

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN PROYECTO DE INVERSIÓN



Tesis

**Evaluación físico-química de fuentes de agua superficial y suelo para
uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás,
Apurímac – 2023**

Asesor:

M.Sc. Yanqui Díaz, Franklin

Autor:

Coronado Sotaya, Jorge Adalberto

Para optar grado académico de: Maestro en Proyectos de Inversión

Abancay - Apurímac – Perú

2025

Acta de sustentación



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
ESCUELA DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS DE LA ESCUELA DE POSGRADO – UTEA

FECHA: 23/05/2025. HORA: 3:00 PM LUGAR: AULA 209 DE LA ESCUELA DE POSGRADO, DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES.

MIEMBROS DEL JURADO EVALUADOR:

MAG. MARICELA OCHOA GUILLEN	PRESIDENTA
DR. ANGEL BENITO MOGROVEJO FLORES	PRIMER MIEMBRO
MSC. ANGEL MALDONADO MENDIVIL	SEGUNDO MIEMBRO

DESIGNADOS CON RESOLUCION DIRECTORAL: N° 103-2025-UTEA-EPG-D, DE FECHA 19 DE MAYO DEL 2025.

MODALIDAD: TESIS.

TITULO DE LA TESIS: "EVALUACIÓN FÍSICO – QUÍMICA DE FUENTES DE AGUA SUPERFICIAL Y SUELO PARA USO AGRÍCOLA EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PRODUCCIÓN SANTO TOMAS, APURIMAC-2023".

MAESTRANDO:

<u>APELLIDOS Y NOMBRES</u>	<u>MAESTRIA.</u>
CORONADO SOTAYA JORGE ADALBERTO	PROYECTOS DE INVERSIÓN

CONCLUYENDO EL ACTO DE SUSTENTACION, EL JURADO DETERMINO POR UNANIMIDAD CON EL RESULTADO FINAL LA NOTA DE: **DIECISIETE (17)**.

SE EXPIDE LA PRESENTE ACTA CONFORME AL LIBRO DE ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS DE LA ESCUELA DE POSGRADO – UTEA, CONSIGNADO EN LOS FOLIOS N° 105- 106.

ABANCAY, 27 DE JUNIO DE 2025.


.....
PRESIDENTA
MAG. MARICELA OCHOA GUILLEN


.....
PRIMER MIEMBRO
DR. ANGEL BENITO MOGROVEJO FLORES


.....
SEGUNDO MIEMBRO
MSC. ANGEL MALDONADO MENDIVIL

Reporte de similitud

Evaluación físico-química de fuentes de agua superficial y suelo para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Apurímac – 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

20% INDICE DE SIMILITUD	19% FUENTES DE INTERNET	10% PUBLICACIONES	8% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------	--------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	pdfslide.tips Fuente de Internet	1%
6	www.dominiodelasciencias.com Fuente de Internet	1%
7	nanopdf.com Fuente de Internet	<1%
8	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1%
9	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%

zagan.unizar.es

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Jorge Adalberto Coronado Sotaya
Tipo de documento de identidad	: DNI
Número de documento de identidad	: 31042293
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0008-1376-1964
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: M. Sc. Franklin Yanqui Díaz
Tipo de documento de identidad	: DNI
Número de documento de identidad	: 42238024
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0002-4226-0738
Datos de la investigación	
Escuela Posgrado	: Posgrado
Maestría	: Proyectos de Inversión
Línea de investigación	: Inversión y Gestión de Proyectos de Inversión Privada
Rango de años en la que se realizó la investigación	: 2023
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 20%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.00.00

Dedicatoria

(+) Ofrendo esta tesis a mis amados y recordados padres que en paz descansen, Armando Coronado Cáceres, Cirila Sotaya Taipe y a mi madre política Dominga Taipe Anca, quienes con su constancia, bondad y ejemplo han sabido guiarme en mis objetivos hasta poder concretar mis sueños.

A mi hijo Frank Dany, quien es la razón fundamental y fuente de motivación para esforzarme y lograr este objetivo académico.

A mis Hermanos Federico, Felicitas y Rufina, que siempre me han mostrado motivación constante para seguir superándome.

JORGE ADALBERTO

Agradecimiento

A la Universidad Tecnológica de los Andes – UTEA, por darme la oportunidad de estudiar una Maestría con una de las mejores experiencias prácticas y académicas.

Al M. Sc. Franklin Yanqui Díaz por su asesoría y apoyo en la ejecución y culminación de la tesis.

A los colegas de trabajo Dr. Juan Alarcón Camacho, Ing. Isaías Cruz Soto, por sus recomendaciones, sugerencias y orientación frente a la realización de esta tesis.

Al C.P.C. Isaías Meza Sequeiros Sub Dirección de Producción de Bienes y Servicios por su apoyo en darme las facilidades para la culminación de la tesis.

Al C.P.C. Isaías Meza Sequeiros Sub Dirección de Producción de Bienes y Servicios por su apoyo en darme las facilidades de proporcionarme la información de resultado de análisis físico – químico y metales de las fuentes de agua superficial y suelo para uso agrícola del Centro de Investigación y Producción Santo Tomas, para la culminación de la tesis.

JORGE ADALBERTO

Resumen

El estudio se realizó en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay – Apurímac, en 2023, con el objetivo de evaluar las características físico-químicas del agua y del suelo para uso agrícola. Se analizaron seis fuentes de agua y cinco sectores de suelo, considerando parámetros como salinidad, nitratos, metales pesados, fertilidad y capacidad de intercambio catiónico (CIC). En cuanto al agua, se observaron variaciones en la calidad. Las fuentes M. Cascajal y M. Consuyluyuq presentaron altos niveles de sales (810 y 670 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente), superando el límite recomendado para riego (750 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Además, se detectaron nitratos en concentraciones preocupantes, como en Higuschayuq (6.26 mg/L) y Cascajal (5.8 mg/L), lo que indica contaminación por fertilizantes. También se hallaron metales pesados como aluminio y selenio por encima de los límites permitidos. En contraste, M. Carrizal y M. Higuschayuq mostraron mejores condiciones para riego. En el análisis del suelo, los sectores Pampa Esperanza II y Consuyluyuq destacaron por su fertilidad. Pampa Esperanza II presentó la mayor CIC (17.27 meq/100g), favoreciendo la retención de nutrientes. Consuyluyuq mostró alto contenido de materia orgánica (3.8%) y potasio (1215.6 mg/kg), ideal para cultivos. Sin embargo, el Módulo Académico y el Invernadero presentaron baja capacidad de retención, lo que limita la producción agrícola sin un manejo adecuado. Estos hallazgos son clave para optimizar el uso de recursos hídricos y mejorar la productividad agrícola en la zona.

