de

suelos. Una vez obtenida la fracción tamizada, se transfirió cuantitativamente al vaso de precipitación de 50 mL (Figura 16). A continuación, se adicionaron 25 mL de agua destilada usando una probeta. Seguidamente, se incorporó la barra magnética a la suspensión y el sistema se colocó sobre el agitador magnético (Pilliza Guanotasig, 2024).

La suspensión se mantuvo en agitación durante 30 minutos para favorecer la homogenización y luego se dejó reposar 10 minutos con el propósito de aproximar condiciones de equilibrio antes de la lectura. En la literatura metodológica se reporta que los protocolos de pH en agua pueden variar en aspectos operativos como el tiempo de agitación mecánica que varía entre los 10 minutos a 1 hora y el tiempo de reposo/decantación de 15 minutos a varias horas, sin observarse diferencias estadísticamente significativas entre varios esquemas, siempre que el procedimiento sea consistente y reproducible dentro del estudio (Faria et al., 2023).

Finalmente, transcurrido el reposo, se realizó la lectura introduciendo el electrodo en la fase líquida, evitando el contacto directo con el sedimento para reducir interferencias por partículas y asegurar estabilidad en la señal (Figura 17). Se esperó a que la lectura se estabilizara y se registró el valor de pH reportado por el equipo. Entre muestras, el electrodo se enjuagó con agua destilada y se verificó el desempeño del equipo conforme a prácticas de control operativo (ISO 10390:2021, 2021).

3.5.8. Procedimiento para el cálculo de la densidad aparente

La densidad aparente del suelo (ρ_b) es una propiedad física que expresa la relación entre la masa de suelo seco y el volumen total que ocupa. Para su determinación se utilizó un método directo con muestra inalterada, ya que conserva la estructura y porosidad del suelo, por lo cual se utilizaron anillos metálicos, debido a su aplicabilidad y reproducibilidad en campo y laboratorio (Ticona-Cortavitar et al., 2024).

En campo, se seleccionó el punto de muestreo y se preparó una superficie de suelo firme, nivelada y no disturbada a la profundidad de interés. Posteriormente, se introdujo el cilindro metálico de volumen conocido en el suelo mediante presión uniforme y golpes controlados con ayuda de un mazo de goma, procurando no balancear el cilindro ni aplicar fuerza excesiva que pudiera compactar el material dentro del anillo. Una vez alcanzada la penetración requerida, se excavó cuidadosamente el suelo alrededor del cilindro para

retirarlo sin deformar la muestra; a continuación, se recortaron y enrasaron ambos extremos del cilindro con una espátula, dejando el suelo al ras de los bordes para asegurar que el volumen muestreado corresponda exactamente al volumen interno del cilindro.

En laboratorio, el cilindro con la muestra se identificó y se procedió al control gravimétrico. Para obtener la masa seca real, se recomienda registrar previamente la masa del cilindro vacío (m_s) y luego la masa del cilindro con suelo seco. La muestra (en cilindro o transferida sin pérdida) se llevó a estufa a 105 °C hasta alcanzar condición de secado operativo durante 24 horas (Figura 18) y se pesó con la balanza de precisión para obtener la masa final del sistema (cilindro + suelo seco). Con las masas registradas, la densidad aparente se calculó como la masa de suelo seco dividida entre el volumen interno del cilindro. Cuando se trabaja con cilindro, una forma práctica y trazable de cálculo es:

$$\rho_b = M_s / V$$

Donde:

ρ_b : densidad aparente seca (g/cm³ o Mg/m³)

V : volumen del cilindro (cm³)

M_s : masa del cilindro vacío

3.5.9. Procedimiento para la determinación de la Textura método Bouyoucos

Para la determinación de la textura del suelo se empleó el método sedimentométrico del hidrómetro de Bouyoucos, el cual permite estimar los porcentajes de arena, limo y arcilla a partir de lecturas de densidad de una suspensión entre el suelo y el agua en tiempos de sedimentación controlados (Beretta et al., 2014). Para el ensayo se utilizaron muestras de suelo, balanza de precisión, tamiz de 2 mm, vaso de precipitados (250 mL), hidrómetro de Bouyoucos, termómetro, cronómetro y agua destilada, además de un agitador mecánico para la dispersión de agregados. Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente y posteriormente se tamizaron a una medida de 2 mm, evitando pulverizar excesivamente para no alterar la fracción textural. Luego, se pesaron 50 g de suelo tamizado y se transfirieron a un vaso de precipitados (Rosillo Murúa, 2019).

A continuación, se adicionó un dispersante químico hexametáfosfato de sodio), con el objetivo de desflocular y favorecer la separación de partículas primarias; posteriormente, la mezcla se sometió a una etapa de dispersión mecánica mediante el agitador, para asegurar la ruptura de microagregados y lograr una suspensión homogénea (Rosillo Murúa, 2019). Luego de la dispersión, la suspensión se transfirió cuantitativamente a un cilindro de sedimentación de 1000 mL, lavando el recipiente de dispersión para asegurar la recuperación del material fino, y finalmente se aforó con agua destilada hasta el volumen de trabajo. El cilindro se selló y se homogeneizó por inversiones, para distribuir uniformemente las partículas antes de iniciar el proceso de sedimentación (Prisma Agropecuario TVU, 2022)

Inmediatamente después de la homogenización, se inició el conteo del tiempo y se introdujo cuidadosamente el hidrómetro de Bouyoucos en la suspensión. Se registró la lectura del hidrómetro a los 40 segundos junto con la temperatura de la suspensión, y posteriormente se repitió la lectura en el tiempo establecido para estimar la fracción fina, siendo muy común la lectura a las 2 horas para la cuantificación de arcillas (Correa Ponce, 2012). Finalmente, las lecturas obtenidas se procesaron aplicando las correcciones del método y se calcularon los porcentajes de arena, limo y arcilla. Con dichos porcentajes se determinó la clase textural del suelo mediante el criterio del triángulo textural utilizado habitualmente con el método de Bouyoucos (Riego, 2017).

3.5.10. Procedimiento para la determinación de la Compactación

La compactación del suelo se determinó a través de la medición de la resistencia mecánica a la penetración, utilizando un penetrómetro manual, técnica ampliamente empleada para evaluar el grado de compactación. La resistencia a la penetración es un indicador indirecto del estado estructural del suelo y se relaciona con variables como la densidad aparente, la humedad y la textura (Bengough et al., 2011).

Para asegurar la integridad física y química de las muestras de suelo asociadas al análisis de compactación, la toma y contención del suelo se realizó utilizando soportes cilíndricos de hierro galvanizado. Estos soportes permitieron mantener la estructura original del suelo, evitando deformaciones adicionales durante la manipulación y reduciendo el riesgo de contaminación externa. El uso de hierro galvanizado es recomendado en estudios edáficos debido a su resistencia a la corrosión y su baja reactividad química, lo que minimiza la alteración de las propiedades físico-químicas del suelo (Blake & Hartge, 1986).

Las muestras contenidas en los soportes metálicos fueron colocadas sobre una superficie rígida y estable, garantizando condiciones uniformes durante el proceso de medición. Posteriormente, el penetrómetro manual se introdujo de forma vertical y continua sobre la superficie del suelo, aplicando una presión constante y evitando movimientos laterales (Figura 23). La resistencia a la penetración se registró a intervalos regulares de profundidad, valor que permite comparar el grado de compactación entre diferentes puntos de muestreo (Herrick & Jones, 2002).

3.6. Análisis de Datos

3.6.1. Procesamiento de datos

Los resultados obtenidos en campo y laboratorio fueron organizados y depurados en una base de datos única, verificando la correcta codificación de puntos:

Tabla 8

Codificación de puntos de muestreo de agua y suelo para el análisis de datos

<i>Muestras de suelo</i>		<i>Muestras de agua</i>	
<i>M1</i>	<i>Parcela1_muestra1</i>	<i>P1</i>	<i>Canal</i>
<i>M2</i>	<i>Parcela1_muestra2</i>	<i>P2</i>	<i>Entrada parcela 1</i>
<i>M3</i>	<i>Parcela2_Muestra3</i>	<i>P3</i>	<i>Entrada parcela 2</i>
<i>M4</i>	<i>Parcela2_Muestra4</i>	<i>P4</i>	<i>Entrada parcela 3</i>
<i>M5</i>	<i>Parcela3_Muestra5</i>		
<i>M6</i>	<i>Parcela3_Muestra6</i>		
<i>M7</i>	<i>Parcela nula_muestra7</i>		

Nota. Puntos de codificación con descripción de la ubicación de puntos

Posteriormente, la base consolidada se importó a IBM SPSS, donde se definieron variables numéricas para cada parámetro y variables de agrupación para facilitar el análisis por grupos. Con la base ya estructurada, se calcularon estadísticos descriptivos por monitoreo y tipo, además se aplicaron pruebas de normalidad para determinar el comportamiento de la distribución de los datos. Finalmente, para evaluar asociaciones entre parámetros el primer monitoreo fue considerado como línea base ambiental diagnóstica y sirvió como referencia inicial para describir el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos durante el periodo de evaluación. Los monitoreos posteriores fueron comparados respecto a esta condición inicial, con la finalidad de identificar variaciones, estabilidad o posibles tendencias en el

sistema agua-suelo. Asimismo, la correlación de Spearman fue utilizada únicamente para identificar asociaciones monotónicas entre variables.

3.6.2. Análisis de normalidad y justificación del uso de Spearman

El análisis de normalidad se realizó previamente al análisis correlacional, con la finalidad de determinar el comportamiento de distribución de los parámetros fisicoquímicos del agua y del suelo. Para ello, los datos fueron procesados en IBM SPSS Statistics, considerando como variables de análisis el pH, conductividad eléctrica, DBO₅, materia orgánica, calcio, carbonato de calcio y potasio disponible, según correspondiera al tipo de muestra evaluada.

Debido al tamaño de la base de datos y a la distribución de los valores por monitoreo y tipo de muestra, se consideró pertinente aplicar la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los parámetros. El criterio de decisión fue el siguiente: si el valor de significancia fue mayor a 0.05, se consideró que la variable presentaba distribución normal; si el valor de significancia fue menor o igual a 0.05, se consideró que la variable no presentaba distribución normal.

A partir de la evaluación de normalidad y considerando que el estudio presenta un diseño descriptivo-correlacional, sin manipulación experimental de variables, se justificó el uso del coeficiente de correlación Rho de Spearman. Esta prueba no paramétrica permite evaluar la existencia, dirección e intensidad de asociaciones monotónicas entre variables cuantitativas u ordinales, sin exigir estrictamente el supuesto de normalidad. Por ello, resultó adecuada para analizar la relación entre los parámetros fisicoquímicos del agua residual utilizada para riego y las propiedades fisicoquímicas del suelo agrícola, se interpretó únicamente como evidencia de asociación estadística entre variables, no como prueba de causalidad directa. En ese sentido, los coeficientes obtenidos permitieron identificar relaciones entre el comportamiento del agua de riego y del suelo, pero no demostrar que las variaciones del suelo hayan sido causadas exclusivamente por el uso de aguas residuales.

3.6.3. Criterio para la determinación del impacto del uso de aguas residuales

Para determinar el impacto del uso de aguas residuales en los suelos agrícolas de la comunidad de Santa Rosa de Huaysuy, se aplicó un criterio de análisis integrado basado en la variación temporal de los parámetros fisicoquímicos del suelo, la comparación con la línea base ambiental diagnóstica, la contrastación con criterios de referencia ambiental y la asociación estadística entre los parámetros del agua de riego y del suelo agrícola.

En la presente investigación, el término impacto no se interpreta como una causalidad experimental directa, debido a que el estudio corresponde a un diseño descriptivo-correlacional, sin manipulación de variables ni control experimental absoluto. Por ello, el impacto fue entendido como la variación ambiental observada en las propiedades fisicoquímicas del suelo durante el periodo evaluado, asociada al uso de aguas residuales como fuente de riego.

El primer monitoreo fue considerado como línea base ambiental diagnóstica, debido a que representa la condición inicial registrada dentro del periodo de estudio. A partir de esta línea base, se compararon los resultados del segundo y tercer monitoreo, con el propósito de identificar estabilidad, incremento o disminución de los parámetros evaluados. Para ello, se calculó la variación porcentual mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Variación porcentual (\%)} = [(\text{Valor del monitoreo final} - \text{Valor de la línea base diagnóstica}) / \text{Valor de la línea base diagnóstica}] \times 100$$

Este cálculo permitió estimar la magnitud relativa del cambio observado en parámetros como pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, potasio disponible y carbonato de calcio. Asimismo, se consideró la comparación entre las parcelas irrigadas con aguas residuales y la parcela de referencia M7, con la finalidad de diferenciar las variaciones registradas en los suelos agrícolas evaluados frente a un punto de comparación espacial.

Para la interpretación del impacto, se consideraron tres niveles: impacto bajo, cuando los parámetros presentaron variaciones leves, sin cambios críticos ni alteración evidente de la calidad fisicoquímica del suelo; impacto moderado, cuando los parámetros mostraron incrementos progresivos que requieren seguimiento, aunque sin evidencia de deterioro crítico; e impacto alto, cuando las variaciones fueron marcadas y sugirieron posible deterioro de la calidad del suelo o riesgo ambiental acumulativo, el cual se basó en la Guía para la identificación y caracterización de impactos ambientales (SEIA, 2022), señala que la metodología debe definir criterios y categorías para evaluar impactos.

Tabla 9

Clasificación del impacto del uso de aguas residuales según la variación porcentual de los parámetros fisicoquímicos del suelo

Nivel	Criterio operativo propuesto	Interpretación
Impacto bajo	Variación menor al 5 %	Cambio leve, sin alteración crítica evidente
Impacto moderado	Variación entre 5 % y menor a 15 %	Cambio progresivo que requiere seguimiento
Impacto alto	Variación igual o mayor a 15 %	Cambio marcado con posible riesgo acumulativo

Nota. Elaborado con base en el criterio operativo propuesto para la presente investigación. La clasificación del impacto se estableció según la magnitud de la variación porcentual de los parámetros fisicoquímicos del suelo respecto a la línea base ambiental diagnóstica.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Evaluación de la concentración de parámetros fisicoquímicos del agua utilizada en los suelos agrícolas de la comunidad Santa Rosa de Huaysuy

a) Primer monitoreo

Tabla 10

Resultados primer monitoreo agua, resultados de campo

Zona de muestreo (Código de campo)	Ubicación de la zona de muestreo	Parámetros medidos en campo										
		Potencial De Hidrógeno	pH (mV)	Oxígeno Disuelto	Oxígeno Disuelto	Conductividad Eléctrica	Conductividad Específica	Sólidos Totales Disueltos	Salinidad	Salinidad	Resistividad	Temperatura
P1_canal	Canal	7.3	-64.7 mV	55.40%	4.00 mg/L	667 μ S/cm	755 μ S/cm	378 ppm	0.37 PSU	0%	0.0013 $M\Omega \cdot cm$	18.87 °C
P2_Parcela1	Entrada parcela 1	7.16	-58.9 mV	55.60%	4.22 mg/L	656 μ S/cm	724 μ S/cm	376 ppm	0.37 PSU	0%	0.0013 $M\Omega \cdot cm$	18.40 °C
P3_Parcela2	Entrada parcela 2	7.5	-61.1 mV	54.50%	3.85 mg/L	659 μ S/cm	689 μ S/cm	379 ppm	0.36 PSU	0%	0.0014 $M\Omega \cdot cm$	18.89 °C
P4_Parcela3	Entrada parcela 3	7.45	-64.7 mV	55.40%	4.00 mg/L	480 μ S/cm	755 μ S/cm	431 ppm	0.24 PSU	0%	0.0013 $M\Omega \cdot cm$	18.96 °C

Nota. Resultados obtenidos en campo por el multiparámetro HANNA, realizados en el canal principal que abastece de agua y las parcelas correspondientes

Tabla 11

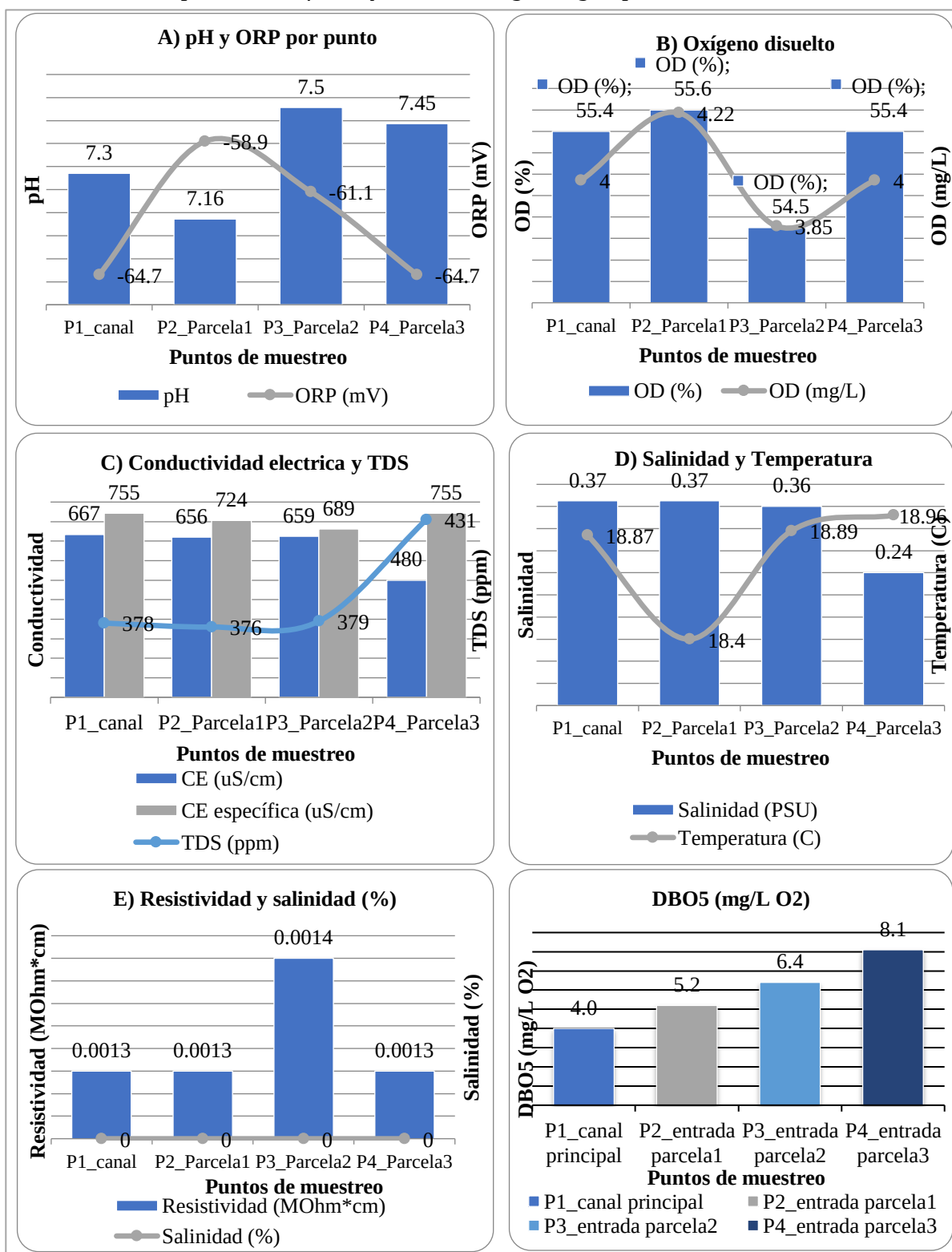
Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) analizadas en el laboratorio de la UNAH

Parámetro	Unidad	Resultados			
		P1_Canal	P2_Parcela1	P3_Parcela2	P4_Parcela3
DBO5	mg/L O ₂	4.0	5.2	6.4	8.1

Nota. Resultados a través del método respirométrico–manométrico en 4 puntos de muestreo

Figura 7

Distribución de parámetros fisicoquímicos del agua según puntos de muestreo



Nota. Resultados obtenidos en campo por el multiparámetro HANNA, realizados en el canal principal que abastece de agua y las parcelas correspondientes.

Los valores de pH registrados en los cuatro puntos de muestreo, muestran un comportamiento estable y se mantienen dentro del rango permitido por el ECA en el Perú para agua destinada al riego de vegetales. Este patrón cercano a la neutralidad sugiere una condición favorable para el riego, ya que reduce el riesgo de alteraciones fuertes en la disponibilidad de nutrientes y en la estabilidad química del sistema suelo y agua. En estudios recientes sobre reutilización agrícola del agua, un pH cercano a la neutralidad también ha sido descrito como adecuado para riego y con bajo riesgo inmediato para el cultivo y el suelo (Khader et al., 2025).

El Oxígeno Disuelto presentó valores entre 3.85 y 4.22 mg/L. Este resultado sugiere una posible condición localizada de menor aireación, mayor carga orgánica o menor recambio hidráulico en ese sector. La literatura reciente indica que el oxígeno disuelto disminuye cuando se intensifican los procesos de descomposición orgánica y cuando aumenta la temperatura, debido a la menor solubilidad del oxígeno en el agua, como la temperatura fue muy homogénea entre puntos, es posible inferir que la pequeña diferencia en P3 responde más a condiciones locales del sitio que a un efecto térmico marcado (Yavuz, 2025).

La Conductividad Eléctrica varió entre 480 y 667 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es decir, aproximadamente entre 0.48 y 0.667 dS/m, mientras que los Sólidos Disueltos Totales fluctuaron entre 376 y 431 mg/L. Estos resultados indican una mineralización baja a moderada (Bakari et al., 2022). Además, todos los valores de Conductividad están muy por debajo del límite peruano de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para riego de vegetales, y los TDS se mantienen por debajo de 500 mg/L, nivel que en literatura reciente sigue reportándose como compatible con un uso de riego sin restricciones importantes. Estos parámetros son variables clave para vigilar el riesgo de salinización, porque la composición del agua de riego se relaciona directamente con la evolución de la salinidad del suelo y con la sostenibilidad del uso agrícola en el mediano y largo plazo (Ma et al., 2024).

Asimismo, la temperatura mostró una estabilidad térmica durante el muestreo. Estos resultados describen un agua con pH adecuado, salinidad baja a moderada y una alerta puntual por oxígeno disuelto en P3, esto permite sostener que el recurso hídrico evaluado presenta una aptitud general favorable para riego, pero requiere seguimiento periódico en los puntos donde el oxígeno disuelto tiende a disminuir y donde una acumulación progresiva de sales podría manifestarse con el uso continuo (Ashie et al., 2024).

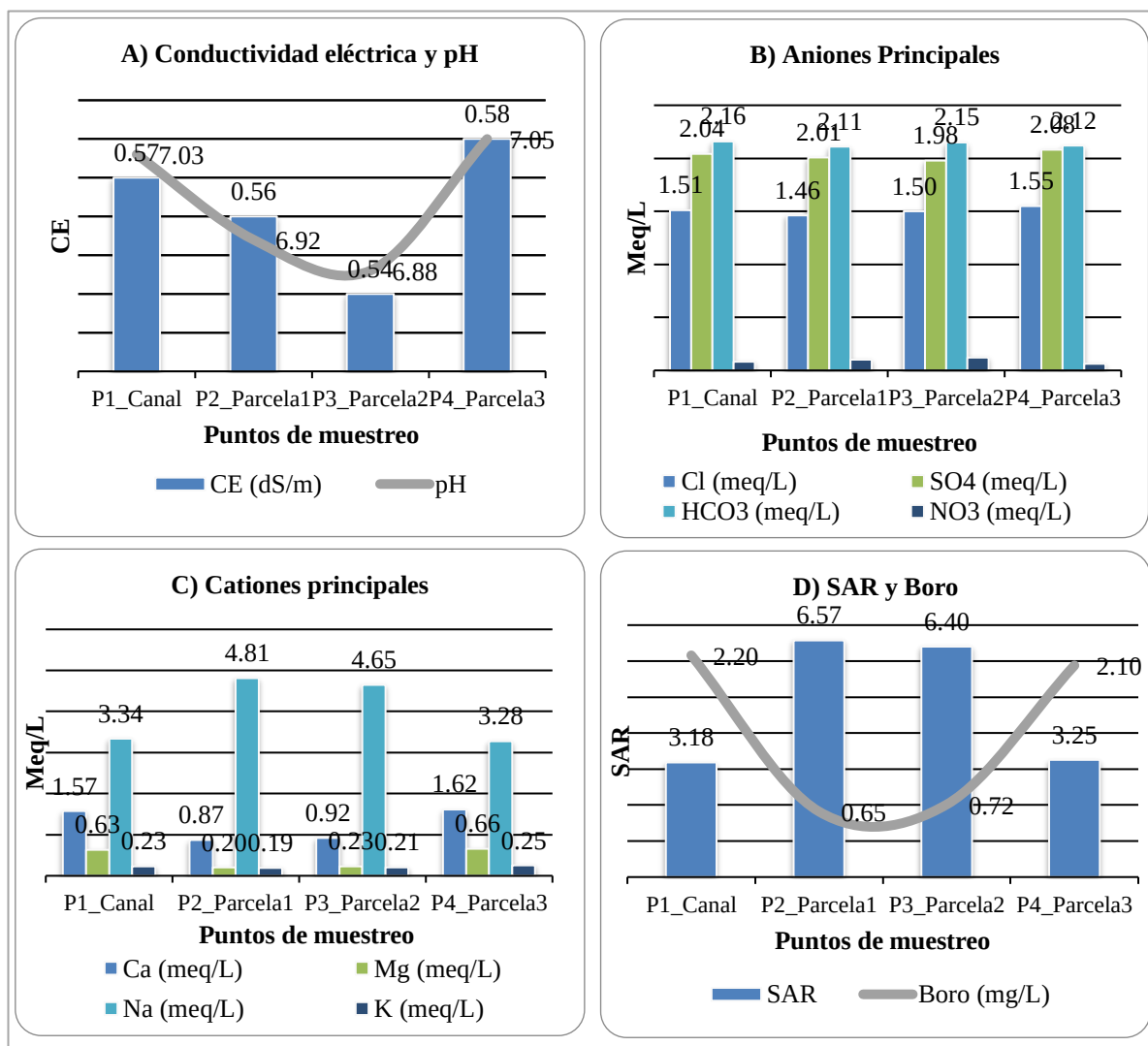
Tabla 12*Resultados primer monitoreo agua, resultados de laboratorio UNALM*

Parámetros	Unidad	Resultados			
		P1_canprincipal	P2_Enparcela1	P3_Enparcela2	P4_Enparcela3
Conductividad eléctrica (CE)	dS·m ⁻¹	0.57	0.56	0.54	0.58
pH	Unidad de pH	7.03	6.92	6.88	7.05
Calcio (Ca ²⁺)	meq·L ⁻¹	1.57	0.87	0.92	1.62
Magnesio (Mg ²⁺)	meq·L ⁻¹	0.63	0.20	0.23	0.66
Sodio (Na ⁺)	meq·L ⁻¹	3.34	4.81	4.65	3.28
Potasio (K ⁺)	meq·L ⁻¹	0.23	0.19	0.21	0.25
Suma de cationes	meq·L⁻¹	5.77	6.07	6.01	5.81
Cloruro (Cl ⁻)	meq·L ⁻¹	1.51	1.46	1.50	1.55
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	meq·L ⁻¹	2.04	2.01	1.98	2.08
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	meq·L ⁻¹	2.16	2.11	2.15	2.12
Nitratos (NO ₃ ⁻)	meq·L ⁻¹	0.08	0.10	0.12	0.06
Carbonatos (CO ₃ ²⁻)	meq·L ⁻¹	0.00	0.00	0.00	0.00
Suma de aniones	meq·L⁻¹	5.80	5.68	5.75	5.81
Relación de adsorción de sodio (SAR)	Adimensional	3.18	6.57	6.40	3.25
Clasificación de salinidad y sodicidad	C2-S1	-	-	-	-
Boro (B)	mg·L ⁻¹	2.20	0.65	0.72	2.10

Nota. Resultados obtenidos en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria la Molina, precisando los resultados en cada punto de muestreo realizado.