Palabras clave: físico, químicos, agua superficial, suelo para uso agrícola

Abstract

The study was conducted at the Santo Tomás Research and Production Center, Abancay – Apurímac, in 2023, aiming to assess the physicochemical characteristics of water and soil for agricultural use. Six water sources and five soil sectors were analyzed, considering parameters such as salinity, nitrates, heavy metals, fertility, and cation exchange capacity (CEC). Regarding water, variations in quality were observed. The M. Cascajal and M. Consuyluyuq sources showed high salt levels (810 and 670 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectively), exceeding the recommended threshold for irrigation (750 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Additionally, nitrate concentrations were detected at concerning levels, such as in Higuschayuq (6.26 mg/L) and Cascajal (5.8 mg/L), indicating fertilizer contamination. Heavy metals like aluminum and selenium were also found above permitted limits. In contrast, M. Carrizal and M. Higuschayuq showed better conditions for irrigation. In the soil analysis, Pampa Esperanza II and Consuyluyuq sectors stood out for their fertility. Pampa Esperanza II showed the highest CEC (17.27 meq/100g), favoring nutrient retention. Consuyluyuq exhibited high organic matter content (3.8%) and potassium (1215.6 mg/kg), ideal for crops. However, the Academic Module and Greenhouse sectors showed low nutrient retention capacity, limiting agricultural production without proper management. These findings are key to optimizing water resource use and improving agricultural productivity in the area.

Keywords: physical, chemical, surface water, agricultural soil

Índice

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice	ix
Indice de tablas	xii
Indice de figuras	xiii
Indice de anexos	xvii
I. Introducción	17
II. Planteamiento del problema	19
2.1. Descripción y formulación del problema.....	19
2.1.1. Problema general.....	21
2.1.2. Problemas específicos.....	21
2.2. Objetivos.....	22
2.2.1. Objetivo general.....	22
2.2.2. Objetivos específicos.....	22
2.3. Justificación de la investigación.....	23
2.4. Hipótesis.....	24
2.4.1. Hipótesis general.....	24
2.4.2. Hipótesis específicas.....	24
2.5. Variable.....	25
III. Marco Teórico	29
3.1. Antecedentes.....	29

3.1.1. Antecedentes internacionales.....	29
3.2. Bases teórica.....	36
3.2.1. El agua superficial para uso agrícola.....	36
3.2.1.1. Caracterización del agua superficial para uso agrícola.....	36
3.2.1.2. Calidad del agua superficial para uso agrícola.....	39
3.2.1.3. Componentes que determinan la calidad del agua.....	39
3.2.2. El suelo para uso agrícola.....	42
3.2.2.1. Características del suelo para uso agrícola.....	42
3.3. Definición de términos.....	45
IV. Metodología.....	48
4.1. Tipo y nivel de investigación.....	48
4.1.1. Tipo de investigación.....	48
4.1.2. Nivel de investigación.....	48
4.1.3. Metodología de la investigación.....	49
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	50
4.2.1. Ámbito temporal.....	50
4.2.2. Ámbito espacial.....	50
4.3. Población y muestra.....	51
4.3.1. Población.....	51
4.3.2. Muestra.....	51
4.3.3. Muestreo.....	52
4.4. Instrumentos.....	53
4.5. Procedimientos.....	55
4.6. Análisis de datos.....	57
4.7. Consideraciones éticas.....	58
V. Resultados y Discusión.....	59
5.1. Resultados.....	59

5.1.1. Características físicas (pH, la turbidez, conductividad y densidad y temperatura, color) del agua superficial para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay.....	59
5.1.2. Características químicas (metales pesados y otros) del agua superficial para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay.....	78
5.1.3. Características físicas (materia orgánica, arena, limo y arcilla) del suelo para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay.....	87
A) Análisis textural del suelo.....	88
5.1.4. Características químicas del suelo para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay – Apurímac 2023.....	97
5.1.4.1. Capacidad de intercambio catiónico meq/100g.....	97
5.1.5. Elementos disponibles mg/kg.....	104
Nota. Elaboración propia para el estudio.....	104
5.1.6. Metales por ICP – MS en suelos del Fundo Santo Tomas.....	111
5.2. Discusión.....	128
VI. Conclusiones.....	131
VII. Recomendaciones.....	135
VIII. Referencias.....	138
IX. Anexos.....	145

Indice de tablas

Tabla 1: Operacionalización de variables.....	27
Tabla 2: propiedades químicas del agua.....	37
Tabla 3: Características físicas y químicas del (06 fuentes de agua del Centro de Investigación y Producción Santo Tomás –UTEA	59
Tabla 4: Características físicas y químicas del (06 fuentes de agua del Centro de Investigación y Producción Santo Tomás –UTEA.....	78
Tabla 5: <i>Características físicas y químicas de las cinco (05) muestras tomadas de las distintas áreas del suelo agrícola del Centro de Investigación y Producción Santo Tomás –UTEA.....</i>	86
<i>Tabla 6: Análisis textural de áreas de suelo muestreado.....</i>	87
Tabla 7: Capacidad de intercambio catiónico meq/100g.....	97
Tabla 8: Contenido de Elementos disponibles en mg/kg.....	103
Tabla 9: Matriz de consistencia.....	140