Figura 8

Perfil hidroquímico del primer monitoreo de agua en los puntos de muestreo



Nota. El panel A muestra la conductividad eléctrica (CE) y el pH; el panel B, los cationes principales (Ca, Mg, Na y K); el panel C, los aniones principales (Cl, SO₄, HCO₃ y NO₃); y el panel D, la relación de adsorción de sodio (SAR) y el boro. Para la interpretación regulatoria se tomó como referencia la Categoría 3-D1, agua para riego no restringido, del ECA para agua vigente en Perú.

En el panel A, la CE varía entre 0.54 y 0.58 dS/m y el pH entre 6.88 y 7.05. Esto muestra una química bastante estable entre los cuatro puntos de muestreo. El pH se mantiene dentro del rango permitido por el ECA, lo que indica una reacción cercana a la neutralidad y favorable para riego.

En el panel B, el catión dominante en todos los puntos es el Na^+ , especialmente en P2_Parcela1 y P3_Parcela2, mientras que el Ca^{2+} y el Mg^{2+} descienden en esos mismos puntos. Ese patrón explica que el SAR también sea más alto en P2 y P3, aunque todavía se mantiene por debajo del umbral de precaución de $\text{SAR} = 9$ que la literatura reciente sigue usando como referencia para el inicio de problemas de dispersión de arcillas e infiltración (Sosa et al., 2025a).

En el panel C, los aniones dominantes son HCO_3^- y SO_4^{2-} , seguidos por Cl^- , mientras que los NO_3^- son bajos y los CO_3^{2-} no se detectan. Esta composición sugiere una carga salina moderada y relativamente estable. Al convertir los datos a mg/L, los bicarbonatos se ubican aproximadamente entre 129 y 132 mg/L, los cloruros entre 52 y 55 mg/L y los sulfatos entre 95 y 100 mg/L; por tanto, todos permanecen por debajo de los valores de referencia del ECA para D1. Los nitratos, además, se mantienen bajos en todos los puntos, lo que no muestra una señal fuerte de enriquecimiento nitrogenado en este monitoreo puntual.

En el panel D, el comportamiento más importante es el del boro. Los valores fueron 2.20 mg/L en P1, 0.65 mg/L en P2, 0.72 mg/L en P3 y 2.10 mg/L en P4. Comparados con el ECA peruano para D1 (1 mg/L), P1 y P4 exceden el límite, mientras que P2 y P3 no lo superan. Sin embargo, si se utiliza el criterio agronómico más conservador reportado en el artículo de Sosa et al., (2025b) donde menciona que para cultivos sensibles el umbral es de 0.7 mg/L basándose en la FAO, P1 y P4 presentan un exceso claro y P3 queda apenas por encima de este umbral, por lo que este resultado es relevante, ya que muestran que el boro, aun con SAR moderado, puede convertirse en la restricción dominante para la productividad agrícola y debe vigilarse junto con EC y SAR.

Además, es importante resaltar que la dominancia de Na^+ en P2 y P3, es un factor que eleva el SAR respecto a los otros puntos, además, que la presencia de boro alto en P1 y P4, constituye ser una limitante muy importante del monitoreo. Esta interpretación es consistente con la evidencia reciente sobre reutilización y riego con aguas de composición salina, donde el problema más frecuente no siempre es el pH, sino la acumulación progresiva de sales, sodicidad y elementos específicos como el boro en el sistema suelo-planta (Wang et al., 2024).

b) Segundo monitoreo

Tabla 13

Resultados del segundo monitoreo de agua con el multiparámetro HANNA

Zona de muestreo (Código de campo)	Ubicación de la zona de muestreo	Parámetros medidos en campo										
		Potencial de Hidrógeno	pH (mV)	Oxígeno Disuelto	Oxígeno Disuelto	Conductividad Eléctrica	Conductividad Específica	Sólidos Totales Disueltos	Salinidad	Salinidad	Resistividad	Temperatura
P1_canal	Canal	7.32	-65.1 mV	47.8 %	4.05 mg/L	670 μ S/cm	758 μ S/cm	380 ppm	0.38 PSU	0 %	0.0013 $M\Omega \cdot cm$	18.90 °C
P2_Parcela1	Entrada parcela 1	7.18	-57.6 mV	55.9 %	4.28 mg/L	660 μ S/cm	728 μ S/cm	378 ppm	0.38 PSU	0 %	0.0013 $M\Omega \cdot cm$	18.45 °C
P3_Parcela2	Entrada parcela 2	7.48	-60.5 mV	54.2 %	3.90 mg/L	662 μ S/cm	692 μ S/cm	382 ppm	0.37 PSU	0 %	0.0014 $M\Omega \cdot cm$	18.92 °C
P4_Parcela3	Entrada parcela 3	7.47	-63.9 mV	55.8 %	4.05 mg/L	485 μ S/cm	758 μ S/cm	435 ppm	0.25 PSU	0 %	0.0013 $M\Omega \cdot cm$	19.00 °C

Nota. Resultados obtenidos con el equipo multiparámetro obtenido de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta

Tabla 14

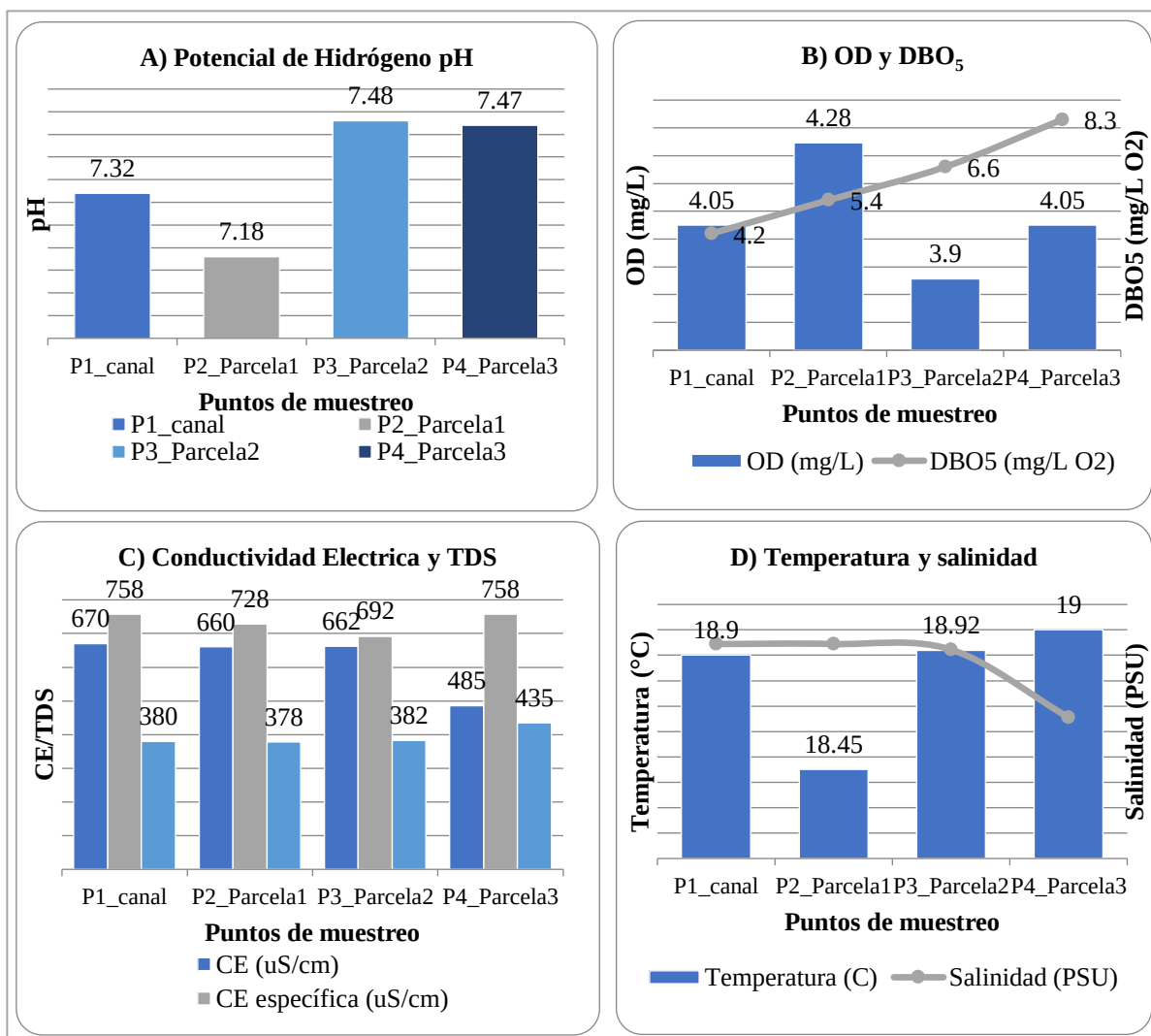
Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) analizadas en el laboratorio de la UNAH

Parámetro	Unidad	Resultados			
		P1_Canal	P2_Parcela1	P3_Parcela2	P4_Parcela3
DBO ₅	mg/L O ₂	4.2	5.4	6.6	8.3

Nota. Resultados obtenidos a través del equipo de DBO₅ de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta.

Figura 9

Parámetros fisicoquímicos del agua pH, OD, DBO₅, CE y TDS



Nota. Comparación de parámetros fisicoquímicos del agua en cada punto de muestreo.

El campo A muestra valores entre 7.18 y 7.48, lo que evidencia una condición neutra a ligeramente alcalina y una variación reducida entre puntos. Esto sugiere estabilidad química del agua y ausencia de riesgo inmediato por acidez o alcalinidad para el riego. El campo B evidencia que el OD fluctuó entre 3.90 y 4.28 mg/L, mientras que la DBO₅ aumentó de 4.2 a 8.3 mg/L O₂ desde el primer hasta el último punto. Esta tendencia sugiere que, a medida que aumenta la materia orgánica biodegradable, el consumo de oxígeno también puede incrementarse. En la figura de CE y TDS muestra que la conductividad varió entre 485 y 670 μ S/cm y los sólidos disueltos totales entre 378 y 435 ppm, estos valores reflejan una

mineralización baja a moderada, sin evidencia de salinidad severa. Además, se encuentran muy por debajo del valor de referencia peruano para riego, por lo que no representan una restricción inmediata para el uso agrícola. En el campo D se muestra una temperatura estable entre 18.45 y 19.00 °C y una salinidad baja entre 0.25 y 0.38 PSU. Esto indica que durante el monitoreo no hubo cambios térmicos importantes ni niveles altos de sales que limiten el uso del agua.

Tabla 15

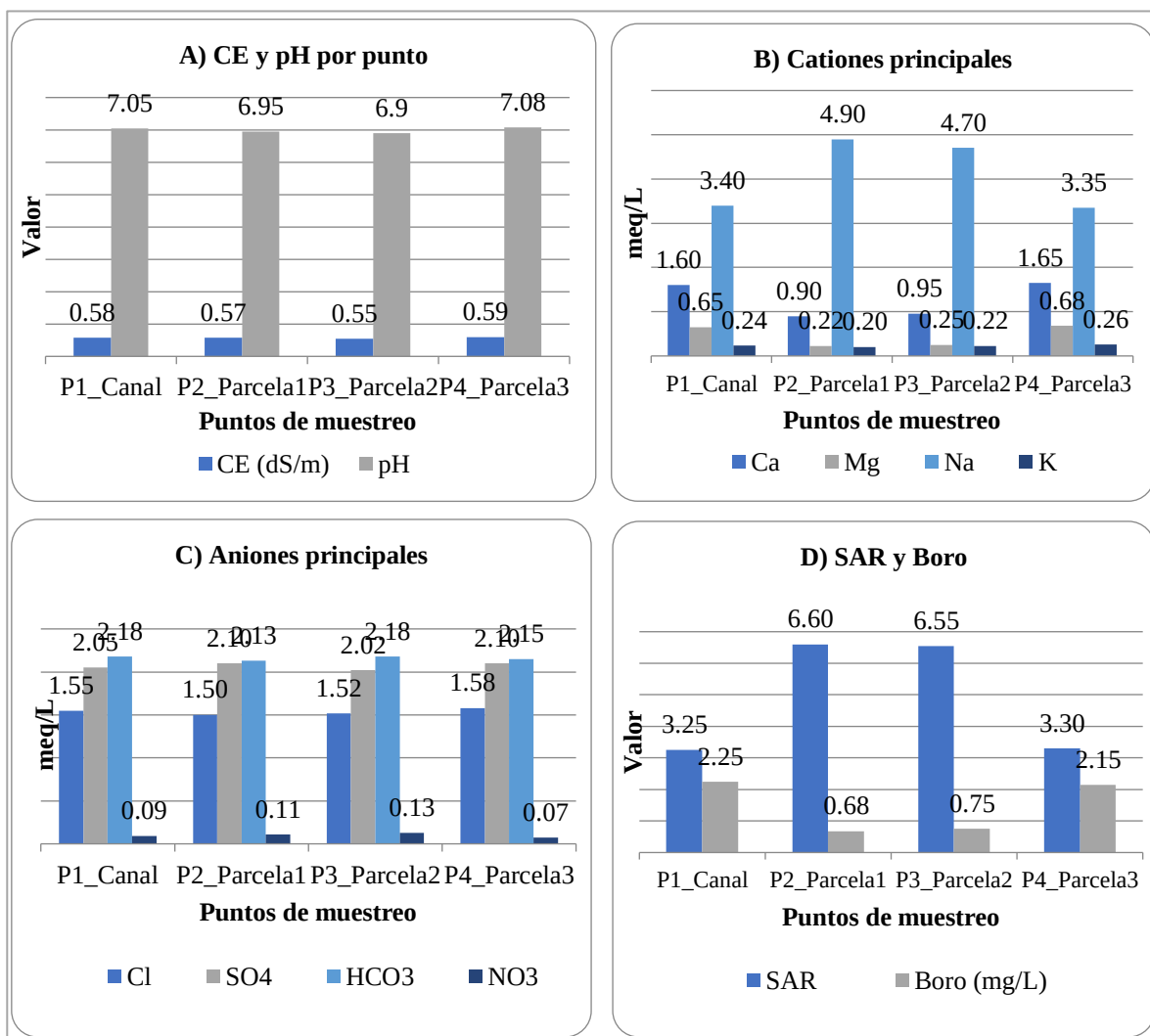
Resultados segundo monitoreo de agua, analizados en la Universidad Nacional Agraria la Molina.

Parámetros	Unidad	Resultados			
		P1_canal	P2_parcela1	P3_parcela2	P4_parcela3
Conductividad eléctrica (CE)	dS·m ⁻¹	0.58	0.57	0.55	0.59
pH	Unidad de pH	7.05	6.95	6.90	7.08
Calcio (Ca ²⁺)	meq·L ⁻¹	1.60	0.90	0.95	1.65
Magnesio (Mg ²⁺)	meq·L ⁻¹	0.65	0.22	0.25	0.68
Sodio (Na ⁺)	meq·L ⁻¹	3.40	4.90	4.70	3.35
Potasio (K ⁺)	meq·L ⁻¹	0.24	0.20	0.22	0.26
Suma de cationes	meq·L⁻¹	5.89	6.22	6.12	5.94
Cloruro (Cl ⁻)	meq·L ⁻¹	1.55	1.50	1.52	1.58
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	meq·L ⁻¹	2.05	2.10	2.02	2.10
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	meq·L ⁻¹	2.18	2.13	2.18	2.15
Nitratos (NO ₃ ⁻)	meq·L ⁻¹	0.09	0.11	0.13	0.07
Carbonatos (CO ₃ ²⁻)	meq·L ⁻¹	0.00	0.00	0.00	0.00
Suma de aniones	meq·L⁻¹	5.87	5.84	5.85	5.90
Relación de adsorción de sodio (SAR)	Adimensional	3.25	6.60	6.55	3.30
Clasificación de salinidad y sodicidad	C2-S1	-	-	-	-
Boro (B)	mg·L ⁻¹	2.25	0.68	0.75	2.15

Nota. Resultados obtenidos de la Universidad Nacional Agraria la Molina

Figura 10 .

Concentración de los parámetros fisicoquímicos evaluados en cada punto de muestreo.



Nota. La figura presenta de manera resumida la concentración de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los puntos de muestreo en el segundo monitoreo, incluyendo Conductividad Eléctrica (CE), pH, cationes principales (Ca, Mg, Na y K), aniones principales (Cl, SO₄, HCO₃ y NO₃), relación de adsorción de sodio (SAR) y boro (B).

La figura 10 muestra que el agua evaluada presenta una composición química relativamente estable entre los puntos de muestreo, aunque con diferencias puntuales en algunos componentes específicos. En el campo A se observa que la Conductividad Eléctrica y el pH mantienen valores bastante homogéneos, lo que indica una mineralización moderada y una condición cercana a la neutralidad en todo el sistema evaluado. Esto permite inferir que no existen cambios marcados en la acidez ni en la concentración general de sales disueltas entre

el canal y las parcelas. En el campo B se aprecia que el sodio constituye el catión predominante, especialmente en P2_Parcela1 y P3_Parcela2, mientras que el Calcio y el Magnesio disminuyen en esos mismos puntos y el potasio se mantiene bajo y uniforme. Este comportamiento evidencia que, aunque la química general del agua es estable, la composición catiónica presenta una tendencia al predominio de sodio en la parte intermedia del área de estudio. Por su parte, en el campo C muestra que los aniones principales, especialmente Bicarbonato y Sulfato, mantienen concentraciones similares en todos los puntos, acompañados por valores también estables de cloruro y bajas concentraciones de nitrato, mientras que los carbonatos no fueron detectados. Finalmente, en el campo D presenta la relación de adsorción de sodio (SAR) es más alta en P2_Parcela1 y P3_Parcela2, en correspondencia con el predominio de sodio, mientras que el boro alcanza sus valores más elevados en P1_Canal y P4_Parcela3.

c) Tercer Monitoreo

Tabla 16

Resultados del multiparámetro HANNA de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta

Zona de muestreo (Código de campo)	Ubicación de la zona de muestreo	Parámetros medidos en campo										
		Potencial de Hidrógeno	pH (mV)	Oxígeno Disuelto	Oxígeno Disuelto	Conductividad Eléctrica	Conductividad Específica	Sólidos Totales Disueltos	Salinidad	Salinidad	Resistividad	Temperatura
P1_canal	Canal	7.32	-65.1 mV	47.8 %	4.05 mg/L	670 μ S/cm	758 μ S/cm	380 ppm	0.38 PSU	0 %	0.0013 $M\Omega \cdot cm$	18.90 $^{\circ}C$
P2_Parcela1	Entrada parcela 1	7.18	-57.6 mV	55.9 %	4.28 mg/L	660 μ S/cm	728 μ S/cm	378 ppm	0.38 PSU	0 %	0.0013 $M\Omega \cdot cm$	18.45 $^{\circ}C$
P3_Parcela2	Entrada parcela 2	7.48	-60.5 mV	54.2 %	3.90 mg/L	662 μ S/cm	692 μ S/cm	382 ppm	0.37 PSU	0 %	0.0014 $M\Omega \cdot cm$	18.92 $^{\circ}C$
P4_Parcela3	Entrada parcela 3	7.47	-63.9 mV	55.8 %	4.05 mg/L	485 μ S/cm	758 μ S/cm	435 ppm	0.25 PSU	0 %	0.0013 $M\Omega \cdot cm$	19.00 $^{\circ}C$

Nota. Resultados obtenidos del Multiparámetro HANNA Universidad Nacional autónoma de Huanta del tercer monitoreo de agua.

Tabla 17

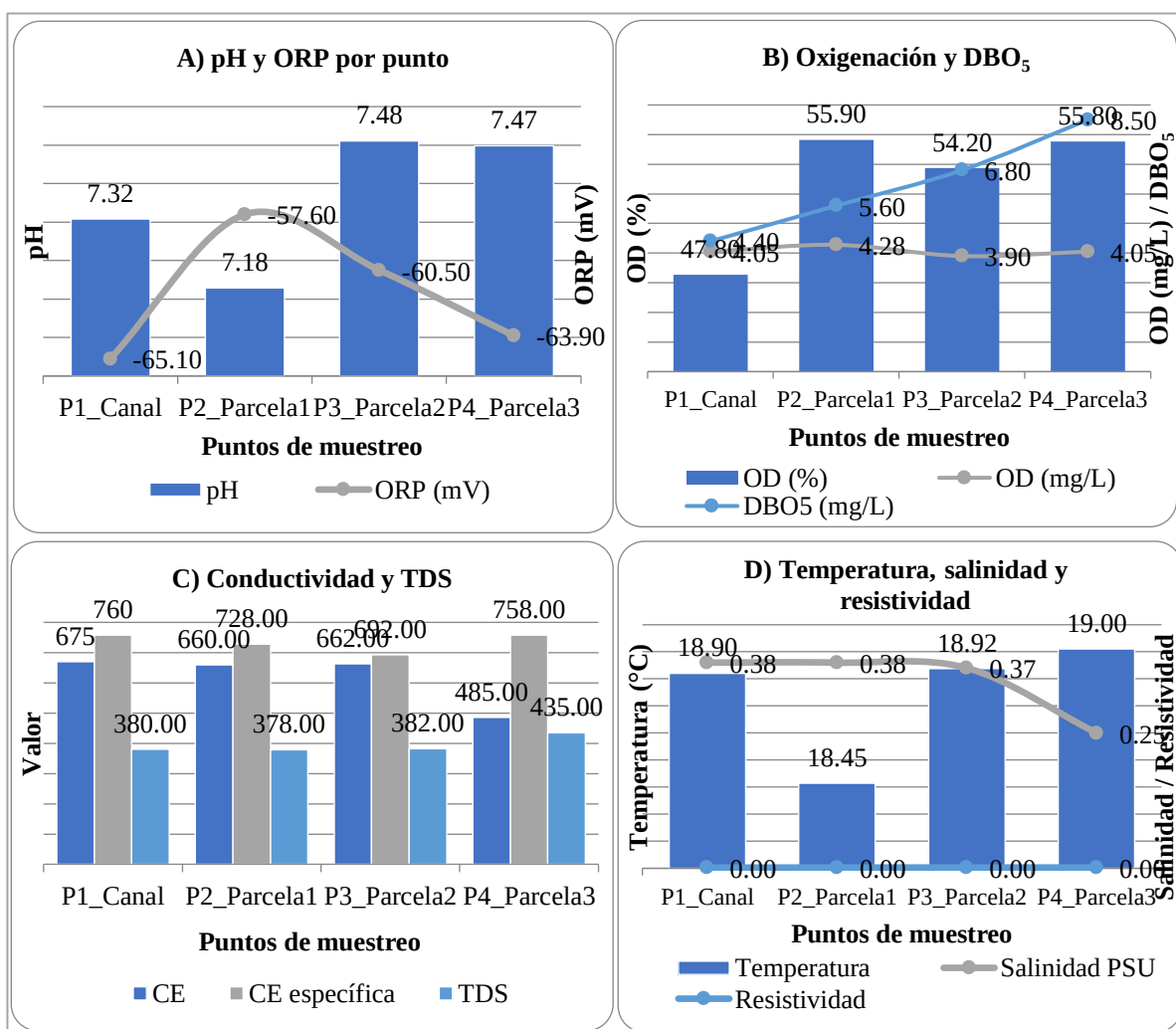
Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) analizadas en el laboratorio de la UNAH

Parámetro	Unidad	Resultados			
		P1_Canal	P2_Parcela1	P3_Parcela2	P4_Parcela3
DBO ₅	mg/L O ₂	4.4	5.6	6.8	8.5

Nota. Resultados obtenidos a través del equipo de DBO₅ de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, tercer monitoreo de agua.

Figura 11

Tercer monitoreo de agua - parámetros de campo y DBO₅



Nota. Resultados del tercer monitoreo de agua en los puntos P1_Canal, P2_Parcela1, P3_Parcela2 y P4_Parcela3, incluyendo los parámetros de campo pH, Potencial Óxido-

Reducción (ORP), Oxígeno Disuelto (%), Oxígeno Disuelto (mg/L), Conductividad Eléctrica (CE), Conductividad Específica, Sólidos Disueltos Totales (TDS), Temperatura, Salinidad y Resistividad, así como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) determinada en laboratorio.