Índice de figuras

Figura 1: Resultado del contenido de aceites y grasas en los mamantes del fundo Santo Tomás.....	60
Figura 2: Contenido de bicarbonato en las fuentes de agua de riego del Centro de Investigación y Producción Santo Tomás.....	61
Figura 3: Contenido de cianuros en las muestras de agua del CIP Santo Tomás.....	62
Figura 4: Representación del color del agua de los síes fuentes muestreadas.....	63
Figura 5: El contenido de la conductibilidad eléctrica de las fuentes de agua.....	64
Figura 6: Demanda bioquímica del oxígeno en las fuentes de agua en estudio.....	65
Figura 7: Demanda química del oxígeno en los síes fuentes de aguas muestreada.....	66
Figura 8: Contenido de detergentes en los síes fuentes de agua en estudio.....	66
Figura 9: Resultado del contenido de fenoles en los fuentes de agua muestreada.....	67
Figura 10: Representación gráfica del contenido de oxígenos desuetos.....	68
Figura 11: Contenido de cloruro en las fuentes de agua muestreada.....	69
Figura 12: Contenido de fluoruros en las fuentes de agua del CIP Santo Tomás.....	70
Figura 13: Concentración de nitratos en las fuentes de agua muestreada.....	71
Figura 14: Contenido de nitritos en las fuentes de agua muestreada.....	72
Figura 15: Concentración de sulfatos en los síes fuentes de agua muestreada.....	73
Figura 16: Concentración de temperaturas en las fuentes de agua muestreada para el estudio.....	74
Figura 17: El contenido de pH en las fuentes de agua muestreada.....	75
Figura 18: <i>Demanda bioquímica del oxígeno en las fuentes de agua en estudio.....</i>	76
Figura 19: Elementos metálicos muestreados en manantes del fundo Santo Tomás.....	79
Figura 20: <i>El contenido de Boro, Cadmio, Cobalto y cobre en las fuentes de agua del Fundo Santo Tomás.....</i>	80
Figura 21: <i>Contenido de cromo, hierro, litio y manganeso en las fuentes de agua del fundo Santo Tomás.....</i>	81
Figura 22: <i>Contenido de manganeso, mercurio, Níquel y plomo en las fuentes de agua de riego del fundo Santo Tomás.....</i>	83
Figura 23: <i>La presencia de plomo en las aguas muestreadas.....</i>	84
Figura 24: Contenido de pH, en los suelos muestreados.....	88

Figura 25: Conductibilidad eléctrica del suelo del centro de Investigación y Producción Santo Tomás.....	89
Figura 26: Disponibilidad de fosforo (P) en las áreas en estudio.....	90
Figura 27: Contenido de fosforo en los suelos muestreados.....	91
Figura 28: Porcentaje de arena de los suelos en estudio.....	92
Figura 29: Porcentaje de contenido de limo.....	93
Figura 30: Porcentaje de arcilla de los suelos en estudio.....	93
Figura 31: Contenido de materia orgánica en los síes áreas de terreno en estudio.....	94
Figura 32: <i>Contenido de carbonatos en los suelos en estudio</i>	95
Figura 33: <i>Contenido de calcio de los suelos en estudio</i>	98
Figura 34: <i>Contenido de magnesio en los suelos en estudio</i>	99
Figura 35: <i>Contenido de potasio de los suelos del fundo Santo Tomas</i>	100
Figura 36: Contenido de sodio (Na) en los suelos en estudio.....	100
Figura 37: Contenido del hidróxido de aluminio en los suelos en estudio.....	101
Figura 38: <i>Contenido de CIC en los sueles en estudio</i>	102
Figura 39: Contenido de sodio en las áreas muestreadas.....	104
Figura 40: <i>Contenido de magnesio (Mg). en las áreas de terreno muestreado</i>	105
Figura 41: Contenido de sulfatos (SO ₄) en los suelos del CIP Santo Tomás.....	106
Figura 42: <i>Contenido de boro (B) en los suelos en estudio</i>	106
Figura 43: Contenido de cobre (Cu) en los suelos muestreados.....	107
Figura 44: Contenido de hierro (Fe) en los suelos en estudio.....	108
Figura 45: <i>Presencia de manganeso en los terrenos en estudio</i>	109
Figura 46: Contenido de zinc (Zn) en los suelos en estudio.....	109
Figura 47: Contenido de aluminio en los suelos muestreados.....	110
Figura 48: Contenido de antimonio en terrenos en estudio.....	111
Figura 49: Contenido de arsénico en terrenos muestreados.....	112
Figura 50: Contenido de bario en los suelos muestreados del CIP Santo Tomás.....	112
Figura 51: Contenido de berilio.....	113
Figura 52: Contenido de bismuto.....	114
Figura 53: Contenido de cadmio.....	115
Figura 54: Contenido de Cobalto.....	115
Figura 55: Contenido de cromo.....	116

Figura 56: Contenido de estaño.....	117
Figura 57: Contenido de estroncio.....	117
Figura 58: Contenido de litio.....	118
Figura 59: Contenido de mercurio.....	119
Figura 60: Contenido de Molibdeno.....	119
Figura 61: Contenido de níquel (Ni).....	120
Figura 62: Contenido de plata (Ag).....	121
Figura 63: Contenido de plomo (Pb).....	121
Figura 64: Contenido de selenio (Se).....	122
Figura 65: Contenido de talio (Tl).....	123
Figura 66: Contenido de Titanio (Ti).....	123
Figura 67: Contenido de Uranio (U).....	124
Figura 68: Contenido de vanadio (V).....	125
Figura 69: Evidencias fotográfica de trabajo de campo.....	180
Figura 70: Embaces para recolección de muestras de aguas en distintos tipos de frascos para ser sometidos a varios tipos de reactivos.....	180
Figura 71: Los distintos tipos de pomos o frascos con contenidos de aguas para su envío a un laboratorio para el análisis correspondiente.....	181
Figura 72: Las muestras de agua debidamente etiquetados en distintas presentaciones de envases.....	181
Figura 73: Recolección de muestras de suelo en uno de las áreas de terreno en estudio.....	182
Figura 74: Recolección de muestra en una de las áreas de terreno para el respectivo recojo.....	182
Figura 75: Los Cinco muestreos de suelo debidamente etiquetados y envasado para luego ser enviado al laboratorio para el análisis correspondiente.....	183

Índice de anexos

A) Matriz de consistencia.....	145
B) Instrumento de recolección de información de las muestras de los manantes de agua de riego y de suelo agrícola del CIP Santo Tomás.....	147
C) Instrumento de recolección de información de las muestras de los manantes de agua de riego y de suelo agrícola del CIP Santo Tomás.....	148
D) Resultado de caracterización de las muestras de agua de los síes fuentes.....	152
E) Características físicas y químicas de los cinco (05) muestras tomadas de las distintas áreas del suelo agrícola del Centro de Investigación y Producción Santo Tomás – UTEA.....	180
F) Evidencias.....	186

I. Introducción

Las características físico y químicas de fuentes de aguas superficiales y del suelo son una parte fundamental para la producción de alimentos por medio de la agricultura. La exigencia de una buena calidad en los productos generados es de interés para la adopción de nuevas políticas en torno a la gestión adecuada en el uso de los recursos tanto hídricos como de suelos. Sin embargo, muchas veces no se suele aprovechar de manera correcta estos recursos, aun teniendo la posibilidad de usar herramientas tecnológicas avanzadas para realizar múltiples análisis e interpretaciones de las características físico, química-biológicas y de contenido metálico sobre las tierras en estudio.