En el campo A se muestra que el pH se mantiene en un rango estable, lo que indica una condición cercana a la neutralidad y relativamente uniforme entre los cuatro puntos de muestreo. A la vez, el ORP presenta valores negativos en todos los puntos, con poca variación relativa. Este comportamiento es compatible con lo reportado en estudios recientes de calidad de agua para riego, donde valores de pH cercanos a la neutralidad, acompañados de baja Salinidad, se consideran favorables para uso agrícola (Meshram et al., 2024). Asimismo, una tesis reciente desarrollada en Ayacucho reportó que pH, conductividad y TDS dentro de rangos permisibles sustentan una condición adecuada del agua para riego agrícola (Calle Escalante, 2024).

En el campo B, se observa que el oxígeno disuelto en mg/L fluctúa entre 3.90 y 4.28 mg/L, mientras que la DBO₅ presenta un incremento progresivo desde 4.4 mg/L en P1 hasta 8.5 mg/L en P4. Esta tendencia indica que, conforme avanza el agua a través de los puntos evaluados, aumenta la carga orgánica biodegradable. La literatura reciente señala que la DBO₅ es un indicador clave del grado de contaminación orgánica del agua, mientras que el oxígeno disuelto es determinante en procesos biológicos y de absorción de nutrientes en sistemas irrigados (Zhang et al., 2025). En una tesis reciente sobre el río Ilave, también se emplearon pH, temperatura, oxígeno disuelto, DBO₅, conductividad y nitratos como parámetros centrales para evaluar el efecto de aguas residuales sobre la calidad del agua, lo que refuerza la importancia de interpretar estos indicadores de manera conjunta (Huanacuni Flores, 2025). En el campo C muestra que la Conductividad Eléctrica (CE), la Conductividad Específica y los Sólidos Disueltos Totales (TDS) presentan un comportamiento relativamente uniforme en los tres primeros puntos, mientras que en P4_Parcela3 se observa una menor CE pero un mayor TDS. En términos generales, estos resultados indican una mineralización baja a moderada del agua, sin cambios bruscos entre puntos. El campo D evidencia que la Temperatura se mantiene estable entre 18.45 y 19.00 °C, lo que indica ausencia de variaciones térmicas importantes durante el monitoreo. La Salinidad (PSU) es baja en todos los puntos, con una ligera disminución en P4_Parcela3, y la resistividad se mantiene prácticamente constante. En estudios recientes de evaluación de

calidad de agua, la Temperatura y la salinidad son consideradas variables complementarias importantes porque influyen en la estabilidad fisicoquímica del recurso y ayudan a interpretar la interacción entre sales, oxigenación y calidad general del agua (Meshram et al., 2024). Asimismo, en la investigación de Huanacuni Flores, (2025), se considera a la Temperatura, la Conductividad y el Oxígeno Disuelto como parámetros básicos para evaluar la afectación del agua por descargas residuales.

Tabla 18

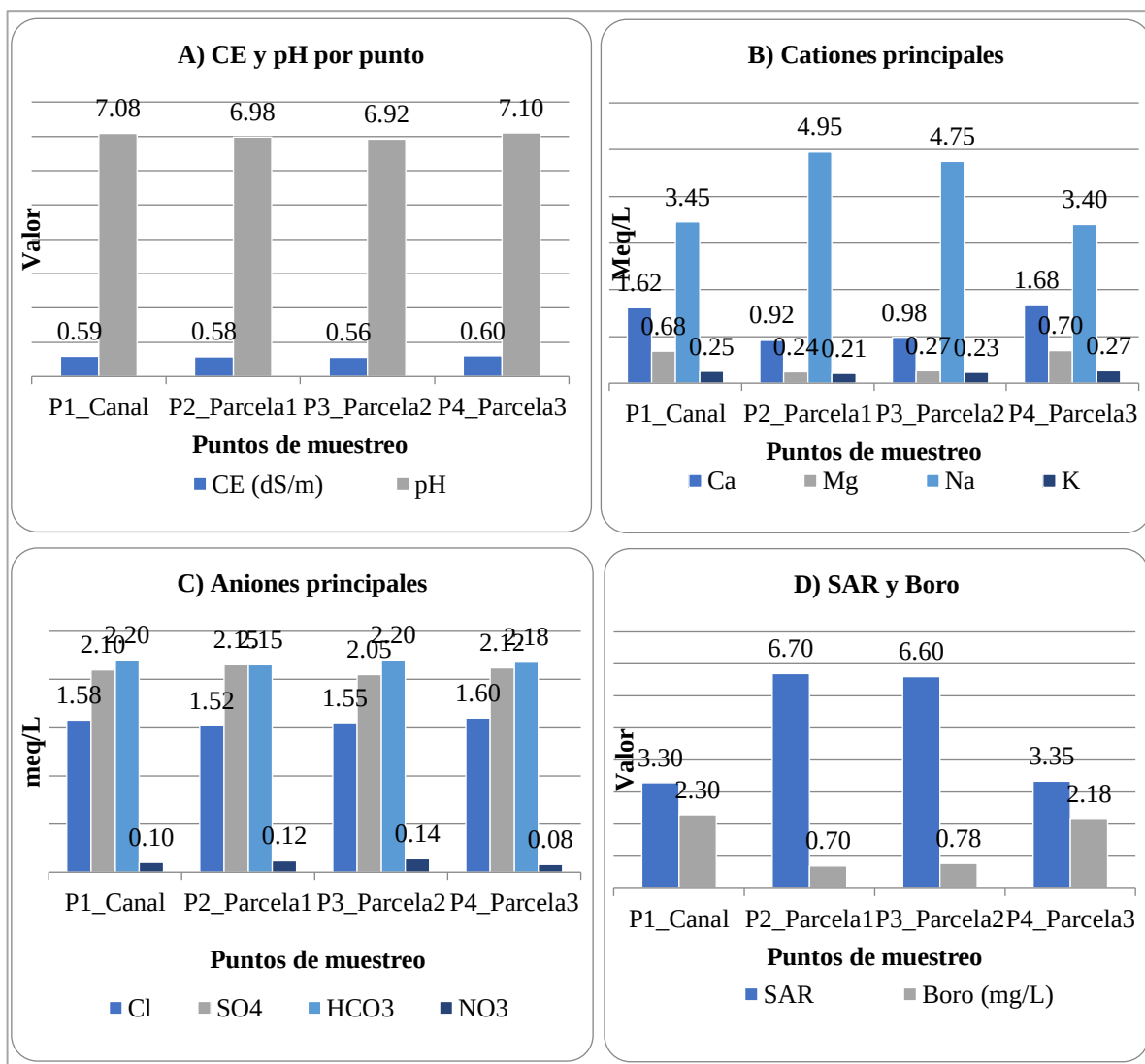
Resultados tercer monitoreo de agua, analizados en la Universidad Nacional Agraria la Molina

Parámetros	Unidad	Resultados			
		P1_campesino	P2_Enparcela1	P3_Enparcela2	P4_Enparcela3
Conductividad eléctrica (CE)	dS·m ⁻¹	0.59	0.58	0.56	0.60
pH	Unidad de pH	7.08	6.98	6.92	7.10
Calcio (Ca ²⁺)	meq·L ⁻¹	1.62	0.92	0.98	1.68
Magnesio (Mg ²⁺)	meq·L ⁻¹	0.68	0.24	0.27	0.70
Sodio (Na ⁺)	meq·L ⁻¹	3.45	4.95	4.75	3.40
Potasio (K ⁺)	meq·L ⁻¹	0.25	0.21	0.23	0.27
Suma de cationes	meq·L⁻¹	6.00	6.32	6.23	6.05
Cloruro (Cl ⁻)	meq·L ⁻¹	1.58	1.52	1.55	1.60
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	meq·L ⁻¹	2.10	2.15	2.05	2.12
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	meq·L ⁻¹	2.20	2.15	2.20	2.18
Nitratos (NO ₃ ⁻)	meq·L ⁻¹	0.10	0.12	0.14	0.08
Carbonatos (CO ₃ ²⁻)	meq·L ⁻¹	0.00	0.00	0.00	0.00
Suma de aniones	meq·L⁻¹	5.98	5.94	5.94	5.98
Relación de adsorción de sodio (SAR)	Adimensional	3.30	6.70	6.60	3.35
Clasificación de salinidad y sodicidad	C2-S1	-	-	-	-
Boro (B)	mg·L ⁻¹	2.30	0.70	0.78	2.18

Nota. Resultados obtenidos de la Universidad Nacional Agraria la Molina Tercer monitoreo

Figura 12

Concentración de parámetros fisicoquímicos e índices de calidad del agua en el tercer monitoreo por punto de muestreo



Nota. Resultados del tercer monitoreo de agua en los puntos P1_Canal, P2_Parcela1, P3_Parcela2 y P4_Parcela3, incluyendo Conductividad Eléctrica (CE), pH, Cationes principales (Ca, Mg, Na y K), Aniones principales (Cl, SO₄, HCO₃ y NO₃), relación de adsorción de sodio (SAR) y boro (B).

En el campo A muestra que la conductividad eléctrica varía entre 0.56 y 0.60 dS/m, mientras que el pH se mantiene entre 6.92 y 7.10. Este comportamiento indica una composición química relativamente estable entre los cuatro puntos de muestreo, con una condición cercana a la neutralidad y una salinidad baja a moderada. En el campo B se observa que el

sodio (Na^+) es el catión predominante en todos los puntos, especialmente en P2_Parcela1 y P3_Parcela2, donde alcanza los valores más altos. En contraste, el Calcio (Ca^{2+}) y el Magnesio (Mg^{2+}) disminuyen en estos puntos, mientras que el Potasio (K^+) se mantiene bajo y bastante uniforme. En el campo C se evidencia que los aniones predominantes son el bicarbonato (HCO_3^-) y el Sulfato (SO_4^{2-}), con valores bastante similares entre puntos, mientras que el Cloruro (Cl^-) muestra una variación mínima y los Nitratos (NO_3^-) permanecen en concentraciones bajas. Los Carbonatos (CO_3^{2-}) no se detectan en ninguno de los puntos evaluados. En el campo D se observa que la SAR alcanza sus valores más altos en P2_Parcela1 y P3_Parcela2, lo cual coincide con el predominio de sodio observado en la figura de cationes. Por otro lado, el boro es más alto en P1_Canal y P4_Parcela3, con valores de 2.30 y 2.18 mg/L, respectivamente.

4.1.2. Evaluación de la concentración de parámetros fisicoquímicos del suelo agrícola de la comunidad Santa Rosa de Huaysuy

a) Primer monitoreo

Tabla 19

Resultados primer monitoreo de suelo en el laboratorio de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta

Zona de muestreo (Código de campo)	Ubicación de la zona de muestreo	Resultados laboratorio UNAH			
		pH	Densidad aparente mg/m ³	Textura	Compactación (MPa)
M1_Parcela1	Parcela 1	7.55	1.67	Grava limosa con arena	2.41
M2_Parcela1	Parcela 1	7.78	1.68	Grava limosa con arena	2.40
M3_Parcela2	Parcela 2	7.16	1.85	Grava limosa con arena	2.42
M4_Parcela2	Parcela 2	7.12	1.63	Grava limosa con arena	2.39
M5_Parcela3	Parcela 3	7.87	1.72	Grava limosa con arena	2.43
M6_Parcela3	Parcela 3	7.93	1.84	Grava limosa con arena	2.41
M7_Parcelanula	Parcela nula	8.02	1.63	Arena limosa con gravas	2.38

Nota. Resultados primer monitoreo de suelos realizado en el laboratorio de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta.

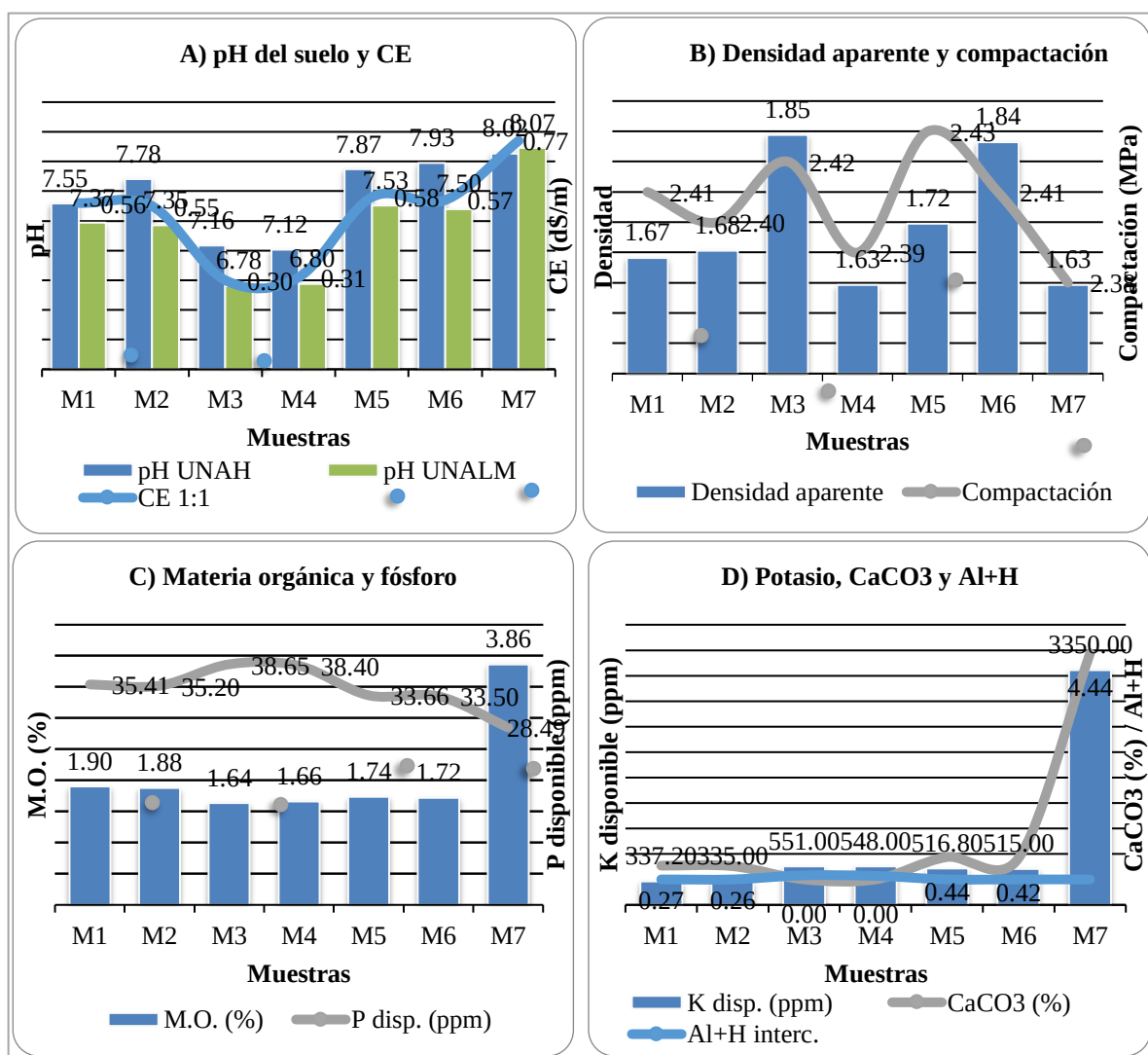
Tabla 20*Resultados primer monitoreo suelo, analizados por la UNALM*

Parámetros	Unidad	Resultados						
		M1_Parcela1	M2_Parcela1	M3_Parcela2	M4_Parcela2	M5_Parcela3	M6_Parcela3	M7_Parcelanula
Conductividad Eléctrica (CE, relación 1:1)	dS·m ⁻¹	0.56	0.55	0.30	0.31	0.58	0.57	0.77
pH (relación 1:1)	Und. de pH	7.37	7.35	6.78	6.80	7.53	7.50	8.07
Materia Orgánica (M.O.)	%	1.90	1.88	1.64	1.66	1.74	1.72	3.86
Fósforo disponible (P)	ppm	35.41	35.20	38.65	38.40	33.66	33.50	28.49
Potasio Disponible (K)	ppm	337.20	335.00	551.00	548.00	516.80	515.00	3350.00
Carbonato de Calcio (CaCO ₃)	%	0.27	0.26	-	-	0.44	0.42	4.44
Al ³⁺ + H ⁺ intercambiables	meq·100 g ⁻¹	-	-	0.08	0.07	-	-	-

Nota. Resultados obtenidos de la Universidad Nacional Agraria la Molina

Figura 13

Principales parámetros fisicoquímicos del suelo en el primer monitoreo por muestra.



Nota. Resultados del primer monitoreo de suelo en las muestras, incluyendo pH del suelo, Conductividad Eléctrica (CE), Densidad Aparente, Compactación, Materia Orgánica, Fósforo Disponible, Potasio Disponible, Carbonato de Calcio (CaCO₃) y Acidez Intercambiable (Al+H).

En el campo A los valores de pH obtenidos tanto en el laboratorio de la UNAH como en la UNALM muestran un comportamiento bastante estable entre las muestras, con un rango cercano a neutro-ligeramente alcalino. A la vez, la conductividad eléctrica (CE) se mantiene en niveles bajos, con valores entre 0.30 y 0.77 dS/m, lo que sugiere ausencia de problemas fuertes de salinidad en este primer monitoreo. Destaca M7_Parcelanula, que presenta el pH y la CE más altos, lo que podría asociarse a una condición edáfica distinta respecto de las

parcelas cultivadas. En el campo B la Densidad Aparente varía entre 1.63 y 1.85, mientras que la compactación se mantiene en un rango muy estrecho (2.38–2.43 MPa). Las muestras M3 y M6 presentan las mayores densidades aparentes, lo que podría indicar una mayor consolidación del suelo en esos puntos, aunque la compactación medida no difiere de forma marcada respecto al resto, este comportamiento sugiere que el suelo posee una condición física relativamente homogénea (Kadro et al., 2024).

En el campo C se evidencia que la Materia Orgánica varía entre 1.64 % y 3.86 %, siendo M7_Parcelanula la muestra con el valor más alto. En el caso del Fósforo Disponible presenta sus mayores valores en M3 y M4, mientras que M7 registra el valor más bajo. Este patrón sugiere que el suelo de la parcela nula conserva mayor MO, pero no necesariamente mayor disponibilidad de Fósforo, mientras que las parcelas cultivadas muestran un comportamiento más favorable en este nutriente. En el campo D, el Potasio Disponible presenta valores altos en M3, M4, M5 y M6, pero alcanza un valor muy superior en M7_Parcelanula, que también registra el mayor contenido de Carbonato de Calcio (CaCO_3).

b) Segundo monitoreo

Tabla 21

Resultados del segundo monitoreo de suelos en el laboratorio de la UNAH

Zona de muestreo (Código de campo)	Ubicación de la zona de muestreo	Resultados laboratorio UNAH			
		pH	Densidad aparente	Textura	Compactación (MPa)
M1_Parcela1	Parcela 1	7.71	1.63	Grava limosa con arena	2.40
M2_Parcela1	Parcela 1	7.06	1.61	Grava limosa con arena	2.39
M3_Parcela2	Parcela 2	7.62	1.58	Grava limosa con arena	2.41
M4_Parcela2	Parcela 2	7.89	1.59	Grava limosa con arena	2.38
M5_Parcela3	Parcela 3	7.18	1.65	Grava limosa con arena	2.42
M6_Parcela3	Parcela 3	7.92	1.81	Grava limosa con arena	2.40
M7_Parcelanula	Parcela nula	8.13	1.58	Arena limosa con gravas	2.37

Nota. Resultados segundo monitoreo de suelo analizados en la Universidad Nacional Autónoma de Huanta

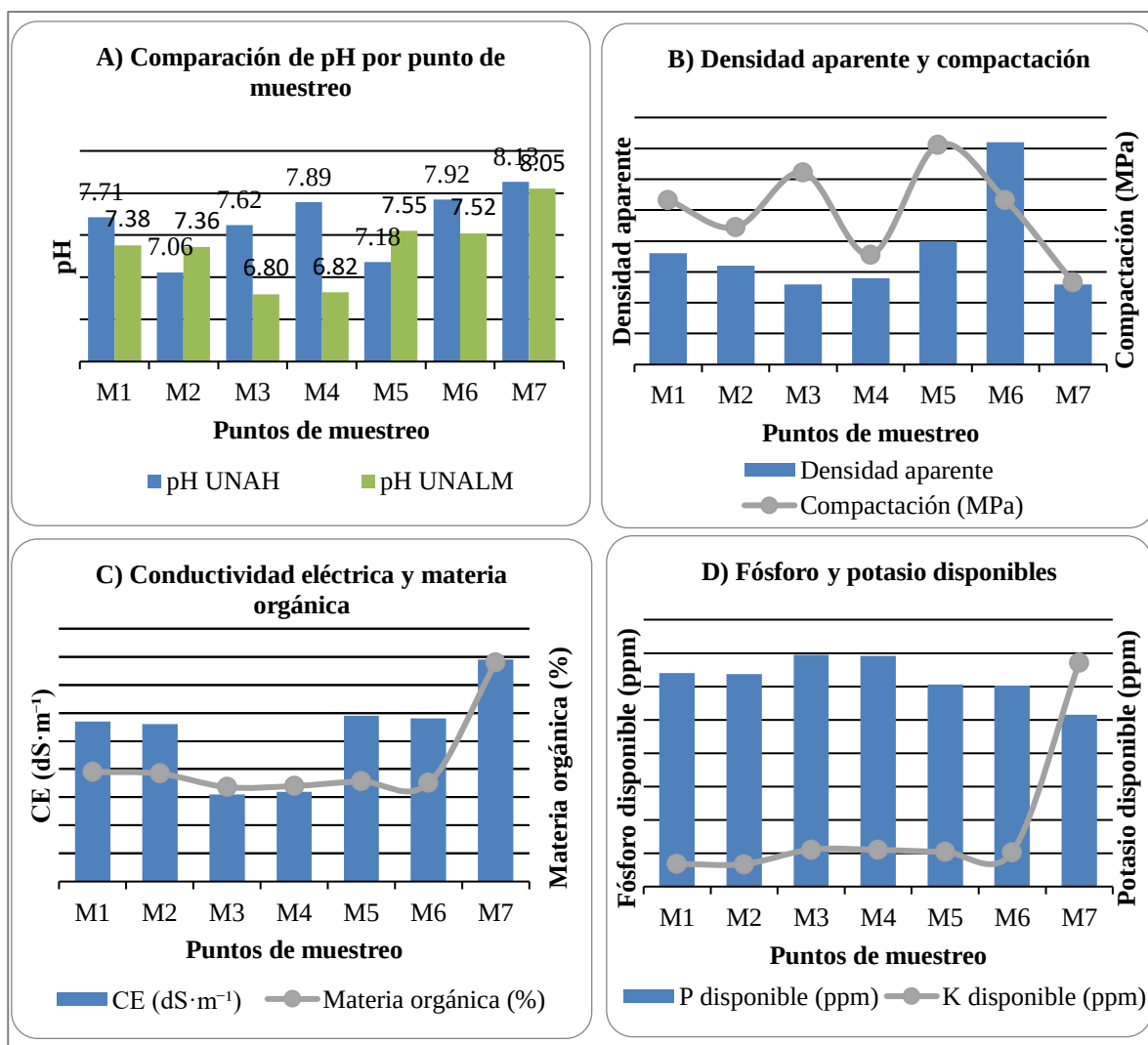
Tabla 22*Resultados segundo monitoreo suelo, analizados por la UNALM*

Parámetros	Unidad	Resultados						
		M1_Parcela1	M2_Parcela1	M3_Parcela2	M4_Parcela2	M5_Parcela3	M6_Parcela3	M7_Parcelanula
Conductividad Eléctrica (CE, relación 1:1)	dS·m ⁻¹	0.57	0.56	0.31	0.32	0.59	0.58	0.79
pH (relación 1:1)	Und. de pH	7.38	7.36	6.80	6.82	7.55	7.52	8.05
Materia Orgánica (M.O.)	%	1.95	1.92	1.68	1.70	1.78	1.75	3.90
Fósforo Disponible (P)	ppm	36.00	35.80	39.10	38.90	34.10	33.90	29.00
Potasio disponible (K)	ppm	340.00	338.00	555.00	550.00	520.00	518.00	3360.00
Carbonato de Calcio (CaCO ₃)	%	0.28	0.27	-	-	0.45	0.43	4.46
Al ³⁺ + H ⁺ intercambiables	meq·100 g ⁻¹	-	-	0.05	0.09	-	-	-

Nota. Resultados obtenidos de la Universidad Nacional Agraria la Molina del segundo monitoreo de suelos.

Figura 14

Resumen comparativo de las propiedades químicas y físicas del suelo por punto de muestreo durante el segundo monitoreo



Nota. La figura presenta la comparación de los valores de pH analizados por la UNAH y la UNALM, así como la Densidad Aparente, Compactación, Conductividad Eléctrica, Materia Orgánica, Fósforo Disponible y Potasio Disponible en los puntos de muestreo.

En el campo A se evidencia que el pH del suelo se mantuvo en un rango de neutro a ligeramente alcalino en todos los puntos evaluados, observándose los valores más altos en M7 tanto en los resultados de la UNAH como de la UNALM. En términos generales, los valores reportados por la UNAH fueron ligeramente superiores a los de la UNALM, aunque ambas instituciones mostraron una tendencia similar, con menores valores en M3 y M4. Respecto a las propiedades físicas, la densidad aparente presentó variaciones moderadas

entre los puntos de muestreo, registrándose el valor más alto en M6, lo que sugiere una mayor compactación estructural del suelo en este sector. Sin embargo, la compactación mostró un comportamiento relativamente uniforme en todos los puntos, lo que indica condiciones similares de resistencia mecánica del suelo.

En relación con las propiedades químicas, la conductividad eléctrica mostró valores bajos en todos los puntos, lo que permite inferir la ausencia de problemas de salinidad en el suelo. Por otro lado, la materia orgánica alcanzó su valor máximo en M7, diferenciándose claramente del resto de puntos de muestreo, donde los contenidos fueron menores y relativamente homogéneos. Esto coincide con lo reportado por Mishra et al., (2023), quien señala que el riego con efluentes tratados incrementa la fertilidad del suelo en etapas iniciales, aunque advierte la necesidad de controlar la salinidad a otros plazos. Finalmente, el fósforo disponible presentó concentraciones moderadas, con mayores valores en M3 y M4, mientras que el potasio disponible mostró una diferencia muy marcada en M7, donde se registró una concentración considerablemente superior respecto de los demás puntos.

c) Tercer monitoreo

Tabla 23

Resultados del tercer monitoreo de suelos en el laboratorio de la UNAH

Zona de muestreo (Código de campo)	Ubicación de la zona de muestreo	pH	Resultados laboratorio UNAH		
			Densidad Aparente	Textura	Compactación (MPa)
M1_Parcela1	Parcela 1	7.30	1.59	Grava limosa con arena	2.41
M2_Parcela1	Parcela 1	7.29	1.66	Grava limosa con arena	2.40
M3_Parcela2	Parcela 2	7.11	1.57	Grava limosa con arena	2.42
M4_Parcela2	Parcela 2	7.58	1.54	Grava limosa con arena	2.39
M5_Parcela3	Parcela 3	7.35	1.61	Grava limosa con arena	2.43
M6_Parcela3	Parcela 3	7.29	1.78	Grava limosa con arena	2.41
M7_Parcelanula	Parcela nula	8.15	1.53	Arena limosa con gravas	2.38

Nota. Resultados tercer monitoreo de suelo analizados en la UNAH

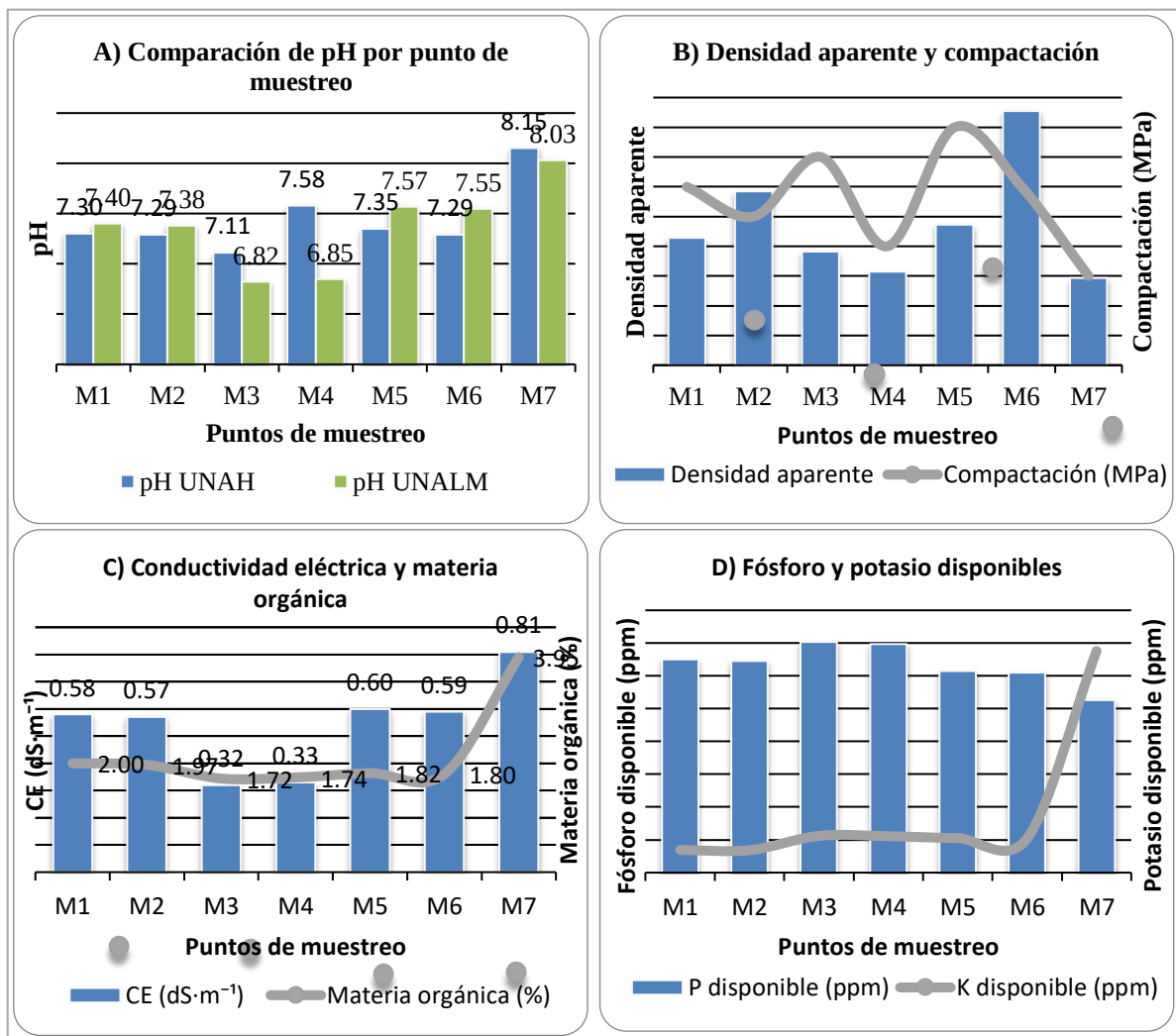
Tabla 24*Resultados tercer monitoreo suelo, analizados por la UNALM*

Parámetros	Unidad	Resultados						
		M1_Parcela1	M2_Parcela1	M3_Parcela2	M4_Parcela2	M5_Parcela3	M6_Parcela3	M7_Parcelanula
Conductividad Eléctrica (CE, relación 1:1)	dS·m ⁻¹	0.58	0.57	0.32	0.33	0.60	0.59	0.81
pH (relación 1:1)	Und. de pH	7.40	7.38	6.82	6.85	7.57	7.55	8.03
Materia Orgánica (M.O.)	%	2.00	1.97	1.72	1.74	1.82	1.80	3.95
Fósforo Disponible (P)	ppm	36.60	36.30	39.60	39.20	34.60	34.30	29.60
Potasio Disponible (K)	ppm	345.00	342.00	560.00	555.00	525.00	522.00	3380.00
Carbonato de Calcio (CaCO ₃)	%	0.29	0.28	-	-	0.46	0.44	4.48
Al ³⁺ + H ⁺ intercambiables	meq·100 g ⁻¹	-	-	0.10	0.09	-	-	-

Nota. Resultados obtenidos de la Universidad Nacional Agraria la Molina del tercer monitoreo de suelos

Figura 15

Resumen comparativo de las propiedades físicas y químicas del suelo por punto de muestreo durante el tercer monitoreo



Nota. Comparación de los valores de pH obtenidos por la UNAH y la UNALM, así como los resultados de Densidad Aparente, Compactación, CE, MO, Fósforo Disponible Y Potasio Disponible en los puntos de muestreo.

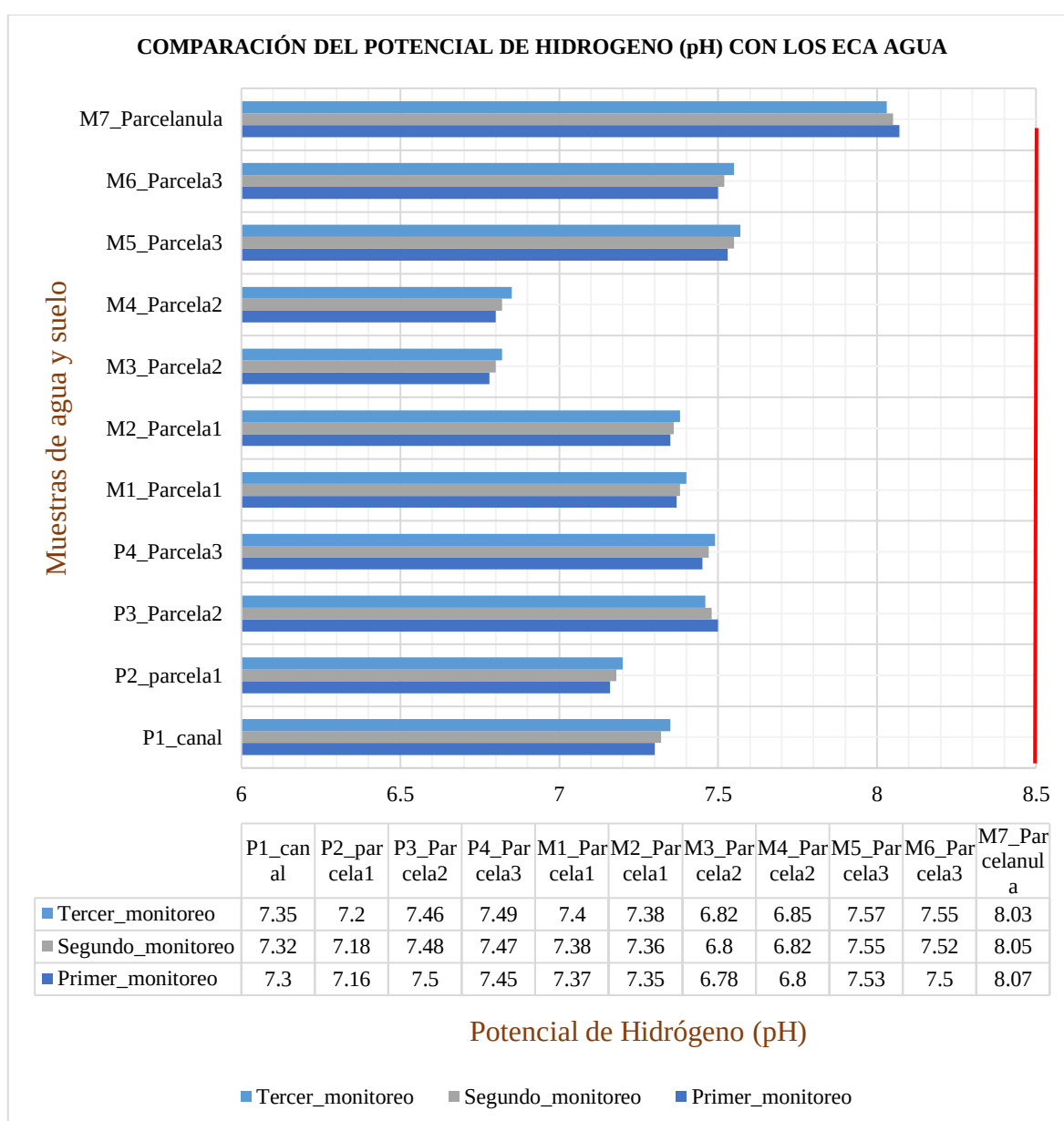
La figura evidencia que el pH del suelo presentó valores comprendidos entre ligeramente ácidos y moderadamente alcalinos. Este comportamiento del pH resulta relevante en la interpretación de la calidad del suelo, siendo este muy importante debido a que todas las fases del suministro de agua y el tratamiento de aguas residuales dependen del pH (Vilchez Melo, 2021).

Respecto a las propiedades químicas, la conductividad eléctrica se mantuvo en niveles bajos en todos los puntos. Finalmente, el fósforo disponible presentó concentraciones moderadas, con mayores valores en M3 y M4, mientras que el potasio disponible mostró una marcada diferencia en M7, donde alcanzó el valor más alto.

4.1.3. Análisis de la relación de los parámetros fisicoquímicos del agua y suelo con los estándares de calidad ambiental en la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta

Figura 16

Comparación del Potencial de Hidrogeno (pH) en los tres monitoreos de agua con los ECA de agua



Nota. Comparación de todos los valores de pH obtenidos en los tres monitoreos de los meses octubre, noviembre y diciembre correspondientemente de agua y suelo con el D.S. N° 004-2017-MINAM (ECA Agua, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida animales, la franja roja demuestra el límite del rango permitido para este parámetro.

La Figura 16 muestra la comparación de los valores de pH del agua de riego obtenidos en tres monitoreos con 4 puntos de muestreo, canal principal (P1) y en las parcelas agrícolas 1, 2 y 3 (P2, P3 y P4 respectivamente), contrastándolos con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Agua – Categoría 3, correspondiente al riego de vegetales y bebida de animales. Dicho estándar establece un rango permisible de pH entre 6.5 y 8.5, considerado adecuado para proteger tanto la salud humana como la integridad de los ecosistemas agrícolas

Los resultados muestran que, en los tres monitoreos realizados, los valores de pH en todos los puntos de muestreo se mantienen dentro del rango normativo, con valores comprendidos aproximadamente entre 7.16 y 7.50, esto indica que el Agua Residual utilizada para el riego presenta una condición ligeramente alcalina y cercana a la neutralidad, característica típica de aguas residuales domésticas. La estabilidad observada entre monitoreos consecutivos sugiere además la ausencia de aportes puntuales de contaminantes ácidos o alcalinos que puedan alterar significativamente el equilibrio químico del agua.

Al analizar la variación espacial, se observa que los valores de pH del canal principal y de las parcelas agrícolas no presentan diferencias significativas, lo que indica una homogeneidad química del agua a lo largo del sistema de distribución, esto puede deberse a que no existe algún tipo de agente externo que pueda variar este parámetro durante el recorrido del agua. Este comportamiento es relevante desde el punto de vista agronómico, ya que, la disponibilidad es aprovechada por las raíces y está estrechamente ligado al pH de los suelos lo que permite un adecuado ambiente para el mejor desarrollo (Quispe, 2019), además un pH cercano a la neutralidad favorece la disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, y además que reduce el riesgo de solubilización excesiva de metales potencialmente tóxicos en el suelo agrícola.

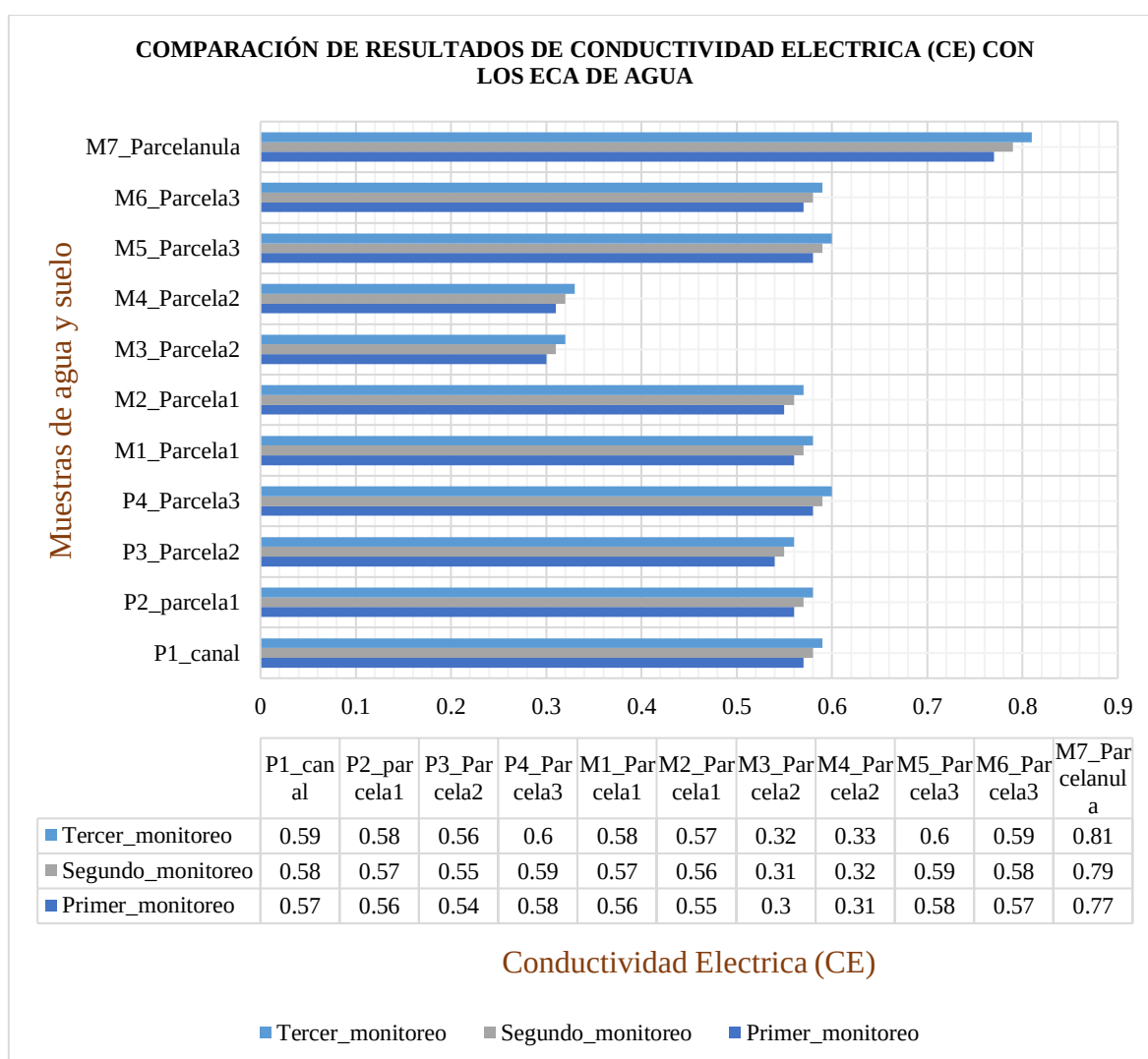
En caso de los valores obtenidos del suelo, estos oscilan aproximadamente entre 6.78 y 8.07, evidenciando una condición que varía desde ligeramente ácida a ligeramente alcalina según la clasificación establecida de los rangos de pH. Esta variabilidad es moderada y coherente

con suelos agrícolas sometidos a prácticas de riego y manejo continuo, donde influyen factores como la calidad del agua de riego, la mineralogía del suelo y el uso de fertilizantes.

De acuerdo con el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, que aprueba Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo | SINIA, (2017), no se establece un valor numérico específico de pH como criterio obligatorio de cumplimiento. Sin embargo, el propio marco normativo señala que la evaluación de la calidad del suelo debe complementarse con criterios técnicos agronómicos, especialmente cuando se trata de suelos de uso agrícola

Figura 17

Comparación de la Conductividad Eléctrica en los tres monitoreos de agua con los ECA de agua

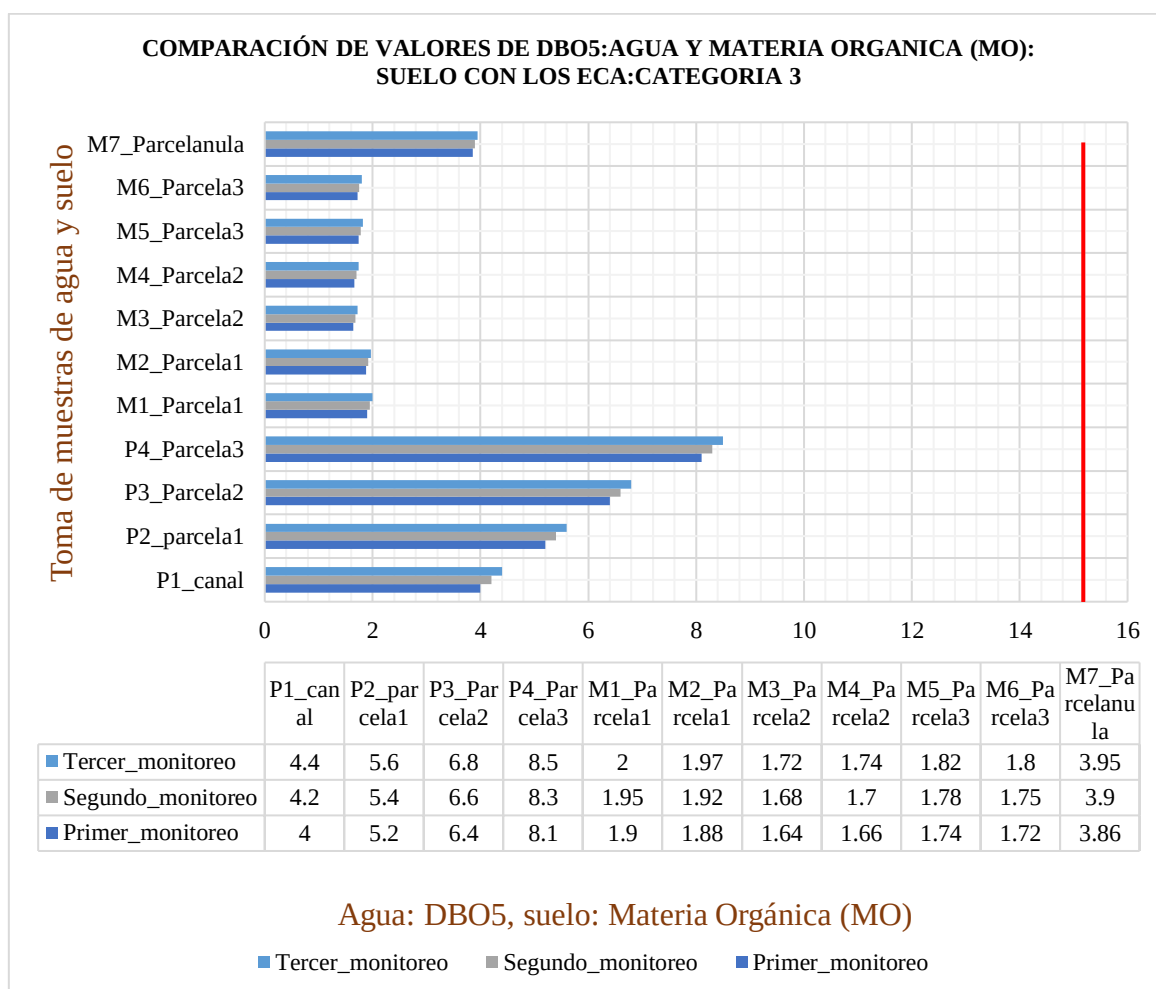


Nota. Comparación de todos los valores de Conductividad Eléctrica durante los meses octubre, noviembre y diciembre en los tres monitoreos de agua y suelo, debido a que el valor límite de conductividad eléctrica estipulada en el D.S. N° 004-2017-MINAM (ECA Agua, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, se encuentra en un rango de 2500-5000 no se realizó el marcado de la franja.

La conductividad eléctrica (CE) refleja la cantidad de sales solubles en el suelo y se usa comúnmente como un indicador indirecto de salinidad y de disponibilidad de iones esenciales para las plantas (Ahmad et al., 2025). En la figura 6 se observa la comparativa de los valores de CE en los diferentes puntos de muestreo presentan variaciones mínimas con tendencia a ser ligeramente mayores en los puntos asociados a la parcela nula.

Figura 18

Comparación de los resultados de DBO₅ agua y Materia Orgánica suelo con los ECA de agua



Nota. Comparación de todos los valores obtenidos con el D.S. N° 004-2017-MINAM (ECA Agua, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de DBO_5 en caso de agua y Materia Orgánica (MO) de suelo, durante los 3 monitoreos respectivos, éste último debido a que no está estipulado un valor exacto de límite no posee la franja roja y solo se plasmó el límite de DBO_5 consistente en 15 mg/L O_2 .

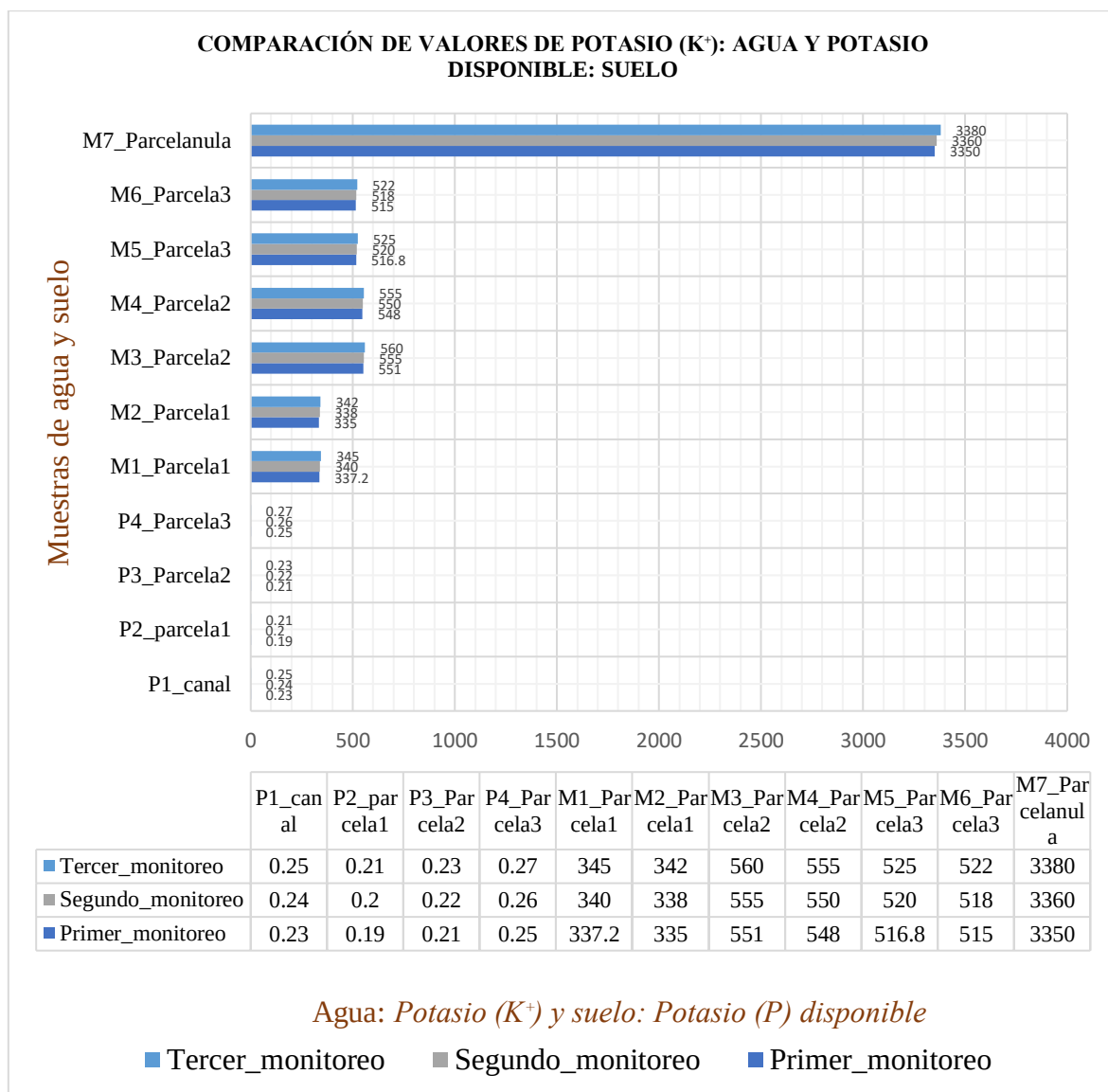
La figura 18 muestra la comparación de los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO_5) en muestras de agua y del contenido de materia orgánica (MO) en suelos, evaluados en distintos puntos de muestreo y en tres monitoreos contrastados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) – Categoría 3.