El agua es lo más valioso en el planeta, formando parte de los minerales más imprescindibles para el desarrollo biológico. Casi un ochenta por ciento del planeta está cubierto por ella (Tebbu, 1998).

El agua es un recurso que se usa para satisfacer los requerimientos de la industria, la agricultura y el abastecimiento de las sociedades humanas; además los desechos deben tratarse (Flores, 2016). La descarga de desechos, fuera de norma y el uso excesivo de este recurso han provocado una crisis ambiental que afecta a los ecosistemas en donde el agua es fundamental. Además de proporcionar agua para las necesidades diarias, estos lugares tradicionalmente han sido utilizados como lugares recreativos debido a sus beneficios sensoriales y paisajísticos. (Hernández-Tapia, 2017).

Las características del suelo, el uso de la tierra y la cobertura terrestre se encuentran entre los factores que influyen en la calidad del agua en las cuencas (Hosseini et al. 2017, Chamara y Liyanage 2017). Las características del uso de la tierra están fuertemente vinculadas a la calidad del agua, particularmente en términos de nutrientes, sedimentos y otros contaminantes (Haidary et al., 2013). El uso de la tierra y la calidad del agua se puede estudiar para obtener información sobre las estrategias de utilización de la tierra y garantizar la seguridad hídrica. (Shi et al., 2017).

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

Las aguas superficiales para riego añaden nutrientes, sólidos disueltos, sales y metales pesados al suelo. Con el tiempo pueden acumularse cantidades excesivas de estos elementos en las raíces de las plantas, lo que puede ser perjudicial para el suelo. El uso de aguas subterráneas a largo plazo podría ocasionar en el suelo: salinidad, sobresaturación, desintegración de su estructura, una reducción generalizada de su capacidad productiva y reducir el rendimiento de los cultivos. Las consecuencias dependerán de factores como la fuente, la intensidad del uso y la composición de las aguas subterráneas, así como de las propiedades del suelo y las características biofísicas propias de cada cultivo. (UNESCO, 2017).

Los países de América Latina y el Caribe cuentan con una notable disponibilidad de recursos hídricos; sin embargo, su distribución es irregular y varía significativamente entre regiones. En algunos territorios, aunque existe disponibilidad de agua, su calidad se ve comprometida debido a la falta de un manejo adecuado o prácticas inapropiadas de uso. Esta situación genera costos adicionales para el tratamiento del agua, reduce la productividad agrícola, contribuye a la inseguridad alimentaria y limita el desarrollo económico de las comunidades afectadas (IICA 2017).

La composición química de las aguas subterráneas está influenciada por diversos factores, entre los que destacan la composición de la precipitación, la mineralogía de las cuencas hidrográficas y los acuíferos, así como las condiciones climáticas y topográficas (Güler et al., 2002). Estos elementos interactúan entre sí, dando lugar a una variabilidad espacial y temporal en las características del agua subterránea. Este fenómeno puede explicarse mediante la evolución química que experimenta el agua al entrar en contacto con los minerales presentes en los acuíferos o al mezclarse con diferentes tipos de agua a lo largo de su trayectoria en el subsuelo (Kumar et al., 2009).

En este contexto, los procesos hidro geoquímicos resultan fundamentales para comprender aspectos clave relacionados con la distribución y origen del agua

subterránea, las interacciones agua-roca, las mezclas entre aguas de distintas procedencias (superficiales y subterráneas, o entre acuíferos), los fenómenos de intrusión salina y el impacto de actividades humanas sobre la calidad del agua (Custodio, 1983; Pernía-Llera et al., 1993). Estos procesos suelen evaluarse mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos específicos, como los cationes calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) y potasio (K^+), así como los aniones bicarbonato (HCO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}), cloruro (Cl^-) y nitrato (NO_3^-) (Custodio y Llamas, 1983; Cuevas et al., 2001). La medición de estos constituyentes permite obtener información valiosa sobre las transformaciones químicas y los factores que condicionan la calidad del agua subterránea.

Las características físicas y químicas del recurso hídrico y del suelo en el Perú presentan una gran diversidad, condicionada por la variabilidad topográfica, ecológica y las características geológicas del territorio donde se encuentran las fuentes naturales. En particular, en el fundo Santo Tomas, situado en un valle interandino con climas tropicales, alberga fuentes y manantiales que contienen diversos macro y microelementos, cuyas concentraciones a menudo exceden o no alcanzan los niveles óptimos requeridos para el desarrollo adecuado de los cultivos. En esta zona, muchos agricultores aplican insumos agroquímicos sin contar con una caracterización detallada de estos elementos esenciales, lo cual resulta fundamental para garantizar prácticas agrícolas sostenibles y maximizar la productividad de manera responsable con el medio ambiente. Esta falta de información precisa puede derivar en un uso inadecuado de los recursos naturales, afectando tanto la calidad del suelo como la disponibilidad de agua para la agricultura.

Sin embargo, no solo los agricultores enfrentan este desafío. En el Centro de Investigación y Producción Santo Tomas, así como en otras áreas del valle interandino de Apurímac, se observa una carencia significativa de estudios y tecnologías avanzadas para la caracterización de estos recursos. Además, en la ciudad de Abancay y sus alrededores, no existen laboratorios que ofrezcan servicios de análisis accesibles al público. Esta limitación obliga a los pequeños agricultores, incluidos los del Centro de

Producción de la Universidad Tecnológica de los Andes de Apurímac, a enfrentar altos costos de producción debido a la falta de acceso a herramientas modernas de diagnóstico agrícola. Los laboratorios que brindan este tipo de servicios están concentrados en grandes ciudades como Lima, lo que dificulta aún más el acceso de los agricultores locales a análisis de agua y suelo. Los elevados costos asociados a estos servicios, sumados a las distancias geográficas, hacen que estas herramientas estén fuera del alcance de los pequeños productores de la región.

La Universidad Tecnológica de los Andes posee un terreno de 320 hectáreas destinado a la agricultura de escala mediana, lo que representa una oportunidad clave para liderar iniciativas de investigación y desarrollo agrícola en la región. Sin embargo, para aprovechar este potencial, es fundamental conocer y monitorear la calidad del agua y el suelo disponibles. Este conocimiento permitiría implementar prácticas agrícolas eficientes y sostenibles, convirtiendo al centro en un modelo regional. Además, la institución cuenta con una Escuela Profesional de Agronomía, cuyos estudiantes y docentes podrían desempeñar un papel protagónico en la incorporación y uso de tecnologías avanzadas para el análisis y manejo de estos recursos, promoviendo así el desarrollo agrícola en Apurímac y a nivel nacional.