En el caso de las muestras de agua, los valores de DBO_5 presentan una variabilidad espacial evidente entre los puntos de muestreo. El punto P1_canal registra valores relativamente bajos de DBO_5 , lo que indica una carga orgánica moderada y una adecuada disponibilidad de oxígeno disuelto para los procesos biológicos. En contraste, los puntos P3_Parcela2 y P4_Parcela3 evidencian los valores más elevados, lo cual sugiere una mayor presencia de materia orgánica biodegradable, posiblemente asociada al arrastre de residuos orgánicos, fertilizantes o efluentes de origen doméstico o agrícola hacia los cuerpos de agua utilizados para riego.

Respecto al contenido de materia orgánica del suelo (MO), los resultados muestran valores relativamente homogéneos y bajos a moderados, principalmente en las parcelas M1 a M6, con concentraciones cercanas a 1.6 - 2.0 %, lo cual es característico de suelos agrícolas sometidos a laboreo continuo. No obstante, la parcela nula (M7) presenta valores más elevados de MO, cercanos a 3.9 - 4.0 %, lo que evidencia una menor intervención antrópica y una mayor acumulación natural de residuos orgánicos, favoreciendo la estabilidad estructural del suelo y la retención de nutrientes.

Figura 19

Comparación de los resultados Potasio (K^+) agua y Potasio (K) suelo



Nota. Comparación de todos los valores obtenidos de Potasio (K^+) y suelo: Potasio (K) disponible durante los meses octubre, noviembre y diciembre en los tres monitoreos de agua y suelo

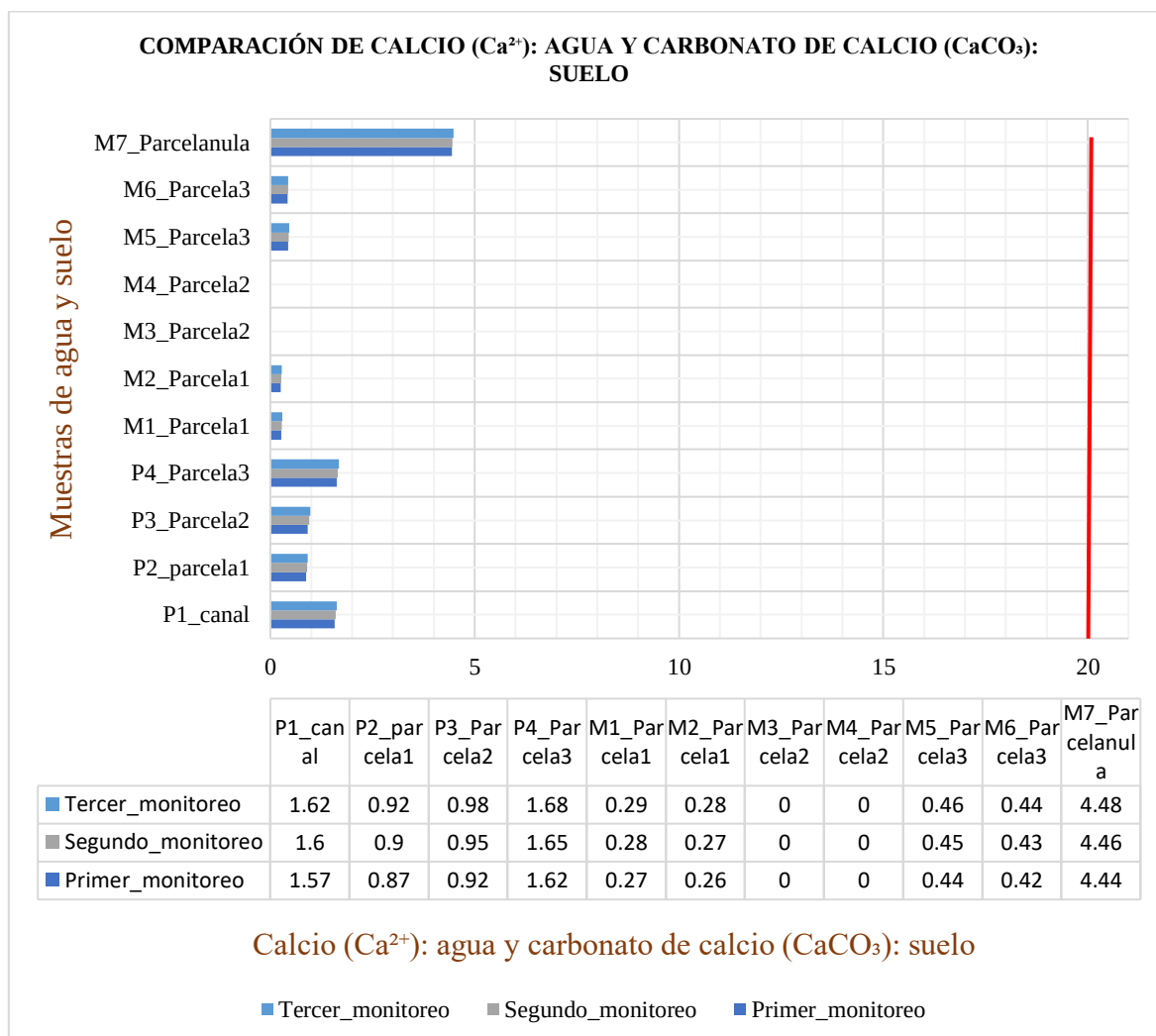
La figura 19 presenta la comparación de los valores de potasio (K^+) y los contenidos de potasio disponible en el suelo, evaluados en distintos puntos de muestreo y durante tres campañas de monitoreo. En las muestras de agua, los valores de la suma de aniones se mantienen relativamente homogéneos en los puntos P1_canal, P2_parcela1, P3_parcela2 y

P4_parcela3, con rangos aproximados entre 0.20 y 0.28 meq/L, mostrando variaciones mínimas entre los tres monitoreos.

Por otro lado, en las muestras de suelo, los valores de potasio disponible (K) presentan diferencias significativas entre parcelas. Las parcelas M1 a M6 muestran concentraciones que oscilan aproximadamente entre 337 y 560 ppm, valores considerados de nivel medio a alto para suelos agrícolas, lo que indica una adecuada disponibilidad de este nutriente esencial para el desarrollo vegetal. En contraste, la parcela nula (M7) registra valores considerablemente más elevados, cercanos a 3350–3380 ppm.

Figura 20

Comparación de los resultados Calcio (Ca^{2+}): agua y carbonato de calcio (CaCO_3): suelo



Nota. Comparación de todos los valores obtenidos de Calcio (Ca^{2+}): agua y carbonato de calcio (CaCO_3) en suelo durante los meses octubre, noviembre y diciembre en los tres

monitoreos realizados, se realiza la evaluación del límite según la recomendación de la FAO establecida en “Water Quality for Agriculture” y D.S. N° 004-2017-MINAM (ECA Agua, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

La figura 20 muestra la variación entre las concentraciones de calcio (Ca^{2+}) en agua de riego y de carbonato de calcio (CaCO_3) en suelo correspondientes a distintos puntos de muestreo, evaluados durante tres monitoreos. En términos generales, los resultados evidencian una baja variabilidad temporal, indicando una estabilidad química del calcio tanto en el agua como en el suelo a lo largo del periodo de estudio.

En el caso del calcio en el agua de riego, los valores registrados en todos los puntos de muestreo se mantienen en rangos bajos a moderados, sin aproximarse al valor de referencia señalado por la línea vertical ($\approx 20 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$), correspondiente a los criterios técnicos de la FAO para aguas de riego. Respecto al carbonato de calcio (CaCO_3) en el suelo, la mayoría de las parcelas presentan contenidos bajos o no detectables, lo que indica que los suelos evaluados no son fuertemente calcáreos. Sin embargo, destaca el punto M7_parcelanula, donde se observa un valor significativamente mayor de CaCO_3 en comparación con el resto de parcelas.

4.1.4. Determinación del impacto del uso de aguas residuales en suelos agrícolas en la comunidad de Santa Rosa de Huaysuy, Huanta

Tabla 25

Cálculo de la variación porcentual y clasificación del impacto en los suelos irrigados con aguas residuales

Parámetro	Unidad	Monitoreo 1 (M1–M6)	Monitoreo 3 (M1–M6)	Variación porcentual (%)	Clasificación
pH	unidad pH	7.222	7.262	0.55	Impacto bajo
Conductividad eléctrica	dS/m	0.478	0.498	4.18	Impacto bajo
Materia orgánica	%	1.757	1.842	4.84	Impacto bajo

Potasio disponible	ppm	467.167	474.833	1.64	Impacto bajo
Carbonato de calcio	%	0.348	0.368	5.76	Impacto moderado

Nota. Elaborado a partir de los resultados promedio de las parcelas irrigadas con aguas residuales (M1–M6). La variación porcentual fue calculada comparando el monitoreo 3 respecto al monitoreo 1, considerado como línea base ambiental diagnóstica, mediante la fórmula ya descrita en la metodología.

A partir de la Tabla 25, se observa que el pH pasó de un promedio de 7.222 en el monitoreo 1 a 7.262 en el monitoreo 3, con una variación porcentual de 0.55 %, clasificada como impacto bajo. Este resultado confirma la estabilidad de la reacción química del suelo y permite señalar que, durante el periodo evaluado, no se evidenció una alteración importante del pH en los suelos irrigados con aguas residuales.

La conductividad eléctrica aumentó de 0.478 dS/m a 0.498 dS/m, equivalente a una variación porcentual de 4.18 %, clasificada como impacto bajo. Aunque este incremento puede reflejar una ligera tendencia a la acumulación de sales solubles, su magnitud se mantiene por debajo del umbral operativo de impacto moderado. Por tanto, no se identifica una condición crítica de salinidad en el corto plazo, aunque el parámetro debe mantenerse bajo seguimiento por su sensibilidad frente al uso continuo de aguas residuales.

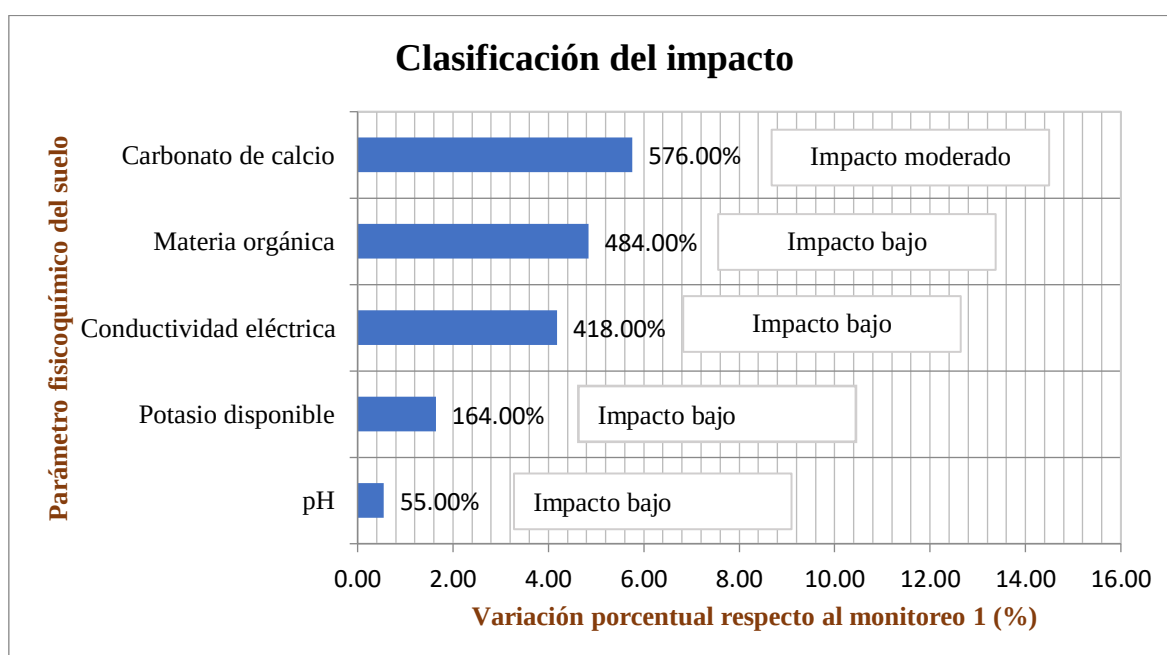
La materia orgánica incrementó de 1.757 % a 1.842 %, con una variación de 4.84 %, también clasificada como impacto bajo. Esta variación puede interpretarse como un enriquecimiento orgánico leve del suelo, posiblemente relacionado con el aporte de carga orgánica del agua residual, aunque también condicionado por el manejo agrícola, restos vegetales, fertilización o características propias de cada parcela. En consecuencia, el resultado describe una modificación favorable de baja magnitud, sin evidencia de alteración crítica.

El potasio disponible pasó de 467.167 ppm a 474.833 ppm, lo que representa una variación de 1.64 % y una clasificación de impacto bajo. Este comportamiento evidencia un incremento reducido del nutriente durante el periodo evaluado, sin acumulación marcada en las parcelas irrigadas. En este caso, el resultado es coherente con la estabilidad observada en el agua y con la necesidad de interpretar el potasio del suelo considerando el contexto edáfico y el historial de manejo.

El carbonato de calcio aumentó de 0.348 % a 0.368 %, con una variación porcentual de 5.76 %, por lo que se clasificó como impacto moderado. Esta clasificación no implica deterioro crítico del suelo, sino una variación progresiva que requiere seguimiento. Su importancia radica en que el CaCO_3 se relaciona con la condición calcárea del suelo, la estabilidad del pH y la disponibilidad de ciertos micronutrientes, especialmente en suelos con tendencia a la alcalinidad.

Figura 21

Clasificación del impacto según variación porcentual del suelo irrigado



Nota. Elaborado con Microsoft Excel a partir de los resultados procesados en IBM SPSS Statistics. La variación porcentual fue calculada comparando el promedio de las parcelas irrigadas con aguas residuales (M1–M6) en el monitoreo 3 respecto al monitoreo 1, considerado como línea base ambiental diagnóstica.

La Figura 21 permite visualizar la clasificación del impacto según la variación porcentual de los parámetros del suelo irrigado. En términos generales, el impacto del uso de aguas residuales fue moderado según a la guía del SEIA, especificado que cuatro de los cinco parámetros evaluados presentaron variaciones menores al 5 %. El pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica y el potasio disponible se ubicaron dentro del nivel de impacto

bajo, lo que evidencia cambios leves y sin alteración crítica evidente de la calidad fisicoquímica del suelo durante el periodo de monitoreo.

El único parámetro que alcanzó la categoría de impacto moderado fue el carbonato de calcio, con una variación de 5.76 %. Este resultado no representa un deterioro crítico, pero sí una tendencia que requiere seguimiento, debido a su relación con la condición calcárea del suelo, el mantenimiento de pH altos y la posible reducción de disponibilidad de micronutrientes en el tiempo. Por ello, el componente carbonatado del suelo debe ser considerado dentro de los parámetros prioritarios para futuros monitoreos.

4.1.5. Estadística descriptiva de los parámetros y prueba de normalidad

Para describir el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos que fueron evaluados, se calcularon estadísticos descriptivos como media, desviación estándar, mínimo y máximo para cada monitoreo.

Tabla 26

Estadístico descriptivo de los parámetros evaluados

	Tipo de muestra		Estadístico	Desv. Error
	Media		7.3592	0.03773
Potencial de hidrógeno	Agua	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 7.2761	
			Límite superior 7.4422	
		Media recortada al 5%	7.3624	
		Mediana	7.3850	
		Varianza	0.017	
		Desv. Desviación	0.13069	
		Mínimo	7.16	
		Máximo	7.50	
		Rango	0.34	
		Rango intercuartil	0.25	
		Asimetría	-0.402	0.637
		Curtosis	-1.606	1.232
		Media	7.3562	0.09035
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 7.1677	
Suelo			Límite superior 7.5447	
		Media recortada al 5%	7.3485	
		Mediana	7.3800	
		Varianza	0.171	

Conductividad eléctrica (dS/m)	Agua	Desv. Desviación		0.41405	
		Mínimo		6.78	
		Máximo		8.07	
		Rango		1.29	
		Rango intercuartil		0.72	
		Asimetría		0.052	0.501
		Curtosis		-0.666	0.972
		Media		0.57250	0.005094
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0.56129	
			Límite superior	0.58371	
		Media recortada al 5%		0.57278	
		Mediana		0.57500	
		Varianza		0.000	
		Suelo	Desv. Desviación		0.017645
	Mínimo		0.540		
	Máximo		0.600		
	Rango		0.060		
	Rango intercuartil		0.027		
	Asimetría		-0.335	0.637	
	Curtosis		-0.474	1.232	
	Media		0.53143	0.034780	
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	0.45888	
			Límite superior	0.60398	
	Media recortada al 5%		0.52884		
	Mediana		0.57000		
	Varianza		0.025		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) - Materia Orgánica (MO)	Agua		Desv. Desviación		0.159383
		Mínimo		0.300	
		Máximo		0.810	
		Rango		0.510	
		Rango intercuartil		0.265	
		Asimetría		-0.101	0.501
		Curtosis		-0.670	0.972
		Media		6.12500	0.459599
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	5.11343	
			Límite superior	7.13657	
		Media recortada al 5%		6.11111	
		Mediana		6.00000	
		Varianza		2.535	
		Desv. Desviación		1.592097	

Calcio	Suelo	Mínimo	4.000	
		Máximo	8.500	
		Rango	4.500	
		Rango intercuartil	3.175	
		Asimetría	0.234	0.637
		Curtosis	-1.244	1.232
		Media	2.09905	0.166284
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 1.75218	
			Límite superior 2.44591	
		Media recortada al 5%	2.02180	
		Mediana	1.80000	
		Varianza	0.581	
		Desv. Desviación	0.762010	
	Agua	Mínimo	1.640	
		Máximo	3.950	
		Rango	2.310	
		Rango intercuartil	0.240	
		Asimetría	2.119	0.501
		Curtosis	2.928	0.972
		Media	8.1500	3.40158
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 0.6632	
			Límite superior 15.6368	
		Media recortada al 5%	7.5450	
		Mediana	0.2450	
		Varianza	138.849	
		Desv. Desviación	11.78342	
	Suelo	Mínimo	0.19	
		Máximo	27.00	
		Rango	26.81	
		Rango intercuartil	22.29	
		Asimetría	0.860	0.637
		Curtosis	-1.464	1.232
		Media	883.9524	227.17022
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 410.0836	
			Límite superior 1357.8211	
		Media recortada al 5%	775.8275	
		Mediana	522.0000	
		Varianza	1083732.452	
		Desv. Desviación	1041.02471	
		Mínimo	335.00	

Potasio	Agua	Máximo	3380.00	
		Rango	3045.00	
		Rango intercuartil	211.50	
		Asimetría	2.168	0.501
		Curtosis	3.053	0.972
		Media	1.2733	0.10605
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1.0399
			Límite superior	1.5068
		Media recortada al 5%	1.2731	
		Mediana	1.2750	
		Varianza	0.135	
		Desv. Desviación	0.36738	
		Mínimo	0.87	
		Máximo	1.68	
	Suelo	Rango	0.81	
		Rango intercuartil	0.70	
		Asimetría	0.000	0.637
		Curtosis	-2.382	1.232
		Media	0.8414	0.33247
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0.1479
			Límite superior	1.5349
		Media recortada al 5%	0.6861	
		Mediana	0.2800	
		Varianza	2.321	
		Desv. Desviación	1.52356	
		Mínimo	0.00	
		Máximo	4.48	
		Rango	4.48	
		Rango intercuartil	0.45	
		Asimetría	2.142	0.501
		Curtosis	2.987	0.972

Nota. Resultados obtenidos de estadísticos descriptivos con el programa Statistical Package for Social Sciences (SPSS)

El pH presentó valores estables entre monitoreos. En el monitoreo 1 se obtuvo una media de $7,346 \pm 0,357$, con valores entre 6,78 y 8,07. En el monitoreo 2, la media fue $7,357 \pm 0,347$, y en el monitoreo 3 se registró $7,368 \pm 0,337$. En conjunto, los resultados muestran un comportamiento ligeramente alcalino en promedio, lo que sugiere que el pH se mantuvo prácticamente constante a lo largo de todo el periodo de monitoreo.

La conductividad eléctrica mostró una ligera tendencia al incremento en el tiempo. En el monitoreo 1 se registró $0,535 \pm 0,130$ dS/m, en el monitoreo 2 $0,546 \pm 0,132$ dS/m y en el monitoreo 3 $0,557 \pm 0,134$ dS/m. La dispersión se mantuvo similar entre monitoreos ($DE \approx 0,13$), indicando variabilidad comparable en los tres periodos, con incrementos leves en el valor medio.

La DBO₅ del agua registró una media de $6,125 \pm 1,592$ mg/L, con valores entre 4,00 y 8,50 mg/L, mostrando variabilidad moderada dentro del conjunto analizado. Por su parte, la materia orgánica del suelo presentó una media de $2,090 \pm 0,762$, con valores entre 1,64 y 3,95, lo que indica una dispersión moderada.

El calcio en agua mostró una media de $8,150 \pm 11,783$, con un rango extremadamente amplio, lo cual evidencia una dispersión muy alta y probable presencia de valores externos. En el suelo, el CaCO_3 presentó una media de $0,841 \pm 1,524$, con valores entre 0,00 y 4,48, lo que sugiere que la mayoría de muestras presentan contenidos bajos, pero con presencia de puntos con valores marcadamente mayores, coherente con un comportamiento heterogéneo del componente carbonatado.

El potasio en agua registró una media de $1,273 \pm 0,367$, con valores entre 0,87 y 1,68, evidenciando variabilidad moderada. En el suelo, el potasio disponible mostró una media de $883,952 \pm 1041,025$, con un rango de 335,00 a 3380,00, evidenciando una dispersión muy alta.

Tabla 27

Prueba de normalidad de los parámetros fisicoquímicos del agua y suelo según tipo de muestra

Pruebas de normalidad							
Parametro	Tipo de muestra	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Potencial de hidrógeno	Agua	,256	12	,028	,854	12	,041
	Suelo	,306	15	,001	,749	15	,001
	Agua	,165	12	,200*	,968	12	,893

Conductividad eléctrica (dS/m)	Suelo	,379	15	,000	,651	15	,000
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) - Materia Organica (MO)	Agua	,143	12	,200*	,927	12	,350
	Suelo	,421	15	,000	,596	15	,000
Calcio	Agua	,415	12	,000	,653	12	,000
	Suelo	,457	15	,000	,555	15	,000
Potasio	Agua	,290	12	,006	,737	12	,002
	Suelo	,464	15	,000	,539	15	,000

Nota. Elaborado con IBM SPSS Statistics. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk debido al tamaño reducido de los grupos evaluados por tipo de muestra. Se consideró distribución normal cuando el valor de significancia fue mayor a 0.05 y distribución no normal cuando fue menor o igual a 0.05. Los resultados evidencian que la mayoría de variables no presentaron distribución normal, por lo que se justificó el uso del coeficiente Rho de Spearman para el análisis de asociación entre los parámetros fisicoquímicos del agua de riego y del suelo agrícola.

Los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk evidencian que no todos los parámetros fisicoquímicos evaluados presentaron distribución normal. En el caso del agua, la conductividad eléctrica y la DBO₅ presentaron valores de significancia mayores a 0.05; sin embargo, el pH, calcio y potasio no cumplieron el supuesto de normalidad. En el caso del suelo, todos los parámetros evaluados presentaron valores de significancia menores o iguales a 0.05, por lo que no se verificó normalidad. Debido a ello, se consideró pertinente aplicar el coeficiente Rho de Spearman como prueba no paramétrica para analizar las asociaciones entre los parámetros fisicoquímicos del agua y del suelo.

Tabla 28*Correlación de Rho de Spearman (Ro)*

		Potencial de hidrógeno	Conductividad eléctrica (dS/m)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) - Materia Orgánica (MO)	Calcio	Potasio
Rho de Spearman	Potencial de hidrógeno	Coefficiente de correlación	1.000	,756**	0.267	0.137
		Sig. (bilateral)		0.000	0.133	0.446
		N	33	33	33	27
	Conductividad eléctrica (dS/m)	Coefficiente de correlación	,756**	1.000	,417*	0.064
		Sig. (bilateral)	0.000		0.016	0.724
		N	33	33	33	27
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) - Materia Orgánica (MO)	Coefficiente de correlación	0.267	,417*	1.000	-,704**
		Sig. (bilateral)	0.133	0.016		0.000
		N	33	33	33	27
	Calcio	Coefficiente de correlación	0.137	0.064	-,704**	1.000
		Sig. (bilateral)	0.446	0.724		0.000
		N	33	33	33	27
	Potasio	Coefficiente de correlación	0.258	,564**	,649**	-0.080
		Sig. (bilateral)	0.195	0.002	0.000	0.690
		N	27	27	27	27

Nota. Rho de Spearman obtenido del programa Statistical Package for Social Sciences (SPSS)

Se interpreta como una prueba de hipótesis:

H_0 : no existe asociación monotónica entre las variables ($\rho = 0$).