2.1.1. Problema general

¿Cuáles son las características físico y químicas del agua superficial para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay – Apurímac 2023?

2.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la característica física del agua superficial según fuentes de origen para explotación agrícola en Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay – Apurímac 2023?

- ¿Cuáles son las características Químicas de las aguas superficiales para uso agrícola en Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay – Apurímac 2023?
- ¿Cuáles son las características físicas del recurso suelo para el uso agrícola en el Centro de Producción e Investigación Santo Tomás, Abancay – Apurímac 2023?
- ¿Cuáles son las características químicas del recurso suelo para el uso agrícola en el Centro de Producción e Investigación Santo Tomás, Abancay – Apurímac 2023?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Evaluar las características físico y químicas de agua superficial y suelo para uso agrícola en el Centro de Investigación y producción Santo Tomas, Abancay – Apurímac 2023.

2.2.2. Objetivos específicos

- Analizar las características físicas (pH, la turbidez, conductividad y densidad y temperatura, color) del agua superficial para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay – Apurímac 2023.
- Analizar las características químicas (metales pesados nitratos, fosfatos cloruros y otros) del agua superficial para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay – Apurímac 2023.
- Analizar las características físicas (materia orgánica, arena, limo y arcilla) del suelo para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay – Apurímac 2023.
- Analizar las características químicas (cationes ácidos: hidrógeno, aluminio y los cationes básicos: calcio, magnesio, potasio y sodio) del suelo para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay – Apurímac 2023.

2.3. Justificación de la investigación

Este trabajo de investigación se justifica por su relevancia y múltiples aportes en diversos ámbitos, destacando su conveniencia, valor social, implicancias prácticas, contribución teórica y utilidad metodológica.

El estudio generará información detallada sobre las características físico-químicas del agua y el suelo en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás. Esta información será clave para estudiantes y docentes de la Escuela Profesional de Agronomía, sirviendo como base para futuras investigaciones, proyectos agrícolas sostenibles. Además, fortalecerá la capacidad institucional, fomentará un enfoque empresarial sostenible, impulsando la productividad y competitividad en los próximos años. Beneficiará a agricultores locales, docentes y estudiantes, mejorando prácticas agrícolas, optimizando el uso de los recursos naturales. Contribuye al bienestar social, económico de la comunidad, promoviendo un impacto positivo en la región.

Desde una perspectiva práctica, la investigación proporciona un análisis detallado de los recursos hídricos, edáficos del fundo Santo Tomás, permitiendo a los productores del valle de Abancay y responsables del centro de producción desarrollar actividades agrícolas más eficientes. Será un antecedente clave para mejorar prácticas agrícolas y optimizar el diseño de sistemas de riego, favoreciendo un uso eficiente del agua y el suelo para una agricultura sostenible.

El estudio proporciona un marco de referencia confiable sobre las características físico-químicas del agua y el suelo, beneficiando a futuros investigadores y agricultores. Esta información facilitará la comprensión de los recursos naturales y apoyará la toma de decisiones sostenibles en actividades agrícolas, consolidándose como un aporte duradero para el desarrollo técnico y científico regional.

En cuanto a su utilidad metodológica, el trabajo emplea un enfoque descriptivo basado en análisis de laboratorio, comparando resultados con parámetros establecidos para uso agrícola. Los datos obtenidos servirán como base para futuras investigaciones, para la gestión sostenible de recursos hídricos y edáficos, estableciendo un precedente

replicable. Los datos obtenidos servirán como base para desarrollar los futuros proyectos de investigaciones y para la gestión sostenible de recursos hídricos y suelo para uso agrícola, estableciendo un precedente replicable.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Las características físico y químicas de agua superficial y suelo para uso agrícola en el Centro de Investigación y producción Santo Tomas – Abancay, son adecuadas para uso agrícola en términos de calidad.

2.4.2. Hipótesis específicas

- Las características físicas (pH, la turbidez, conductividad y densidad y temperatura, color) del agua superficial para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay – Apurímac, se encuentran dentro de los rangos aceptables para uso agrícola.
- Las características químicas (metales pesados nitratos, fosfatos cloruros y otros) del agua superficial para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay – Apurímac, se encuentran dentro de los rangos aceptables para uso agrícola.
- Las características físicas (materia orgánica, arena, limo y arcilla) del suelo para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay – Apurímac, se encuentran dentro de los rangos aceptables para uso agrícola.
- Las características químicas (cationes ácidos: hidrógeno, aluminio y los cationes básicos: calcio, magnesio, potasio y sodio) del suelo para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay – Apurímac, se encuentran dentro de los rangos aceptables para uso agrícola.

2.5. Variable

A) Variable 1: Características físico-químicas del agua superficial

Definición conceptual

Las características físico-químicas del agua superficial se refieren a las propiedades físicas y químicas que determinan la calidad del agua para su uso agrícola. Estas propiedades incluyen parámetros como color, temperatura, pH, conductividad eléctrica, concentración de nutrientes (nitratos, fosfatos), metales pesados y otros compuestos químicos que pueden afectar la salud del ecosistema y la productividad agrícola.

Definición operacional

Las características físico-químicas del agua superficial serán evaluadas mediante mediciones directas e indirectas de los siguientes indicadores:

Dimensiones e indicadores:

1. Caracterización física del agua:

- **Aceites y grasas:** Medida en mg/L utilizando métodos gravimétricos o espectrofotométricos.
- **Color:** Medido en unidades de Pt-Co (platino-cobalto) mediante un colorímetro.
- **Temperatura:** Medida en grados Celsius (°C) con un termómetro digital o sensor de temperatura.

2. Caracterización química del agua:

- **Bicarbonatos:** Determinados en mg/L mediante titulación ácido-base.
- **Cianuro Wad (aguas):** Medido en mg/L utilizando métodos colorimétricos o espectrofotométricos.
- **Conductividad eléctrica:** Medida en $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un conductímetro.
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Medida en mg/L mediante análisis microbiológico.
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Medida en mg/L mediante oxidación química.
- **Detergentes (S.A.A.M.):** Medidos en mg/L utilizando métodos espectrofotométricos.
- **Fenoles:** Medidos en mg/L mediante cromatografía o métodos colorimétricos.