H_1 : sí existe asociación monotónica ($\rho \neq 0$).

Criterio: si Sig. (bilateral) $< 0,05$, se rechaza H_0 (asociación significativa). Spearman es adecuado cuando no se cumple normalidad y/o los datos son ordinales o con asimetría (*Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*, 2025).

En la Tabla 25 se presentan los resultados de la correlación de Spearman (ρ) entre el potencial de hidrógeno (pH), la conductividad eléctrica (CE), la variable DBO₅/Materia orgánica (MO), calcio y potasio. Este análisis permite evaluar asociaciones monotónicas entre variables bajo el contraste de hipótesis: H_0 : $\rho = 0$ (no existe correlación) frente a H_1 : $\rho \neq 0$ (existe correlación). Se consideró evidencia estadística de relación cuando $p < 0,05$.

Los resultados evidenciaron una correlación positiva fuerte y significativa entre pH y CE ($\rho = 0,756$; $p = 0,000$; $N = 33$), indicando que, conforme aumentan los valores de pH, tienden a incrementarse los valores de conductividad eléctrica. Asimismo, se encontró una correlación positiva moderada y significativa entre CE y DBO₅/MO ($\rho = 0,417$; $p = 0,016$; $N = 33$), lo que sugiere una asociación directa entre el incremento de la CE y el aumento de los valores de DBO₅/MO en el conjunto de datos evaluado. De igual manera, la CE presentó una correlación positiva moderada-fuerte y significativa con el potasio ($\rho = 0,564$; $p = 0,002$; $N = 27$), resultado consistente con el carácter iónico del potasio y su contribución al aumento de la conductividad del medio.

En cuanto a las asociaciones de mayor magnitud, la variable DBO₅/MO mostró una correlación negativa fuerte y significativa con calcio ($\rho = -0,704$; $p = 0,000$; $N = 33$), indicando un comportamiento inverso entre ambos parámetros: al aumentar DBO₅/MO, el calcio tiende a disminuir. Por otro lado, se identificó una correlación positiva fuerte y significativa entre DBO₅/MO y potasio ($\rho = 0,649$; $p = 0,000$; $N = 27$), sugiriendo que valores más altos de DBO₅/MO se asocian con mayores concentraciones de potasio.

En contraste, no se encontraron correlaciones estadísticamente significativas entre pH y DBO₅/MO ($\rho = 0,267$; $p = 0,133$), pH y calcio ($\rho = 0,137$; $p = 0,446$), pH y potasio ($\rho = 0,258$; $p = 0,195$), CE y calcio ($\rho = 0,064$; $p = 0,724$) ni entre calcio y potasio ($\rho = -0,080$; $p = 0,690$). Por tanto, en estos casos no se rechaza H_0 , concluyéndose que no existe evidencia estadística suficiente para afirmar una asociación monotónica bajo el nivel de significancia adoptado ($\alpha = 0,05$); esto no significa que no exista relación, sino que con los datos

disponibles no se detecta una asociación estadísticamente significativa (Camacho-Sandoval, 2008).

4.2. Análisis

El pH del agua se mantuvo alrededor de neutral a ligeramente alcalino y con baja variación temporal, lo cual es positivo porque indica estabilidad del efluente y menor probabilidad de cambios bruscos en la química del suelo por riego continuo. Asimismo, se mantuvo dentro del rango ECA Cat. 3 y de las guías del USDA-NRCS, donde se indica que para la mayoría de cultivos un pH entre 6.5 y 8.5 es óptimo; por encima de este rango aumenta el riesgo de limitaciones por micronutrientes (Soil pH Explained, 2014). En los tres monitoreos se obtuvieron valores aproximados entre 7.16 y 7.50 en P1–P4, lo cual es consistente con aguas residuales domésticas sin evidencias de aportes extremos ácidos o alcalinos durante el periodo evaluado. En suelo, los valores muestran un contraste útil al incorporar la parcela nula M7. En el primer monitoreo se registró pH de 7.37–7.53 en M1–M6, mientras que M7 alcanzó 8.07, es decir, el valor más alto del conjunto. Esto es relevante porque evidencia un comportamiento diferenciado respecto a las parcelas intervenidas, las cuales se delimitan como puntos que constantemente fueron irrigados por AR; en términos agronómicos, pH cercanos o superiores a ~8 pueden reducir la disponibilidad de micronutrientes, como Fe, Zn y Mn, aun cuando macronutrientes como Ca y Mg sean abundantes (*Zinc and Iron Deficiencies*, 2025).

Respecto a la CE, se observan variaciones mínimas entre monitoreos y una tendencia a ser ligeramente mayor en el punto asociado a la parcela nula. El primer monitoreo muestra CE entre 0.30–0.58 dS/m para M1–M6 y 0.77 dS/m para M7. Los valores bajos de CE suelen indicar bajo riesgo de estrés salino; sin embargo, cuando este parámetro aumenta de forma sostenida, reduce el potencial osmótico del agua del suelo y puede limitar la absorción hídrica, afectando germinación, crecimiento y rendimiento (Muñoz-Rojas, 2018). El hecho de que M7 presente valores mayores sin haber recibido el mismo régimen de riego y uso agrícola sugiere que parte de la señal de CE responde a condiciones edáficas de base, como material parental, sales naturales, carbonatos u otros componentes propios del suelo, más que a un incremento atribuible únicamente al agua residual en el periodo de monitoreo.

Desde el punto de vista bioquímico-edáfico, el ligero incremento de la CE puede relacionarse con la presencia de iones disueltos en el sistema agua–suelo; sin embargo, en un suelo con características calcáreas, el aumento de la concentración iónica no necesariamente conduce a cambios bruscos del pH. Por el contrario, la presencia de carbonatos y bicarbonatos puede ejercer una función amortiguadora, neutralizando variaciones ácidas y manteniendo el pH en condiciones de neutralidad o ligera alcalinidad. En este contexto, la relación entre CE y pH debe interpretarse como una interacción entre la carga iónica del agua de riego, la solución del suelo y la capacidad tampón del sistema carbonatado. Por ello, aunque la correlación entre pH y CE pueda ser positiva, no debe interpretarse como evidencia directa de impacto causal del riego con aguas residuales, sino como una asociación estadística compatible con la dinámica química de un suelo con presencia de carbonatos.

Este resultado contrasta con investigaciones donde el riego prolongado con aguas residuales ha mostrado incrementos más evidentes en la salinidad o en la acumulación de nutrientes. En el presente estudio, las variaciones de CE fueron leves y no mostraron incrementos progresivos críticos durante los tres monitoreos, lo cual permite sostener que, en el corto plazo, no se evidenció un proceso de salinización marcado. No obstante, la tendencia observada justifica mantener el seguimiento periódico, debido a que el efecto de las sales puede manifestarse de forma acumulativa cuando el riego con aguas residuales se mantiene por periodos prolongados.

En el agua, los valores de DBO₅ reportados para P1–P4 en el primer monitoreo fueron 4.0, 5.2, 6.4 y 8.1 mg/L O₂, y en la comparación con ECA se indica explícitamente que el límite de referencia usado fue 15 mg/L O₂, por lo que los resultados se ubican por debajo del umbral normativo de categoría 3. Una DBO₅ moderada en efluentes tratados sugiere presencia de materia orgánica biodegradable remanente; en riego, esto puede estimular la actividad microbiana del suelo y los procesos de mineralización, pero también puede asociarse al consumo de oxígeno en microambientes saturados si existieran condiciones de encharcamiento. Por esta razón, desde el manejo agrícola se recomienda seguimiento periódico y control operativo del tratamiento.

En suelo, se evidencia que M1 a M6 mantienen MO $\approx$ 1.6–2.0%, mientras que M7 alcanza $\approx$ 3.9–4.0%. Este resultado requiere una interpretación crítica, debido a que generalmente el riego con aguas residuales puede aportar carga orgánica e incrementar la MO del suelo a largo plazo. Sin embargo, en este estudio ocurre lo contrario: la parcela de referencia M7

presenta mayor contenido de MO que las parcelas irrigadas con AR. Esta diferencia no debe interpretarse como evidencia de que el riego con aguas residuales disminuye la materia orgánica del suelo, sino como un indicio de que el historial agronómico y el manejo de cada parcela tienen un papel determinante.

En ese sentido, el mayor contenido de MO en M7 puede explicarse por su menor intervención antrópica, ausencia de manejo agrícola intensivo, posible descanso prolongado del suelo y acumulación natural de residuos vegetales u hojarasca. Si M7 corresponde a una parcela sin uso agrícola frecuente o con menor remoción del suelo, es razonable que acumule más restos orgánicos en superficie y presente menor extracción de biomasa por cultivos, lo cual favorecería mayores valores de MO en comparación con suelos agrícolas explotados e intensamente irrigados. Esta diferencia es agronómicamente relevante porque mayor MO suele asociarse a mejor estabilidad estructural, mayor capacidad de retención de agua y mayor reserva/reciclaje de nutrientes, lo que puede amortiguar variaciones por riego (Rezapour et al., 2021).

Al comparar parcelas irrigadas con M7, el patrón observado en MO es mayor en este punto, lo cual no sugiere acumulación orgánica inducida por el riego con agua residual en el periodo evaluado; más bien, indica que el manejo agrícola, la remoción del suelo, la extracción por cultivos, la presencia de cobertura vegetal y el historial de uso del suelo son determinantes para la MO. Por ello, se sugiere que la interpretación integre prácticas de manejo y no solo la calidad del agua. Esta explicación también permite evitar una lectura causal simplificada de los resultados, ya que la diferencia de MO entre M1–M6 y M7 no puede atribuirse exclusivamente al riego con AR.

El calcio en agua se mantuvo en rangos bajos a moderados y lejos de una referencia técnica (~ 20 meq/L), por lo que no se esperaría riesgo de incrustaciones ni contribución problemática a salinidad; por el contrario, Ca puede contribuir positivamente a la estructura del suelo al favorecer floculación y contrarrestar efectos de sodio cuando existieran (Astulla Puca, 2019). Respecto al CaCO_3 del suelo, la mayoría de parcelas presentan contenidos bajos o no detectables y M7 presenta un valor significativamente mayor. Esto es coherente con el pH más alto de M7 y refuerza que los suelos calcáreos con CaCO_3 tienden a mantener pH alto. Bajo esas condiciones, disminuye la disponibilidad de Fe, Zn y Mn, aumentando el riesgo de clorosis férrica y otras deficiencias en cultivos susceptibles (Santiago, 2011).

Desde el punto de vista edáfico, el mayor CaCO_3 en M7 ayuda a explicar por qué esta parcela presenta pH más alcalino y una CE relativamente superior. El sistema carbonato-bicarbonato actúa como regulador químico del suelo, manteniendo el pH estable y reduciendo la posibilidad de cambios bruscos. Por ello, la ligera alcalinidad observada no necesariamente responde al riego con aguas residuales, sino a la interacción entre los iones presentes, la mineralogía del suelo y la capacidad amortiguadora del material carbonatado. Esta explicación fortalece la interpretación de la correlación pH-CE, ya que dicha relación puede reflejar una condición natural del suelo calcáreo de la cuenca y no un impacto directo causado por el agua residual.

En el agua, los valores de K^+ se mantuvieron relativamente homogéneos entre 0.19 y 0.28 meq/L en P1-P4 y con variaciones mínimas entre monitoreos, lo que sugiere un aporte iónico relativamente constante en el periodo evaluado. En el suelo, el potasio disponible muestra un contraste marcado: M1-M6 se ubican aproximadamente entre 337 y 560 ppm, mientras que M7 alcanza ~3350-3380 ppm. Los niveles muy altos de K suelen implicar que la probabilidad de respuesta del cultivo a fertilización potásica es baja; sin embargo, el exceso relativo puede contribuir a desbalances catiónicos y debe interpretarse considerando el contexto del cultivo, la textura y la CIC (Mallarino, 2005).

El hecho de que M7 sea un suelo que no ha sido regado con AR y aun así presente valores extremadamente altos de K refuerza que la variabilidad observada puede estar influenciada por mineralogía o condición natural, así como por la ausencia de extracción por cultivos. Esto también es compatible con el rol de la mineralogía y el material parental como controladores del potasio del suelo, ya que una fracción importante del K proviene de minerales portadores y su disponibilidad depende de la meteorización, fijación-liberación y del tipo de arcillas. Por ello, la mineralogía del suelo influye de manera crítica en la distribución de formas de K y su liberación, lo que explica diferencias marcadas entre los puntos de monitoreo (Javan et al., 2025).

En relación con las correlaciones obtenidas mediante Rho de Spearman, estas deben interpretarse únicamente como asociaciones estadísticas entre variables y no como evidencia directa de impacto. La relación positiva entre pH y CE, por ejemplo, puede explicarse por la interacción entre la carga iónica del sistema, la presencia de carbonatos y la capacidad

tampón del suelo, pero no demuestra por sí sola que el riego con aguas residuales haya causado el cambio en el pH. De igual manera, las relaciones entre CE, MO, K y Ca/CaCO₃ deben analizarse considerando el tipo de suelo, el historial de manejo, la frecuencia de riego, la extracción por cultivos y las condiciones naturales de cada parcela.

Al contrastar estos resultados con estudios internacionales, se observa que el comportamiento del suelo frente al riego con aguas residuales puede variar según el tiempo de exposición, el tipo de suelo, el sistema de riego y las condiciones de manejo. El autor Sdiri, et al., (2023) evaluó el efecto del riego con aguas residuales tratadas sobre propiedades fisicoquímicas del suelo y reportaron que este tipo de riego puede mantener la calidad del suelo y favorecer el aporte de nutrientes; sin embargo, también señalaron que la entrada de nutrientes puede promover la actividad microbiana y la mineralización de la materia orgánica, generando incluso disminución de MO en ciertas profundidades del suelo. Este hallazgo es importante para interpretar los resultados del presente estudio, ya que la menor MO observada en M1–M6 frente a M7 no necesariamente contradice el aporte orgánico de las AR, sino que puede explicarse por una mayor mineralización, remoción agrícola, extracción por cultivos y menor acumulación de residuos vegetales en parcelas activamente manejadas. Asimismo, los autores reportaron incrementos de K en capas superficiales bajo ciertos sistemas de riego, lo que coincide parcialmente con la tendencia de enriquecimiento nutricional observada en los suelos agrícolas evaluados, aunque en esta investigación dicho incremento fue bajo y sin evidencia de acumulación crítica.

De manera similar, Zamora et al., (2008), en su estudio sobre el efecto del riego con aguas residuales en suelos de la planicie de Coro, Venezuela, encontraron que la aplicación constante de aguas residuales incrementó significativamente la materia orgánica, fósforo, potasio y magnesio en suelos cultivados con pastos, lo que fue interpretado como una mejora de la fertilidad del suelo. Sin embargo, también advirtieron que el uso prolongado puede generar riesgos por acumulación de metales pesados y otros contaminantes, por lo que recomendaron monitoreo permanente. Al comparar dicho estudio con la presente investigación, se evidencia una diferencia relevante: mientras Zamora et al. encontraron mayor MO en suelos bajo riego permanente con aguas residuales, en Santa Rosa de Huaysuy la parcela de referencia M7 presentó mayor MO que las parcelas irrigadas. Esta diferencia puede atribuirse al historial agronómico de M7, posiblemente asociado a descanso prolongado, menor remoción, ausencia de extracción continua por cultivos y acumulación

natural de hojarasca. Por tanto, el contraste con estos antecedentes permite afirmar que el efecto de las aguas residuales sobre la MO y los nutrientes no es uniforme, sino que depende del manejo, intensidad de uso, tipo de cultivo, textura, mineralogía y tiempo de exposición al riego.

En conjunto, los resultados permiten determinar que el impacto del uso de aguas residuales en los suelos agrícolas evaluados fue bajo en términos de alteración fisicoquímica crítica, con una tendencia de seguimiento en el carbonato de calcio. Esta interpretación responde a que el impacto se define a partir de la magnitud de las variaciones observadas en el sistema suelo durante el periodo evaluado y no como una causalidad experimental directa. Por tanto, los hallazgos sugieren estabilidad general del sistema agua–suelo en el corto plazo, aunque con necesidad de monitoreo continuo para prevenir posibles efectos acumulativos relacionados con sales, carbonatos y nutrientes.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

Los suelos agrícolas evaluados presentaron un comportamiento predominantemente ligeramente alcalino, con conductividad eléctrica baja y contenido de materia orgánica dentro de rangos aceptables para suelos agrícolas bajo riego, mostrando variabilidad espacial entre parcelas. La comparación con la parcela control M7 (suelo que no ha sido irrigado con aguas residuales) evidenció que los valores más altos de pH, CaCO_3 y Potasio Disponible se concentraron en ese punto, lo que sugiere que una parte importante de la variación observada responde a condiciones naturales del suelo (mineralogía/carbonatos) y al historial de uso (ausencia de extracción por cultivos), más que a un efecto atribuible únicamente al riego con AR en el periodo de estudio. Por tanto, el suelo de las parcelas irrigadas no muestra señales consistentes de degradación química acelerada asociada al uso de AR en el corto plazo, aunque sí requiere vigilancia para prevenir procesos acumulativos.

El análisis comparativo de los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua – Categoría 3 permitió concluir que los parámetros evaluados del agua de riego se ubicaron dentro de rangos de referencia aplicables para riego de vegetales y bebida de animales, lo que respalda la compatibilidad del recurso hídrico con el uso agrícola en la zona.

Asimismo, el análisis integrado agua y suelo indicó que, durante los tres monitoreos, no se evidenciaron cambios que permitan atribuir un impacto negativo marcado del uso de AR sobre la salinidad del suelo o sobre el pH de las parcelas irrigadas. La incorporación de M7 como control fortaleció la interpretación del impacto, mostrando que los valores extremos observados se asocian mejor a la condición natural y al manejo o en este caso ausencia de manejo del suelo que a un efecto directo del riego con AR en el periodo evaluado.

En conclusión, se determinó que el impacto del uso de aguas residuales en los suelos agrícolas de la comunidad de Santa Rosa de Huaysuy fue moderado, durante el periodo evaluado. Esta clasificación se sustentó en el cálculo de la variación porcentual entre el monitoreo 3 y el monitoreo 1, considerado como línea base ambiental diagnóstica, donde cuatro de los cinco parámetros fisicoquímicos analizados presentaron variaciones menores al 5 %. El pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica y el potasio disponible mostraron cambios leves, sin evidenciar alteraciones críticas en la calidad fisicoquímica del suelo. Solo el carbonato de calcio alcanzó una variación moderada de 5.76 %, lo que indica una tendencia que requiere seguimiento, pero sin representar una condición crítica de deterioro. Por tanto, el impacto observado del riego con aguas residuales se expresa principalmente como una modificación gradual del sistema suelo, asociada a ligeros cambios en sales, materia orgánica y componentes carbonatados, sin evidencia de afectación severa en el corto plazo.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Huanta implementar un programa de monitoreo periódico del agua con una frecuencia mínima trimestral y adicionalmente en épocas de lluvia y estiaje, manteniendo los parámetros ya evaluados e incorporando aquellos que fortalecen la seguridad del reúso agrícola: Sólidos suspendidos totales (SST), turbidez, coliformes termotolerantes, E. coli, huevos de helmintos, además de nutrientes y, cuando corresponda, metales traza. Asimismo, se sugiere estandarizar el muestreo en un mismo horario y condiciones hidráulicas del canal para mejorar comparabilidad entre campañas y reducir sesgo por variaciones de caudal.

Además, se recomienda que la Municipalidad Provincial de Huanta directamente con el área de Gestión ambiental realice el seguimiento de pH, CE, MO, CaCO_3 y K disponible en las

parcelas irrigadas, pero incorporando parámetros que permitan una evaluación más completa del estado del suelo frente al riego con AR: capacidad de intercambio catiónico (CIC), sodio intercambiable (ESP), relación de adsorción y estabilidad de agregados. Asimismo, se sugiere mantener la parcela control (M7) y, de ser posible, establecer una segunda parcela control con condiciones edáficas similares para reforzar la comparación. Para disminuir el riesgo de acumulación de sales a largo plazo, se recomienda promover prácticas de manejo como mejoras de drenaje, riegos de lavado cuando sea técnicamente viable y manejo de cobertura vegetal/abonos orgánicos para conservar estructura y mejorar infiltración.

Se recomienda a la población mantener el uso del agua residual (AR) para riego en la comunidad, debido a que los parámetros evaluados se ubicaron dentro de los rangos del ECA Agua – Categoría 3, lo que evidencia compatibilidad con el uso agrícola en el periodo estudiado; sin embargo, para asegurar que esta condición se mantenga en el tiempo, se debe implementar un plan de vigilancia y comunicación comunitaria basado en la comparación continua entre parcelas irrigadas. En ese sentido, se sugiere realizar monitoreos trimestrales del agua (pH, conductividad y DBO₅ como mínimo) y monitoreos semestrales o anuales del suelo (pH, conductividad y materia orgánica), registrando los resultados en fichas simples, observando si existe alguna tendencia creciente que pudiera anticipar procesos acumulativos.

CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.5: *Química del Suelo*. (2022a, octubre 30). LibreTexts Español. https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Geociencias/Ciencia_del_Suelo/Excavando_en_suelos_canadienses%3A_una_introducci%C3%B3n_a_la_ciencia_del_suelo/01%3A_Excavando/1.05%3A_Qu%C3%ADmica_del_Suelo
- 1.5: *Química del Suelo*. (2022b, octubre 30). LibreTexts Español. https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Geociencias/Ciencia_del_Suelo/Excavando_en_suelos_canadienses%3A_una_introducci%C3%B3n_a_la_ciencia_del_suelo/01%3A_Excavando/1.05%3A_Qu%C3%ADmica_del_Suelo
- Adedosu, H. O., Adedosu, T. A., Oladoye, P. O., Kadhon, M., Lawal, N. K., & Asoro, F. O. (2025). Water quality and human health risk assessment of phthalate esters: A comparison of treated and raw water from Ogbomosho Waterworks, Nigeria. *Next Sustainability*, 6, 100172. <https://doi.org/10.1016/j.nxsust.2025.100172>
- Aguilar Sánchez, J. de D., Cubas Irigoín, N., Aguilar Sánchez, J. de D., & Cubas Irigoín, N. (2021). Contaminación de suelos por el uso de aguas residuales. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5(14), 132-144. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.104>
- Ahmad, M. N., Anuar, M. I., Aziz, N. A., & Murdi, A. A. (2025). Function and application of Soil Electrical Conductivity (EC) sensor in agriculture: A Review. *Advances in Agricultural and Food Research Journal*, 6(1). <https://doi.org/10.36877/aafrj.a0000552>
- Alfaro-Arrieta, E. (2023). Caracterización de lodos activados procedentes, dos Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ubicadas en Costa Rica. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 24(3), 0-0. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2023.24.3.019>
- Al-Hazmi, H. E., Mohammadi, A., Hejna, A., Majtacz, J., Esmaili, A., Habibzadeh, S., Saeb, M. R., Badawi, M., Lima, E. C., & Mąkinia, J. (2023). Wastewater reuse in agriculture: Prospects and challenges. *Environmental Research*, 236(Pt 1), 116711. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116711>
- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias | SINIA*. (s. f.). Recuperado 25 de noviembre de 2025, de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>

- Aprueban Guía para el Muestreo de Suelos y Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos | SINIA. (s. f.). Recuperado 26 de noviembre de 2025, de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-guia-muestreo-suelos-guia-elaboracion-planos-descontaminacion>
- Aquaculture, W. S. G. on H. A. of U. of T. W. for A. and, & Organization, W. H. (1989). *Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura: Informe de un Grupo Científico de la OMS [se reunió en Ginebra del 18 al 23 de noviembre de 1987]*. Organización Mundial de la Salud. <https://iris.who.int/handle/10665/39333>
- Ariyadasa, S., Taylor, W., Weaver, L., McGill, E., Billington, C., & Pattis, I. (2023). Nonbacterial Microflora in Wastewater Treatment Plants: An Underappreciated Potential Source of Pathogens. *Microbiology Spectrum*, 11(3), e0048123. <https://doi.org/10.1128/spectrum.00481-23>
- Ashie, W. B., Awewomom, J., Ettey, E. N. Y. O., Opoku, F., & Akoto, O. (2024). Assessment of irrigation water quality for vegetable farming in peri-urban Kumasi. *Heliyon*, 10(3), e24913. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24913>
- Aslam, A., Naz, A., Shah, S. S. H., Rasheed, F., Naz, R., Kalsom, A., Mukhtar, N., Niaz, A., Aftab, M., Rasheed, I., Haq, M. A. U., Arif, M., Sattar, A., & Hussain, S. (2023). Heavy metals contamination in vegetables irrigated with wastewater: A case study of underdeveloping regions of Pakistan. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(12), 8911-8927. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01662-0>
- Astulla Puca, D. A. (2019). *Efecto de abonos orgánicos en el cultivo de Phaseolus vulgaris L. var. Canario en un suelo ácido—Satipo*.
- Bakari, Z., El Ghadraoui, A., Boujelben, N., Del Bubba, M., & Elleuch, B. (2022). Assessment of the impact of irrigation with treated wastewater at different dilutions on growth, quality parameters and contamination transfer in strawberry fruits and soil: Health risk assessment. *Scientia Horticulturae*, 297, 110942. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.110942>
- Bedbabis, S., Ben Rouina, B., Boukhris, M., & Ferrara, G. (2014). Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. *Journal of Environmental Management*, 133, 45-50. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.007>