- **Oxígeno disuelto:** Medido en mg/L con un oxímetro.
- **pH-agua:** Medido en unidades de pH con un potenciómetro.
- **Aniones (Cloruros, Nitratos, Nitritos, Fluoruros, Sulfatos):** Determinados en mg/L mediante técnicas como cromatografía iónica o métodos volumétricos.
- **Metales (Al, As, Ba, Be, B, Cd, Cu, Co, Cr, Fe, Li, Mg, Mn, Hg, Ni, Pb, Se):** Medidos en mg/L utilizando espectroscopía de absorción atómica (EAA) o espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).

B) Variable 2: Características físico-químicas del suelo agrícola

Definición conceptual

Las características físico-químicas del suelo agrícola se refieren a las propiedades físicas y químicas que influyen en la fertilidad, capacidad de retención de agua y aptitud del suelo para el desarrollo de cultivos. Estas propiedades incluyen parámetros como materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, nutrientes disponibles (fósforo, potasio, calcio, magnesio) y metales traza esenciales.

Definición operacional

Las características físico-químicas del suelo agrícola serán evaluadas mediante mediciones directas e indirectas de los siguientes indicadores:

Dimensiones e indicadores:

1. Caracterización física del suelo:

- **Materia orgánica:** Determinada en % mediante el método Walkley-Black o combustión.
- **pH:** Medido en unidades de pH utilizando un potenciómetro con electrodo específico para suelos.

2. Caracterización química del suelo:

- **Conductividad eléctrica:** Medida en dS/m con un conductímetro en una suspensión suelo-agua.

- **Carbonato de calcio (%):** Determinado mediante el método volumétrico Bernard.
- **Fósforo disponible (%):** Medido en mg/kg mediante extracción con Bray-1 o Olsen.
- **Potasio disponible (%):** Medido en mg/kg mediante extracción con acetato de amonio.
- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC):** Determinada en meq/100 g mediante métodos de saturación con bases.
- **Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Aluminio:** Medidos en meq/100 g mediante extracción con soluciones específicas y análisis por espectroscopía de absorción atómica (EAA).
- **Sulfato disponible:** Medido en mg/kg mediante extracción con agua o soluciones específicas.
- **Calcio disponible (%):** Medido en mg/kg mediante extracción con soluciones específicas.
- **Magnesio disponible (%):** Medido en mg/kg mediante extracción con soluciones específicas.
- **Zinc, Boro, Cobre disponibles:** Medidos en mg/kg mediante extracción con DTPA o soluciones específicas y análisis por espectroscopía de absorción atómica (EAA).

C) Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Índices
V1: Características físico y químico del agua superficial	Caracterización Físico del agua	Densidad Color Temperatura Turbidez Conductividad	g/cm ³ UPC °C NTU μS/cm
	Caracterización química del agua	Bicarbonatos Cianuro Wad (aguas) Conductibilidad eléctrica Demanda bioquímica del oxígeno Demanda química del oxígeno Detergentes (S.A.A.M.) Fenoles Oxígeno disuelto pH-agua Aniones Cloruros, Nitrato Nitritos Fluoruros Sulfatos Aniones por cromatografía iónica Metales: Al,As,Ba, Be, B, Cd, Cu, Co, Cr, Fe, Li, Mg, Mn, Hg, Ni, Pb, Se.	Mg/HCO ₃ /l Mg/L Ps/sg Mg/l Mg/L O ₂ Mg/l Mg/L Mg/l Unidad pH Mg/L Mg/l Mg Cl/l Mg/l Mg F/L Mg/l
V2: Características Física y química del suelo agrícola	Caracterización Físico del suelo	Materia orgánica Arena Limo Arcilla	% % % %
	Caracterización química del suelo	pH. Carbonato de calcio (%) Fósforos disponibles (%) Potasio disponible (%) Capacidad intercambio catiónico (CIC) Calcio Magnesio Sodio Potasio Aluminio Sulfato disponible Calcio disponible (%) Magnesio disponible (%) Zinc Disponible Boro disponible Cobre disponible.	u Ds/m % Mg/Kg Mg/kg Mg/100gr Mg/100gr Mg/100gr Mg/100gr Mg/100gr Mg/100gr Mg/kg Mg/kg Mg/kg Mg/kg Mg/kg

Fuente: Elaboración propia

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. Antecedentes internacionales

Galvín, Rafael (2008) en su trabajo "Características físicas, químicas y biológicas de las aguas" menciona las tres categorías de agua en la Tierra: líquida, sólida y gaseosa. Se cree que la Tierra contiene aproximadamente 1.400 millones de km de agua, de los cuales el agua dulce representa el 3%. Una serie de cambios de fase, cambios físicos, químicos y microbiológicos son responsables de la disponibilidad global de agua en la Tierra durante miles de millones de años. La ubicación física del agua subterránea juega un papel crucial en el proceso de renovación periódica que conduce a la reposición del agua del océano a través de fuentes de agua atmosférica o agua de mar. El "Ciclo Hidrológico" es un proceso donde el agua de la superficie libre de los océanos se libera a la atmósfera a través de la radiación solar.

Mancilla-Villa et al. (2021) mencionan que las principales fuentes de abastecimiento del riego agrícola mexicano es el agua subterránea, irrigando aproximadamente dos millones de hectáreas, aporta 75% del volumen de agua en zonas rurales y urbanas a nivel nacional. Estos recursos hídricos se han visto afectados por contaminantes provenientes de desechos industriales y residuales, así como el lixiviado de sustancias químicas en suelos agrícolas. Con la finalidad de evaluar las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas, se realizó el presente estudio en Zacoalco de Torres y Autlán de Navarro. Se realizaron muestreos en la temporada seca y lluviosa en 2017. Los sitios de muestreo fueron pozos profundos y norias. En total se obtuvieron 48 muestras correspondientes a las dos estaciones; en cada muestra se analizaron pH, aniones y cationes, conductividad eléctrica (CE), carbonato de sodio residual (CSR), relación de adsorción de sodio (RAS), así como la clasificación hidro geoquímica.

José Franklin Arcos-Torres (2022) caracterizó los suelos asociados con la rizosfera de mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) en las propiedades físicas - químicas y microbiológicas en los páramos de Ganquis y Cubillín de la provincia de Chimborazo.

Este estudio se realizó en los laboratorios (GIDAC), de la Facultad de Ciencias; laboratorio de Suelos y laboratorio de Ciencias Biológicas de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH mediante metodologías establecidas para el efecto. Para el análisis estadístico, se aplicó diseño de bloques completos al azar (DBCA), con dos tratamientos (localidades) y tres repeticiones, utilizando ANOVA, se determinó el coeficiente de variación y prueba de TUKEY al 5% cuando existieron diferencias significativas entre localidades. Los análisis de las propiedades físicas en las dos localidades manifiestan similitud en lo referente a textura franco arenoso, estructura granular, color gris muy oscuro en húmedo, marrón grisáceo muy oscuro en seco y temperatura, difiere en densidad aparente y humedad. Las propiedades químicas del suelo de Ganquis difieren con las de Cubillín en: materia orgánica, carbón orgánico, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno asimilable, nitrógeno total y R C/N.

Por ejemplo, un suelo con sólo 1,0% de materia orgánica nos puede aportar 17,4 kg de N por ha; aquellos con un 4 por ciento de riqueza en N pueden producir hasta 66,7 kg/ha (basado en que el porcentaje de mineralización anual es del 5,8% por hectárea de tierra). Esto resalta el valor nutricional de la materia orgánica del suelo, ya que no solo proporciona nutrientes esenciales, sino que también mejora sus características físicas y sirve como fuente de combustible para los microorganismos. Para mantener un alto contenido de materia orgánica en el suelo, es necesario añadir fertilizantes orgánicos y convertir los residuos vegetales e industriales en compost y vermicompost.

Rueda et al. (2011) mencionan que el impacto de los metales pesados en la salud humana está relacionado con su toxicidad en el medio ambiente debido a la acumulación o interacción con propiedades específicas que pueden afectar la calidad y la bioquímica del suelo. Una mejor planificación y gestión ambiental de los recursos del suelo ha sido posible en los países desarrollados estableciendo valores de referencia para estos metales, que también se han convertido en un medio para evaluar el impacto de diversas actividades agrícolas. En este artículo, los autores analizan una variedad de ideas relacionadas con las concentraciones de metales pesados en suelos agrícolas y cómo

éstas se ven afectadas por diversos aspectos del medio ambiente. En Colombia se examinan valores de referencia específicos para suelos agrícolas y se sugieren varios enfoques para preservar o recuperar los suelos del país. Actualmente no existen estándares o criterios de calidad para medir la contaminación por metales pesados en suelos agrícolas, por lo que es necesario depender de la asistencia e investigación respaldadas por el gobierno en múltiples sectores agrícolas para garantizar una producción más limpia y la sostenibilidad ambiental del recurso tierra.

Juan Ordoñez (2011), manifiesta que todos los usuarios del agua se encuentran en un punto crítico en el que enfrentan la escasez y la degradación de sus fuentes, lo que lleva a que prácticamente todo se libere al medio ambiente y vaya directamente al subsuelo, a los ríos o al océano. ¿Cuál es nuestro paso en falso? ¿Nuestra gestión no está logrando satisfacer las necesidades de miles de millones de personas y del medio ambiente? El conocimiento fundamental sobre nuestras cuencas hidrológicas es esencial para identificar y diagnosticar el agua, lo que puede ayudar a los usuarios y planificadores de recursos a establecer pautas de conservación y evaluar su uso y disponibilidad en los proyectos actuales.

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) está bajo la jurisdicción del Ministerio de Agricultura y Riego. Según la Ley de Recursos Hídricos, es a la vez el órgano rector y la máxima autoridad técnica reguladora propia. Tiene como tarea establecer normas e implementar procedimientos para la gestión sustentable de los recursos hídricos, así como crear la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos, el Plan Nacional de Recursos Aguas y el Sistema Nacional de Información. Asimismo, la ANA fue creada el 13 de marzo de 2008, mediante Decreto Legislativo N° 997 con el objetivo de gestionar, conservar, salvaguardar y explotar sustentablemente los recursos hídricos en diversas cuencas, fomentando la cultura del agua y realizando investigaciones para comprender el estado del sistema de cuencas. y gestionar los factores hidrológicos y ambientales. La Ley N° 29338 establece principios para la gestión e integración de los recursos hídricos, incluyendo el concepto de valoración y gestión del agua en relación con su valor

sociocultural, económico o ambiental. Para evaluar la calidad del agua mediante métodos de evaluación, es necesario describir la cuenca y medirla utilizando factores hidrológicos y ambientales, así como el uso de dichos recursos dentro de dicha unidad de gestión. La Política de Estado No. 33 sobre Recursos Hídricos, aprobada por el Foro de Acuerdo Nacional el 14 de agosto de 2012, resalta la necesidad de que las unidades de gestión del agua cuenten con herramientas para el estudio de las características de la cuenca y los componentes del ciclo hidrológico con el fin de preservar el agua como patrimonio nacional y el derecho de las personas a acceder a agua potable para sus generaciones futuras. De la misma manera, abogaremos por el establecimiento de una cultura del agua que se alinee con los principios y objetivos aquí planteados para aumentar la conciencia ciudadana sobre el tema como afecta al cambio climático y mejorar la eficiencia en la gestión del Estado. Uno de los objetivos específicos de una organización ANA es promover campañas de educación, difusión y concientización que reconozcan el valor del agua para la humanidad, reconociendo al mismo tiempo su importancia social, su impacto ambiental, su bienestar económico, así como su conexión con el mundo físico. condiciones. El capítulo del currículo educativo sobre la Ley de Reglamento de Recursos Hídricos destaca los esfuerzos de la Autoridad Nacional del Agua y los consejos de cuenca de recursos hídricos para promover el valor cultural del agua. Es necesario promover el valor del agua entre la población, las autoridades y los funcionarios gubernamentales en todos los niveles. En agosto de 2012 la ANA instaló y comenzó a trabajar en su propia Junta Directiva, compuesta por representantes del sector público y privado; en febrero de 2014 inició la creación de la TNRCH, organismo que resuelve diversos aspectos relacionados con la gestión del agua. En este contexto, presentamos un trabajo denominado “Gestión Integrada de los Recursos Hídricos por Cuenca y Cultura del Agua”, el cual se estructura en torno a la implementación de prácticas de gestión integrada para promover la difusión de procedimientos que permitan la comprensión de los recursos hídricos como la unidad de gestión geográfica y la Cuenta hidrológica. y parámetros ambientales, contribuyendo a la cultura del uso sustentable del agua. A través