- Bendezu Montero, R. del C., & Martínez Maraví, A. (2017). Propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales utilizando filtros percoladores-lodos anaeróbicos ecológicos para el Distrito de Huancayo, Provincia de Huancayo—Junín. *Universidad Peruana Los Andes*. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/242>
- Bengough, A. G., McKenzie, B. M., Hallett, P. D., & Valentine, T. A. (2011). Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany*, 62(1), 59-68. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq350>
- Beretta, A. N., Silbermann, A. V., Paladino, L., Torres, D., Bassahun, D., Musselli, R., & García-Lamohte, A. (2014). Análisis de textura del suelo con hidrómetro: Modificaciones al método de Bouyoucus. *Ciencia e investigación agraria*, 41(2), 263-271. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202014000200013>
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Bulk Density. En *Methods of Soil Analysis* (pp. 363-375). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c13>
- Brañez Condorena, A. M. (2023). Evaluación de la calidad de agua mediante técnicas de análisis multivariantes y el índice ICARHS en el río Cañete (Tramo Yauyos—San Vicente de Cañete). *Universidad Nacional de Ingeniería*. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/26952>
- Calle Escalante, D. H. (2024). *Calidad de agua de precipitación pluvial para el riego agrícola en el anexo de socos – Huac huas, Ayacucho*.
- Camacho-Sandoval, J. (2008). Asociación entre variables: Correlación no paramétrica. *Acta Médica Costarricense*, 50(3), 144-146.
- Cary, L., Jovanovic, Z. et al. (2009). An example of treated waste water use for soil irrigation in the SAFIR project. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/252993735_An_example_of_treated_waste_water_use_for_soil_irrigation_in_the_SAFIR_project
- CHAPTER 3. FURROW IRRIGATION. (s. f.). Recuperado 12 de junio de 2026, de https://www.fao.org/4/s8684e/s8684e04.htm?utm_source
- Chiriboga Arroba, C. A. (2010). *Propuesta de un sistema de monitoreo para la caracterización de las aguas residuales que recepta el río Tahuando* [bachelorThesis, Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/151>

- Correa Ponce, J. C. (2012). *Calidad de suelos en diferentes sistemas de uso en el predio Tulumayo-UNAS-Tingo María*. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/443>
- Costa Rodriguez, C. P. (2021). *Evaluación de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos de la calidad del agua de efluentes del río Chillón durante los meses enero a junio del 2019*. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4126>
- Determining The Bod; Selection Of Sample Volume; Preparation Of The Water Sample—Lovibond BD 600 Instruction Manual [Page 26]*. (s. f.). ManualsLib. Recuperado 16 de diciembre de 2025, de <https://www.manualslib.com/manual/1404702/Lovibond-Bd-600.html>
- Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. (2025, diciembre 7). SAGE Publications Ltd. <https://uk.sagepub.com/en-gb/eur/discovering-statistics-using-ibm-spss-statistics/book285130>
- Durán, L. E. G. (2016a). Evaluación de la calidad de agua de ríos de colombia usando parámetros físicoquímicos y biológicos. *Dinamica ambiental*, (1), 83-102. <https://doi.org/10.18041/2590-6704/ambiental.1.2016.4593>
- Durán, L. E. G. (2016b). Evaluación de la calidad de agua de ríos de colombia usando parámetros físicoquímicos y biológicos. *Dinamica ambiental*, (1), 83-102. <https://doi.org/10.18041/2590-6704/ambiental.1.2016.4593>
- Egusquiza Córdova, M. Á. (2023). Tratamiento de aguas residuales domésticas. *Universidad Nacional de Ingeniería*. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/27788>
- ELAW Guides to Environmental Sampling - ELAW: Environmental Law Alliance Worldwide*. (s. f.). Recuperado 12 de junio de 2026, de <https://elaw.org/es/resource/guide-collecting-environmental-samples-english/>
- Espinoza Tacuri, M. A. (2015). *Caracterización del agua del río Alameda y tipificación según Índice de Calidad del Agua, Ayacucho 2014*.
- Faria, M., Bertocco, T., Barroso, A., Carvalho, M., Fonseca, F., Matos, C. D., Figueiredo, T., Braga, A. S., Valente, T., Jiménez-Ballesta, R., Faria, M., Bertocco, T., Barroso, A., Carvalho, M., Fonseca, F., Matos, C. D., Figueiredo, T., Braga, A. S., Valente, T., & Jiménez-Ballesta, R. (2023). A Comparison of Analytical Methods for the Determination of Soil pH: Case Study on Burned Soils in Northern Portugal. *Fire*, 6(6). <https://doi.org/10.3390/fire6060227>
- Fritz, R. M., Malo, D. D., Schumacher, T. E., Clay, D. E., Carlson, C. G., Ellsbury, M. M., & Dalsted, K. J. (1999). Field Comparison of Two Soil Electrical Conductivity

- Measurement Systems. En P. C. Robert, R. H. Rust, & W. E. Larson (Eds.), *ASA, CSSA, and SSSA Books* (1.^a ed., pp. 1211-1217). Wiley. <https://doi.org/10.2134/1999.precisionagproc4.c24b>
- Gestión del recurso hídrico en la ruralidad, mediante estrategias de fortalecimiento comunitario**. (s. f.). Recuperado 23 de junio de 2025, de <https://www.redalyc.org/journal/2654/265478502011/html/>
- Google Search. (s. f.). FAOHome. Recuperado 23 de junio de 2025, de <https://www.fao.org/home/search/es/?q=Deputy+Director-General+Director+of+Cabinet>
- Guía para Muestreo de Suelos—Informes y publicaciones—Ministerio del Ambiente—Plataforma del Estado Peruano*. (s. f.). Recuperado 13 de diciembre de 2025, de <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2702-guia-para-muestreo-de-suelos>
- Hentati, O., Chaker, S., Wali, A., Ayoub, T., & Ksibi, M. (2014). Effects of long-term irrigation with treated wastewater on soil quality, soil-borne pathogens, and living organisms: Case study of the vicinity of El Hajeb (Tunisia). *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(5), 2671-2683. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3570-z>
- Herrick, J. E., & Jones, T. L. (2002). A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Science Society of America Journal*, 66(4), 1320-1324. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1320>
- Hídricos, A. N. del A. D. de C. y E. de R. (2018). Metodología para la determinación del índice de calidad de agua Ica-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales. *Autoridad Nacional del Agua*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2440>
- Huanacuni Flores, M. B. (2025). Evaluación del efecto de las aguas residuales sobre la calidad del agua del río Ilave – 2025. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/20.500.14891/1643>
- Ibarra Castillo, D., Ruiz Corral, J. A., González Eguarte, D. R., Flores Garnica, J. G., & Díaz Padilla, G. (2009). Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agricultura técnica en México*, 35(3), 267-276.
- Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) | SINIA*. (s. f.). Recuperado 26 de noviembre de 2025, de

- <https://sinia.minam.gob.pe/normas/indice-calidad-ambiental-recursos-hidricos-superficiales-icarhs>
- institutodelaguaes. (2024, enero 15). PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - Todo lo que Necesitas Saber sobre el Proceso de Depuración del Agua. *Instituto del Agua*. <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/ptar-planta-de-tratamiento-de-aguas-residualesaguas-residuales/>
- ISO 10390:2021—Soil, treated biowaste and sludge – Determination of pH. (s. f.). Recuperado 17 de diciembre de 2025, de <https://www.iso.org/standard/75243.html>
- Javan, M., Abtahi, A., Zareian, G., & Haghighatnia, H. (2025). Soil mineralogy and potassium forms distribution and release in some calcareous soils of the Darab Region, Iran. *PLOS ONE*, 20(12), e0334155. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0334155>
- Kadro, O., Ehsaineh, A. Y., & Ibrahim, J. (2024). The Effect of Compaction on the Physical and Hydrodynamic Properties of Soil and on the Growth and Productivity of Soybean Crop. *Asian Journal of Advances in Research*, 7(1), 452-464.
- Khader, A., Abubaker, T., Al-Khatib, I. A., & Hung, Y.-T. (2025). Application of Treated Wastewater for Cultivation of Marigold Roses (*Tagetes erecta*) in a Semi-Arid Climate in Palestine. *Water*, 17(20). <https://doi.org/10.3390/w17202921>
- Khan, M. U., Malik, R. N., & Muhammad, S. (2013). Human health risk from heavy metal via food crops consumption with wastewater irrigation practices in Pakistan. *Chemosphere*, 93(10), 2230-2238. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.07.067>
- Leal-Mendoza, A. I., García-Gallegos, E., Vázquez-Cuecuecha, O. G., & Hernández-Acosta, E. (2023). Análisis multivariado de suelos irrigados con aguas residuales de la acuicultura. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1). <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50028>
- Leon Santa María, J. E. (2021). *Índice de calidad ambiental del suelo en el distrito de Jose Crespo y Castillo – Huánuco*. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1955>
- Leonel, L. P., & Tonetti, A. L. (2021). Wastewater reuse for crop irrigation: Crop yield, soil and human health implications based on giardiasis epidemiology. *Science of The Total Environment*, 775, 145833. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145833>
- Ley de Recursos Hidricos | SINIA. (s. f.). Recuperado 23 de junio de 2025, de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-recursos-hidricos-0>

- Ley General del Ambiente.* | SINIA. (s. f.). Recuperado 24 de junio de 2025, de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-ambiente>
- López, P., & Yovani, C. (2019). *Determinación de la influencia de la descarga del río Mayo en la calidad de agua del río Huallaga, a través de los ICA - PE* [Universidad Nacional de San Martín. Fondo Editorial]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/item/f199d5f6-b1ac-4c0b-b6cf-c9e8e79f5abf>
- Lyu, S., Wu, L., Wen, X., Wang, J., & Chen, W. (2022). Effects of reclaimed wastewater irrigation on soil-crop systems in China: A review. *The Science of the Total Environment*, 813, 152531. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152531>
- Ma, L., Li, Y., Zeng, T., Feng, S., & Abuduwaili, J. (2024). Assessing surface water quality for sustainable irrigation in Tarim Basin: A study in the summer irrigation period. *Applied Water Science*, 14(8), 171. <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02216-0>
- Mallarino, A. P. (2005). Revision of potassium soil test interpretations and fertilizer recommendations. Available online: http://www.agronext.iastate.edu/soilfertility/info/CCA-Indy_2004_Krecs_Pub.pdf (accessed 11 March, 2015).
- Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados: Muestreo de aguas subterráneas* | SINIA. (s. f.). Recuperado 13 de diciembre de 2025, de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/manual-buenas-practicas-investigacion-sitios-contaminados-muestreo-1>
- Manual de métodos de análisis de solo.* - Portal Embrapa. (s. f.). Recuperado 17 de diciembre de 2025, de <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>
- Marin, J. A. G., Vizcaino, C., & Veliz, C. E. (2019). Evaluación de la calidad del agua subterránea utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de Estudio: Acuíferos de Maturín, Estado Monagas, Venezuela. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 3(3), 9-23. <https://doi.org/10.25127/aps.20193.488>
- Mendoza-Retana, S. S., Cervantes-Vázquez, M. G., Valenzuela-García, A. A., Guzmán-Silos, T. L., Orona-Castillo, I., Cervantes-Vázquez, T. J. Á., Mendoza-Retana, S. S., Cervantes-Vázquez, M. G., Valenzuela-García, A. A., Guzmán-Silos, T. L., Orona-Castillo, I., & Cervantes-Vázquez, T. J. Á. (2021a). Uso potencial de las aguas residuales en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(1), 115-126. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2789>

- Mendoza-Retana, S. S., Cervantes-Vázquez, M. G., Valenzuela-Garcia, A. A., Guzmán-Silos, T. L., Orona-Castillo, I., Cervantes-Vázquez, T. J. Á., Mendoza-Retana, S. S., Cervantes-Vázquez, M. G., Valenzuela-Garcia, A. A., Guzmán-Silos, T. L., Orona-Castillo, I., & Cervantes-Vázquez, T. J. Á. (2021b). Uso potencial de las aguas residuales en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(1), 115-126. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2789>
- Meshram, R. V., Kale, M. U., Deshmukh, M. M., & Balsane, V. K. (2024). Groundwater and surface water quality assessment for irrigation purpose. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 8(8S), 525-528. <https://doi.org/10.33545/26174693.2024.v8.i8Sh.1856>
- METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN - San Cristobal Libros SAC. Derechos Reservados. (s. f.). Recuperado 13 de junio de 2026, de https://www.sancristoballibros.com/libro/metodologia-de-la-investigacion_93340
- Mishra, S., Kumar, R., & Kumar, M. (2023). Use of treated sewage or wastewater as an irrigation water for agricultural purposes- Environmental, health, and economic impacts. *Total Environment Research Themes*, 6, 100051. <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100051>
- Mizyed, A. (2025). A strategic framework for reusing partially treated wastewater in agriculture: Viability and sustainability prospects. *Agricultural Water Management*, 317, 109676. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109676>
- Mouliia, V., Ait-Mouheb, N., Lesage, G., Hamelin, J., Wéry, N., Bru-Adan, V., Kechichian, L., & Heran, M. (2023). Short-term effect of reclaimed wastewater quality gradient on soil microbiome during irrigation. *The Science of the Total Environment*, 901, 166028. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166028>
- Muhaidat, R., Al-Qudah, K., Al-Taani, A. A., & AlJammal, S. (2019). Assessment of nitrate and nitrite levels in treated wastewater, soil, and vegetable crops at the upper reach of Zarqa River in Jordan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(3), 153. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7292-8>
- Muñoz-Rojas, M. (2018). Soil quality indicators: Critical tools in ecosystem restoration. *Current Opinion in Environmental Science & Health, Sustainable soil management and land restoration*, 5, 47-52. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.007>
- Natasha, null, Shahid, M., Khalid, S., Murtaza, B., Anwar, H., Shah, A. H., Sardar, A., Shabbir, Z., & Niazi, N. K. (2023). A critical analysis of wastewater use in

- agriculture and associated health risks in Pakistan. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(8), 5599-5618. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00702-3>
- Navas V, M. J., Rey, J. C., & Rodríguez, T. (2003). Superficie de muestreo y número de submuestras para evaluar la fertilidad en suelos cultivados con *brachiaria brizantha* en las mesas orientales de anzoátegui, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 53(3), 295-315.
- NEMI Method Summary—405.1. (s. f.). Recuperado 12 de junio de 2026, de https://www.nemi.gov/methods/method_summary/5326/?utm_source
- Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. (s. f.). Recuperado 25 de noviembre de 2025, de <https://www.fao.org/4/w1309s/w1309s04.htm>
- Obayomi, O., Ghazaryan, L., Ben-Hur, M., Edelstein, M., Vonshak, A., Safi, J., Bernstein, N., & Gillor, O. (2019). The fate of pathogens in treated wastewater-soil-crops continuum and the effect of physical barriers. *The Science of the Total Environment*, 681, 339-349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.378>
- Obijanya, C. C., Yakamercan, E., Karimi, M., Veluru, S., Simko, I., Eshkabilov, S., & Simsek, H. (2025). Agricultural Irrigation Using Treated Wastewater: Challenges and Opportunities. *Water*, 17(14), 2083. <https://doi.org/10.3390/w17142083>
- OECD & FAO. (2022). *Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2022-2031*. OCDE; FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc0308fr>
- Ortega, J. F. S., Sarmiento, D. S., Lara, Á. P., & Díaz-Pérez, M. (2025). Evaluación de los efectos a largo plazo del riego con aguas residuales recuperadas en el cultivo de mango (*Mangifera indica* L.): Calidad del suelo, rendimiento de la fruta y calidad de la fruta. *Agricultural Water Management*, 316, 109604. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109604>
- OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales DS n° 022-2009. (s. f.). Recuperado 25 de noviembre de 2025, de <https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619690-os-090-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-ds-n-022-2009>
- Palomino Simbrón, C. S. (2017). *Calidad microbiológica y fisicoquímica de las aguas de consumo humano y de riego del distrito de Luricocha de la provincia de Huanta – Ayacucho 2016 – 2017*.

- Pilliza Guanotasig, N. P. (2024). “*Determinación del estado de los recursos suelo y agua en zonas productoras comunitarias de leche de Guaytacama y Toacazo del Cantón Latacunga*” [Ecuador : Latacunga : Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)]. <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/12487>
- Ponce Flores, W. S. (2021). Análisis físico químico y microbiológico de la calidad de agua del rio higuera desde la bocatoma San José De Cozo hasta la desembocadura en el rio Huallaga, Huanuco, 2019. *Universidad de Huánuco*. <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/2660>
- Poustie, A., Yang, Y., Verburg, P., Pagilla, K., & Hanigan, D. (2020). Reclaimed wastewater as a viable water source for agricultural irrigation: A review of food crop growth inhibition and promotion in the context of environmental change. *Science of The Total Environment*, 739, 139756. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139756>
- Pozo Huillca, M. R. (2024a). *Calidad del agua para uso agrícola del manantial de waper, Ayacucho*. <https://hdl.handle.net/20.500.14597/6342>
- Pozo Huillca, M. R. (2024b). *Calidad del agua para uso agrícola del manantial de waper, Ayacucho*. <https://hdl.handle.net/20.500.14597/6342>
- Prisma Agropecuario TVU (Director). (2022, noviembre 8). *Determinación de textura del suelo por el método de Bouyoucos* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=Fy2Stj2lc5U>
- Propiedades Químicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. (s. f.). Recuperado 25 de noviembre de 2025, de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- PROTOCOLO NACIONAL PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES | SINIA*. (s. f.). Recuperado 26 de noviembre de 2025, de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales>
- Proyectos de Inversión*. (s. f.). Recuperado 16 de diciembre de 2025, de https://ofi5.mef.gob.pe/proyectos_pte/forms/ListaUnidadEjecutora.aspx?IdUE=1044
- PTAR y PTAP: ¿qué son y cómo benefician a los peruanos?* (s. f.). Recuperado 12 de junio de 2026, de https://www.gob.pe/institucion/vivienda/noticias/1125402-ptar-y-ptap-que-son-y-como-benefician-a-los-peruanos?utm_source

- Quispe Gutiérrez, C. (2019). *Influencia del tamaño de bolsas en el crecimiento y desarrollo de patrones de cítricos en el vivero de la E.P. Ingeniería Agroforestal, 580 msnm—Pichari, Cusco*. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3531>
- Ramírez Rodríguez, E. S. (2020). *Evaluación de la presencia y distribución de carbonatos edáficos y su relación con los cambios de usos de la tierra en el centro de apoyo Manglaralto UPSE*. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5398>
- Rezapour, S., Nouri, A., Jalil, H. M., Hawkins, S. A., & Et., A. (2021). Influence of Treated Wastewater Irrigation on Soil Nutritional-Chemical Attributes Using Soil Quality Index. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su13041952>
- Riego, M. de A. y. (2017). *Manual de Procedimientos de los Análisis de Suelos y Agua con Fines de Riego*.
- Rodrigues-Silva, F., Rodrigues, D. A. S., Vilela, P. B., Bastos, R. K. X., Jørgensen, N. O. G., Nielsen, J. L., Schlüter, L., Starling, M. C. V. M., & Amorim, C. C. (2025). Recycling nutrients: The promise and perils of wastewater use in global and Brazilian agriculture. *Agricultural Water Management*, 321, 109901. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109901>
- Rosillo Murúa, N. G. (2019). *Microorganismos de un ambiente contaminado con plomo y su potencial para la producción de metabolitos secundarios*. <https://hdl.handle.net/20.500.12930/2232>
- Saleh, M., Salehi, M., Khanaki, S., Ebrahimian, H., Liaghat, A., Mousavi, S. M., Pashapour, S., & Ashrafi, A. (2025). Effects of treated wastewater irrigation on soil properties, nutrient uptakes, and crop yields of agronomic crops under different crop rotations. *Agricultural Water Management*, 316, 109585. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109585>
- Santiago Huillcapure, E. U. (2011). *Influencia del peso del cormo a la cosecha de frutos en el cultivar de banano isla (Musa paradisiaca L.)*. Pichari 575 m.s.n.m. - Valle del río Apurímac, Cusco 2009. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1919>
- Sdiri, et al. (2023). *Assessing the Effects of Treated Wastewater Irrigation on Soil Physico-Chemical Properties*. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/7/5793>
- Sdiri, W., AlSalem, H. S., Al-Goul, S. T., Binkadem, M. S., & Ben Mansour, H. (2023). Assessing the Effects of Treated Wastewater Irrigation on Soil Physico-Chemical Properties. *Sustainability*, 15(7), 5793. <https://doi.org/10.3390/su15075793>

- SEIA. (2022). *Guía para la identificación y caracterización de impactos ambientales en el marco del SEIA | SINIA*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-identificacion-caracterizacion-impactos-ambientales-marco-seia>
- Soil pH Explained—Soil Quality Knowledge Base. (s. f.). *WA Soil Knowledge Base*. Recuperado 12 de enero de 2026, de <https://soilqualityknowledgebase.org.au/soil-ph/>
- Sosa, L. J. P. M., Cabrera, D. U. M., & León, W. D. F. P. D. (2025a). Assessment of Boron Phytotoxicity Risk and Its Relationship with Sodicity and Major Cations in Irrigation Groundwater from the La Yarada Los Palos Coastal Agroecosystem, Caplina Basin, Tacna, Peru. *Sustainability*, 17(24). <https://doi.org/10.3390/su172411104>
- Sosa, L. J. P. M., Cabrera, D. U. M., & León, W. D. F. P. D. (2025b). Assessment of Boron Phytotoxicity Risk and Its Relationship with Sodicity and Major Cations in Irrigation Groundwater from the La Yarada Los Palos Coastal Agroecosystem, Caplina Basin, Tacna, Peru. *Sustainability*, 17(24). <https://doi.org/10.3390/su172411104>
- Synthesis of wastewater treatment process (WWTP) and supplier selection via Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). (2021). *Journal of Cleaner Production*, 314, 128104. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128104>
- The United Nations World Water Development Report 2024: Water for prosperity and peace—UNESCO Biblioteca Digital*. (s. f.). Recuperado 7 de enero de 2026, de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388948>
- Ticona-Cortavitarte, B., Vasquez-Regalado, J., Quispe-Poma, M., Ticona-Cortavitarte, B., Vasquez-Regalado, J., & Quispe-Poma, M. (2024). Comparison of the cylinder and test tube method for determining soil bulk density. *Idesia (Arica)*, 42(4), 61-68. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292024000400061>
- Vilchez Melo, J. C. (2021). *Propuesta para mejorar la calidad de agua para riego, implementando una unidad de tratamiento con iones ferrato (VI)*. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5311>
- Wang, L., Blanchy, G., Cornelis, W., & Garré, S. (2024). Changes in soil hydraulic and physio-chemical properties under treated wastewater irrigation: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 295, 108752. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108752>
- Water quality for agriculture*. (s. f.). Recuperado 12 de junio de 2026, de https://www.fao.org/4/T0234E/T0234E00.htm?utm_source

- Yavuz, V. S. (2025). Impact of temperature and flow rate on oxygen dynamics and water quality in major Turkish rivers. *Scientific Reports*, 15(1), 22830. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-06433-8>
- Zamora, F., Rodríguez, N., Torres, D., & Yendis, H. (2008). Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, Estado Falcón. *Bioagro*, 20(3), 193-199.
- Zhang, X., Zhang, Y., Yang, X., Wang, Z., & Liu, X. (2025). Biochemical Oxygen Demand Prediction Based on Three-Dimensional Fluorescence Spectroscopy and Machine Learning. *Sensors*, 25(3). <https://doi.org/10.3390/s25030711>
- Zinc and Iron Deficiencies* | *Colorado State University Extension Website*. (2025, septiembre 5). <https://extension.colostate.edu/resource/zinc-and-iron-deficiencies/>

CAPÍTULO VIII: ANEXOS

8.1. Anexo A

8.1.1. Vistas fotográficas

Figura 1

Área de estudio



Figura 2

Parcelas de muestreo



Figura 3

Indumentaria necesaria para lo toma de muestra según el protocolo de toma de muestras

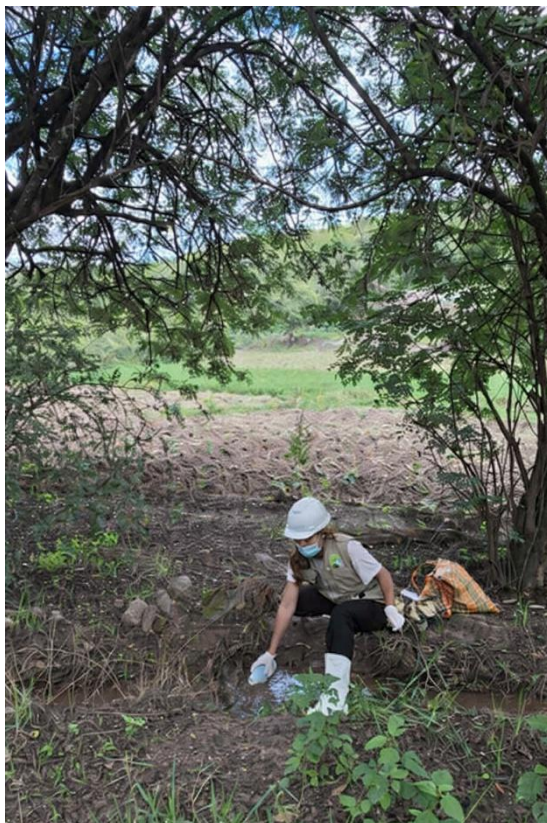
**Figura 4**

Recolección de muestras de agua (13 de octubre del 2025)



Figura 5

Recolección de muestras de agua (17 de noviembre del 2025)

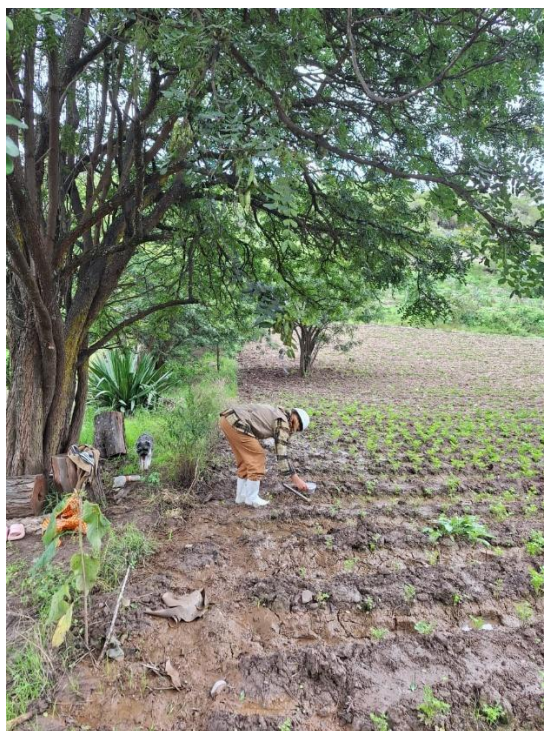
**Figura 6**

Recolección de muestras de agua (15 de diciembre del 2025)



Figura 7

Recolección de muestras de suelo (17 de noviembre de 2025)

**Figura 8**

Recolección de muestras de suelo (15 de diciembre del 2025)



Figura 9

Recolección de muestras de suelo (15 de diciembre del 2025)

**Figura 10**

Muestras de agua recolectadas y respectivamente codificadas



Figura 11

Muestras de suelo recolectadas y respectivamente codificadas

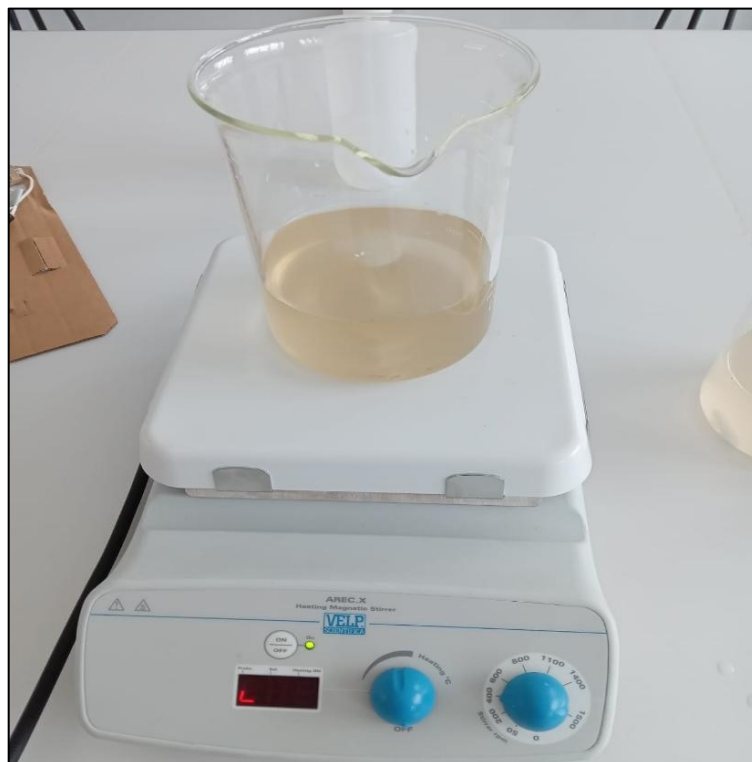
**Figura 12**

Procedimiento del análisis de DBO₅, incorporación del inhibidor de nitrificación



Figura 13

Procedimiento del análisis de DBO_5 , mezcla de la muestra e inhibidor con el agitador magnético

**Figura 14**

Procedimiento del análisis de DBO_5 , mezcla de la muestra e inhibidor con el agitador magnético



Figura 15

Procedimiento del análisis del pH suelo, pesado de muestra de suelo

**Figura 16**

Procedimiento del análisis del pH, mezcla de muestra de suelo y agua destilada, reposo correspondiente

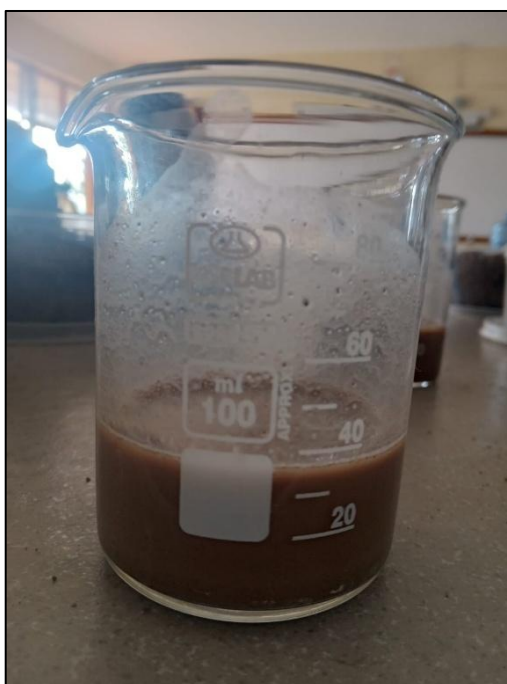


Figura 17

Procedimiento del análisis del pH suelo, análisis de pH de suelo con pH-metro

**Figura 18**

Procedimiento del análisis de densidad aparente, someter a una temperatura de 20 °C



Figura 20

Procedimiento del análisis de densidad aparente, muestras sumergidas en agua

**Figura 21**

Procedimiento del análisis de densidad aparente, pesado de muestras sumergidas en agua



Figura 22

Procedimiento del análisis de textura,

**Figura 23**

Procedimiento del análisis de compactación, análisis de compactación en las muestras

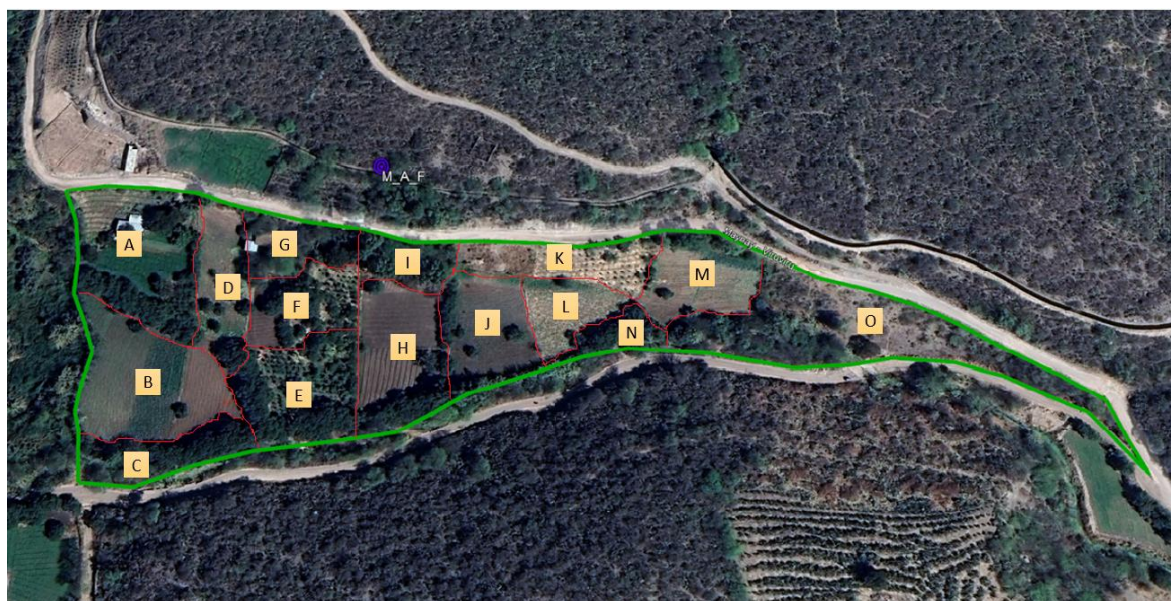


Figura 24

Muestras de suelo totales

**Figura 25**

Análisis preliminar del total de parcelas en el área de estudio



8.2. Anexo B

8.2.1. Ficha de registro de datos en campo

FICHA DE REGISTRO DE DATOS EN CAMPO

Lugar: Comunidad Santa Rosa de Huaysuy

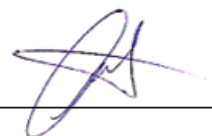
Monitoreo:

1

Ubicación de la Muestra	Código	Localidad	Distrito	Provincia	Departamento	Coordenadas UTM (Zona 18L) Este	Coordenadas UTM (Zona 18L) Norte	Fecha	Hora inicio	Hora fin	Tipo de muestra (agua/suelo)	Tipo de cultivo
Canal	P1_canal	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578564	8564955	13/10/25	09:07 am	9:10 am	Agua	-
Parcela1	P2_Parcels1	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578692	8564857	13/10/25	09:18 am	09:22 am	Agua	Coliflor, lechuga
Parcela2	P3_Parcels2	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578672	8564983	13/10/25	09:25 am	09:28 am	Agua	Col
Parcela3	P4_Parcels3	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578660	8565074	13/10/25	09:34 am	09:36 am	Agua	Coliflor
Parcela1	M1_Parcels1	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578564	8564955	13/10/25	09:45 am	10:03 am	Suelo	Coliflor, lechuga
Parcela1	M2_Parcels1	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578646	8564825	13/10/25	10:05 am	10:22 am	Suelo	Coliflor, lechuga
Parcela2	M3_Parcels2	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578679	8564841	13/10/25	10:25 am	10:37 am	Suelo	Col
Parcela2	M4_Parcels2	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578633	8564998	13/10/25	10:39 am	10:57 am	Suelo	Col
Parcela3	M5_Parcels3	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578657	8565013	13/10/25	10:59 am	11:17 am	Suelo	Coliflor
Parcela3	M6_Parcels3	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578622	8565096	13/10/25	11:19 am	11:34 am	Suelo	Coliflor
Parcela nula	M7_Parcelsnula	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578643	8565116	13/10/25	11:46 am	12:14	Suelo	-

Responsable del monitoreo: Huaman Chavez Nayeli Gabriela

Firma:



Fecha: 13/10/2025

FICHA DE REGISTRO DE DATOS EN CAMPO**Lugar:** Comunidad Santa Rosa de Huaysuy**Monitoreo:**

2

Ubicación de la Muestra	Código	Localidad	Distrito	Provincia	Departamento	Coordenadas UTM (Zona 18L) Este	Coordenadas UTM (Zona 18L) Norte	Fecha	Hora inicio	Hora fin	Tipo de muestra (agua/suelo)	Tipo de cultivo
Canal	P1_canal	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578564	8564955	17/11/25	08:35 am	08:39 am	Agua	-
Parcela1	P2_Parcels1	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578692	8564857	17/11/25	08:48 am	08:52 am	Agua	lechuga
Parcela2	P3_Parcels2	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578672	8564983	17/11/25	08:54 am	08:58 am	Agua	Col, coliflor
Parcela3	P4_Parcels3	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578660	8565074	17/11/25	09:01 am	09:05 am	Agua	Coliflor
Parcela1	M1_Parcels1	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578564	8564955	17/11/25	09:16 am	09:43 am	Suelo	Coliflor
Parcela1	M2_Parcels1	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578646	8564825	17/11/25	09:45 am	09:58 am	Suelo	Coliflor
Parcela2	M3_Parcels2	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578679	8564841	17/11/25	10:04 am	10:27 am	Suelo	Col
Parcela2	M4_Parcels2	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578633	8564998	17/11/25	10:29 am	10:46 am	Suelo	Col
Parcela3	M5_Parcels3	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578657	8565013	17/11/25	10:50 am	11:06 am	Suelo	Coliflor, col
Parcela3	M6_Parcels3	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578622	8565096	17/11/25	11:08 am	11:24 am	Suelo	Coliflor, col
Parcela nula	M7_Parcelsnula	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578643	8565116	17/11/25	11:35 am	11:49 am	Suelo	-

Responsable del monitoreo: Huaman Chavez Nayeli Gabriela**Firma:**

Fecha: 17/11/2025

FICHA DE REGISTRO DE DATOS EN CAMPO

Lugar: Comunidad Santa Rosa de Huaysuy

Monitoreo:

3

Ubicación de la Muestra	Código	Localidad	Distrito	Provincia	Departamento	Coordenadas UTM (Zona 18L) Este	Coordenadas UTM (Zona 18L) Norte	Fecha	Hora inicio	Hora fin	Tipo de muestra (agua/suelo)	Tipo de cultivo
Canal	P1_canal	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578564	8564955	15/12/25	09:46 am	09:50 am	Agua	-
Parcela1	P2_Parcels1	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578692	8564857	15/12/25	09:59 am	10:04 am	Agua	Col, coliflor
Parcela2	P3_Parcels2	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578672	8564983	15/12/25	10:09 am	10:14 am	Agua	Coliflor
Parcela3	P4_Parcels3	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578660	8565074	15/12/25	10:18 am	10:23 am	Agua	Coliflor, cebolla china
Parcela1	M1_Parcels1	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578564	8564955	15/12/25	10:46 am	11:05 am	Suelo	Coliflor
Parcela1	M2_Parcels1	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578646	8564825	15/12/25	11:07 am	11:23 am	Suelo	Coliflor
Parcela2	M3_Parcels2	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578679	8564841	15/12/25	11:27 am	11:45 am	Suelo	Coliflor
Parcela2	M4_Parcels2	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578633	8564998	15/12/25	11:49 am	12:08 pm	Suelo	Coliflor
Parcela3	M5_Parcels3	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578657	8565013	15/12/25	12:15 am	12:37 am	Suelo	Coliflor, cebolla china
Parcela3	M6_Parcels3	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578622	8565096	15/12/25	12:40 pm	12:59 pm	Suelo	Coliflor, cebolla china
Parcela nula	M7_Parcelsnula	Huaysuy	Huanta	Huanta	Ayacucho	578643	8565116	15/12/25	01:14 pm	01:31 pm	Suelo	-

Responsable del monitoreo: Huaman Chavez Nayeli Gabriela

Firma:



Fecha: 15/12/2025

8.3. Anexo C

8.3.1. Informes de ensayos de laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 021838

ANÁLISIS DE SUELO - RUTINA

SOLICITANTE : NAYELI GABRIELA HUAMAN CHAVEZ
 UBICACIÓN : Comunidad Huaysuy, distrito Huanta, provincia Huanta, Ayacucho
 RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 17 de noviembre de 2025

Número de muestra		CE	pH	M.O.	P	K	CaCO ₃	Al ³⁺ *H ⁺
Lab.	Campo	dS m ⁻¹	Relación 1:1	%	ppm	ppm	%	
21838	M4 -> Parcela_nula	0.77	8.07	3.86	28.49	3350.00	4.44	

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

[Firma]
 MSc Ing. Teresa Velásquez Bejarano
 JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 021836

ANÁLISIS DE SUELO - RUTINA

SOLICITANTE : NAYELI GABRIELA HUAMAN CHAVEZ
 UBICACIÓN : Comunidad Huaysuy, distrito Huanta, provincia Huanta, Ayacucho
 RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 17 de noviembre de 2025

Número de muestra		CE	pH	M.O.	P	K	CaCO ₃	Al ³⁺ +H ⁺
Lab.	Campo	dS m ⁻¹	Relación 1:1	%	ppm	ppm	%	
21836	M2 -> Parcela 2	0.30	6.78	1.64	38.65	551.00	-	0.08

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

MSc Ing. Teresa Velásquez Bejarano
 JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 021835

ANÁLISIS DE SUELO - RUTINA

SOLICITANTE : NAYELI GABRIELA HUAMAN CHAVEZ
UBICACIÓN : Comunidad Huaysuy, distrito Huanta, provincia Huanta, Ayacucho
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 17 de noviembre de 2025

Número de muestra		CE	pH	M.O.	P	K	CaCO ₃	Al ³⁺ +H ⁺
Lab.	Campo	dS m ⁻¹	Relación 1:1	%	ppm	ppm	%	
21835	M1 -> Parcela 1	0.56	7.37	1.90	35.41	337.20	0.27	-

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO


MSc Ing. Teresa Velásquez Bejarano
JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 021837

ANÁLISIS DE SUELO - RUTINA

SOLICITANTE : NAYELI GABRIELA HUAMAN CHAVEZ
 UBICACIÓN : Comunidad Huaysuy, distrito Huanta, provincia Huanta, Ayacucho
 RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 17 de noviembre de 2025

Número de muestra		CE	pH	M.O.	P	K	CaCO ₃	Al ³⁺ +H ⁺
Lab.	Campo	dS m ⁻¹	Relación 1:1	%	ppm	ppm	%	
21837	M3 -> Parcela 3	0.58	7.53	1.74	33.66	516.80	0.44	-

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

[Firma]
 MSc Ing. Teresa Velásquez Bejarano
 JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 011341

ANÁLISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : NAYELI GABRIELA HUAMAN CHAVEZ
UBICACIÓN : Comunidad Huaysuy, distrito Huanta, provincia Huanta, Ayacucho
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 17 de noviembre de 2025

Nº LABORATORIO	11344
Nº DE CAMPO	P_2 entrada
CE dS m ⁻¹	0.56
pH	6.92
Calcio meq l ⁻¹	0.87
Magnesio meq l ⁻¹	0.20
Sodio meq l ⁻¹	4.81
Potasio meq l ⁻¹	0.19
SUMA DE CATIONES	6.07
Cloruro meq l ⁻¹	1.46
Sulfato meq l ⁻¹	2.01
Bicarbonato meq l ⁻¹	2.11
Nitratos meq l ⁻¹	0.10
Carbonatos meq l ⁻¹	0.00
SUMA DE ANIONES	5.68
SAR	6.57
CLASIFICACION	C2-S1
Boro mg l ⁻¹	0.65

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Teresa Velásquez Bejarano
MSc Ing. Teresa Velásquez Bejarano
JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
 DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 011347

ANÁLISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : NAYELI GABRIELA HUAMAN CHAVEZ
UBICACIÓN : Comunidad Huaysuy, distrito Huanta, provincia Huanta, Ayacucho
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 17 de noviembre de 2025

Nº LABORATORIO		11343
Nº DE CAMPO		P_1 canal
CE	dS m ⁻¹	0.57
pH		7.03
Calcio	meq l ⁻¹	1.57
Magnesio	meq l ⁻¹	0.63
Sodio	meq l ⁻¹	3.34
Potasio	meq l ⁻¹	0.23
SUMA DE CATIONES		5.77
Cloruro	meq l ⁻¹	1.51
Sulfato	meq l ⁻¹	2.04
Bicarbonato	meq l ⁻¹	2.16
Nitratos	meq l ⁻¹	0.08
Carbonatos	meq l ⁻¹	0.00
SUMA DE ANIONES		5.80
SAR		3.18
CLASIFICACION		C2-S1
Boro	mg l ⁻¹	2.20

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

[Firma]
 MSc Ing. Teres Velásquez Bejarano
 JEFA DE LABORATORIO



8.4. Anexo D

8.4.1. Memoria descriptiva de la infraestructura sanitaria de la localidad de Ayacucho (PTAR Totorillas, Ayacucho)

B.- SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO

1. **CONEXIONES DOMICILIARIAS.-** La cobertura del servicio de desagüe asciende a 80.30 %, que representa a una población servida de 167,437 habitantes, que tiene la distribución siguiente:

a) Categoría Social	61
b) Categoría Doméstico	37,663
c) Categoría Comercial	5,329
d) Categoría Industrial	87
e) Categoría Estatal	239
TOTAL	43,379

2. **REDES COLECTORAS.-** El sistema de alcantarillado sanitario está compuesto por redes secundarias, primarias, interceptor y emisor, que recolecta las aguas servidas provenientes de conexiones de categorías descritas en el párrafo anterior, y luego transporta a través de redes indicadas hasta el afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorilla; el conjunto del sistema de alcantarillado sanitario consta de un total de 316,011 ml., de diferentes diámetros que van de 6", 8", 10", 12", 14" entre colectores secundarios y primarios y de mayor diámetro corresponden al interceptor y emisor.

3. **PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.-** El emplazamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de la ciudad de Ayacucho denominada PTAR TOTORA, se encuentra ubicada al norte de la ciudad de Ayacucho, a unos 3.50 km. del centro de la ciudad; planimétricamente se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas:

NORTE	585.654 E – 8 547.489 N
SUR	585.762 E – 8 546.611 N
ESTE	585.996 E – 8 547.037 N
OESTE	585.442 E – 8 547.220 N

Topográficamente el área donde se encuentra emplazada las unidades de proceso de la PTAR Totorilla cuyas cotas varían desde 2606 msnm. a 2617 msnm.; primigeniamente la PTAR Totorilla ha sido construida en el año 1974 para una población de 60,000 habitantes aproximadamente; en la actualidad, en diciembre del 2004 ha sido puesta en operación el Proyecto de Ampliación y Mejoramiento de la PTAR de la ciudad de Ayacucho; el proyecto mencionado ha tomado como base los siguientes datos:

DESCRIPCION	HORIZONTE 2010	HORIZONTE 2020
Población total (hab)	208,282	278,215
Cobertura (%)	75	80
Población servida (hab)	156,212	222,572
Caudal diario (lps)	443	618
Caudal medio horario (lps)	537	697
Caudal pico (lps)	769	989
Caudal mínimo (lps)	274	435

Igualmente el proyecto ha establecido las características del agua residual que se describe a continuación:

PARAMETROS	HORIZONTE 2010	HORIZONTE 2020
Temperatura media (°C)	15	15
Condiciones Iniciales		
Coliformes fecales (NMP/100 ml.)	1x10 ⁸	4x 10 ⁸
Demanda Bioquímica de Oxígeno		
DBO (mg/l)	204	208
Demanda Química de Oxígeno DQO		
(mg/l)	408	417
Condiciones finales		
Coliformes fecales (NMP/100 ml.)	1,1 x 10 ⁶	5,6 x 10 ⁶
Remoción de CF (%)	98,8	98,6
Demanda Bioquímica de Oxígeno		
DBO (mg/l)		18
Remoción de DBO (%)		91
50 g/hab/d DBO		
100 g/hab/d DQO		

La moderna Planta de Tratamiento puesta en operación en diciembre del año 2004 consta de los siguientes componentes:

- 01 Obra de Ingreso
- 01 Cámara de materiales gruesos.
- 01 Rejillas manuales de 2" de espaciamiento.
- 01 Lecho de grava.
- 01 Desarenador de 03 canales.
- 02 Rejillas automáticas finas de 6 mm.
- 01 Tornillo transportador de basuras
- 01 Lecho de arena.
- 01 Medidor ultrasónico de caudales.
- 06 Tanques Imhoff.
- 03 Lechos de secado.
- 04 Filtros Percoladores.
- 04 Sedimentadores integrados ó Ats.
- 02 Lagunas facultativas.
- 03 Lagunas de maduración.
- 01 Laguna de Cloración.
- 01 Edificio de operación y laboratorio.
- 01 Estación de Bombeo.
- 01 Casa fuerza o grupo electrónico.
- 01 Estación de cloración.
- Misceláneos equipos de bombeo y otro

FILTROS PERCOLADORES



TANQUES INHOFF



VISTA PANORAMICA PTAR TOTORA

8.5. Anexo E

8.5.1. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales (D.S. 004- 2017-MINAM).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminths	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

8.6. Anexo F

8.6.1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
GENERAL ¿Cuál es el impacto del uso de aguas residuales en los suelos agrícolas en la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta – 2025?	GENERAL Determinar el impacto del uso de aguas residuales en los suelos agrícolas en la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta – 2025.	GENERAL Existe un impacto significativo del uso de aguas residuales para riego sobre las propiedades fisicoquímicas de los suelos agrícolas de la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta – 2025.	VARIABLE 1: Uso de aguas residuales. Dimensiones: calidad fisicoquímica del agua y comparación con estándares de calidad ambiental.	VI Tipo: Aplicada. Enfoque: Cuantitativo, de campo. Nivel: Descriptivo con componente correlacional. Diseño: No experimental, descriptivo-correlacional, con monitoreo temporal; no busca probar causalidad experimental directa. Población: Suelos agrícolas irrigados con aguas residuales en la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta, dentro de un área aproximada de 3,34 ha. Muestra: Puntos de agua de riego P1–P4 y muestras de suelo agrícola M1–M7. Se realizaron tres monitoreos; M1–M6 corresponden a parcelas irrigadas con aguas residuales y M7 funciona como parcela de referencia (ausencia de manejo de suelo)
ESPECÍFICOS 1. ¿Cuál es la concentración de los parámetros fisicoquímicos del agua de riego utilizada en los suelos agrícolas de la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta?	ESPECÍFICOS 1. Evaluar la concentración de los parámetros fisicoquímicos del agua utilizada en los suelos agrícolas de la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta – 2025.	ESPECÍFICAS H.1. Las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos del agua de riego presentan variación respecto a los valores de referencia establecidos en los ECA para agua de uso agrícola.	Indicadores: pH, temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales (TDS), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), DBO ₅ , calcio y potasio.	
2. ¿Cuál es la concentración de los parámetros fisicoquímicos del suelo agrícola de la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta?	2. Evaluar la concentración de los parámetros fisicoquímicos del suelo agrícola en la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta – 2025.	H.2. Las propiedades fisicoquímicas del suelo agrícola presentan diferencias entre las parcelas evaluadas irrigadas con aguas residuales y la parcela de referencia.	VARIABLE 2: Suelo agrícola. Dimensiones: propiedades fisicoquímicas del suelo y comparación con criterios de calidad.	Técnicas e instrumentos: Observación directa, muestreo de agua y suelo, ficha de campo, multiparámetro, frascos de recolección, bolsas estériles, GPS, Google Earth/QGIS y análisis de laboratorio.
3. ¿Cuál es la relación entre los parámetros fisicoquímicos del agua de riego y del suelo agrícola con los Estándares de Calidad Ambiental en la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta?	3. Analizar la relación de los parámetros fisicoquímicos del agua y del suelo con los Estándares de Calidad Ambiental en la comunidad Santa Rosa de Huaysuy, Huanta.	H.3. Existe asociación significativa entre los parámetros fisicoquímicos del agua de riego y los parámetros fisicoquímicos del suelo agrícola evaluados en la comunidad Santa Rosa de Huaysuy.	Indicadores: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, potasio disponible, carbonato de calcio, textura, densidad aparente y compactación.	Procesamiento de datos: Estadística descriptiva en Excel y SPSS; prueba de normalidad Shapiro-Wilk; correlación Rho de Spearman; comparación con ECA para agua, criterios agronómicos/FAO para suelo y cálculo de variación porcentual para clasificar el impacto.