de un riguroso proceso de investigación referencial, el trabajo está diseñado para evaluar y elegir métodos para establecer los cuatro aspectos fundamentales del derecho de los recursos hídricos en relación con la cultura del agua potable que son considerados "el patrimonio del conocimiento sobre la producción de recursos". El trabajo se ha dividido en 12 capítulos para lograr este objetivo. Los cuatro primeros capítulos iniciales de la unidad de gestión son conceptuales y abarcan los efectos del uso de los recursos naturales, como el control de la erosión, las características físicas y los factores hidrológicos que afectan la gestión del agua. Los modelos de gestión utilizados en la gestión del agua se analizan en el Capítulo cinco. Los métodos para preservar y proteger el agua en la cuenca se analizan en los capítulos seis y siete. 5. La gestión del agua de la cuenca se rige por consideraciones políticas, sociales y económicas en el Capítulo 8. Los criterios para monitorear y evaluar los proyectos de uso del agua en la cuenca se analizan en el Capítulo 9. El Capítulo 10 proporciona el marco ético y legal para la gestión del agua. El Capítulo 11 profundiza en el estado de los recursos hídricos en Perú y el Capítulo 12 proporciona un resumen de cómo se ha desarrollado el sistema de gestión integrada del país. En resumen, el libro ve la gestión del agua en una cuenca como un proceso integral continuo que comienza con la discusión de los conceptos fundamentales y pone a los lectores en contexto para abordar los problemas causados por el uso de los recursos; continúa examinando las principales características de las cuencas y los procesos físicos relacionados con la erosión/sedación y otras actividades que degradan los recursos naturales dentro de sus límites. El conocimiento de estos procesos es necesario para tomar decisiones sobre la gestión de esas estrategias, incluida la conservación, la rehabilitación y el seguimiento/evaluación en condiciones específicas.

Poma Rojas (2019) buscó "compatibilizar" los sistemas de clasificación de suelos basados en el uso mayor y potencial de los suelos en la cuenca del río Cajamarca. Los criterios incluyeron textura, capacidad de drenaje, comportamiento de reacción como la orientación de la pendiente o el nivel de pH con respecto a la erosión y las capas duras. Se sugiere una leyenda cartográfica que sea compatible con ambos sistemas de

clasificación y tenga en cuenta parámetros como material parental, textura (30 cm superiores), método de drenaje aprovechando la capacidad potencial de uso, pendiente, pedregosidad superficial de capas duras para mayor capacidad de uso.

Choque Loayza (2016) realizó su tesis de investigación en la comunidad de Luricocha durante un período de 7 meses. Se utilizó un diseño de investigación no experimental y método descriptivo correlacional, con una población encuestada de 130.02 km² y muestra como censal porque el territorio está enteramente cubierto por esa población. utilizado como hoja de observación, que a su vez también había sido probada. Se ha descubierto que los factores demográficos, incluidas la población y la vivienda, son los principales impulsores de importantes distorsiones en el uso de la tierra. La clasificación se logró con 5 categorías, lo que indica que las tierras con cultivo protector disminuyeron y los oasis cubiertos de pastoreo experimentaron una mayor distorsión.

Tonconi Quispe, J. (2015) demuestra en su artículo cómo el cambio climático afecta la producción agrícola de alimentos mediante el uso de análisis de cointegración e información del enfoque de la función de producción para cuantificar los efectos de los cambios climáticos en los productores de Puno, Perú. El modelo econométrico indica que los cultivos de papa, frijol y maíz han reducido sus rendimientos debido a factores relacionados con el clima, mientras que los cultivos de quinua y caihua siguen siendo rentables. Considerando una tasa de descuento de sólo el 2 por ciento en el peor de los casos, para 2035, estas pérdidas por el cambio climático en la agricultura alimentaria serían de alrededor del 0,58 por ciento (en el PIB de 2010 como en el PIB de 2011), o alrededor de 20 millones de dólares estadounidenses. Los impactos negativos del Modelo Ricardiano se fundamentan en el hecho de que un aumento de la temperatura media provocaría una pérdida de beneficios económicos de 320 dólares por hectárea, mientras que la adaptación al cambio climático supondría una reducción del 43,93% de las pérdidas en los escenarios más severos.

El protocolo Nacional para el Monitoreo de los Recursos Hídricos Superficiales, que fue aprobado por la ANA como resolución titular N°010-2016-ANA de 2016 establece los

procedimientos para el monitoreo de la calidad del agua a través de muestreos. Este protocolo elaborado por la Autoridad Nacional del Agua ayuda a eliminar los errores haciendo que los datos obtenidos sean más confiables permitiendo establecer el tratamiento y control adecuado a los cuerpos de agua.

La tesis de Poma Soto et al. (2016), "Evaluación del Análisis Químico del Agua, por Método Colorimétrico en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás – UTEA Abancay" analiza un fundo que se ubica a una altitud de 1813 m.s.n.m. en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás – Pachachaca, justo al lado derecho de la carretera Abancay – Andahuaylas, en el kilómetro 1,5 al oeste. En lugar de emplear un diseño estadístico, el trabajo de investigación es descriptivo y experimental, con análisis químicos realizados internamente utilizando histogramas. No hubo muchas diferencias entre las muestras de agua recolectadas en cada lugar durante el período de muestreo y el sistema de distribución. Esto estuvo condicionado por el pH del agua. El resto de medidas evaluadas determinan la calidad del agua y su idoneidad para el riego agrícola, lo que se traduce en su libre utilización. El dispositivo se utiliza para medir parámetros de agua agrícola, agua potable y agua industrial utilizando el colorímetro portátil DR 9900 con fuente LED que tiene longitudes de onda de 420, 560 y 610 nanómetros. Viene con todos los programas preinstalados y accesibilidad al programa de usuario. Esta tecnología está disponible para su uso en diversas aplicaciones.

La FAO (1997), manifiesta sobre las herramientas modernas para establecer el uso del suelo en una determinada región, están los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales se refieren a la integración de sistemas de cómputo y datos geográficos mediante los cuales se analizan y gestionan grandes volúmenes de datos estadísticos, espaciales y temporales (Gutiérrez y Gould 2000). Los sistemas de información geográfica (SIG) han surgido como poderosas herramientas para la manipulación y análisis de datos que son necesarios para generar, de una forma flexible, versátil e integrada, productos de información, ya sean mapas o informes para la toma de decisiones sobre el uso de tierras (Sombroek 1994). El almacenamiento de esta

información cartográfica permite la creación de mapas en una diversidad de formas, de acuerdo con una necesidad o problemática específica. Adicionalmente, mediante los SIG se logra obtener datos e imágenes de la cubierta vegetal y usos del territorio, los cuales permiten una rápida y eficiente monitorización de los cambios y riesgos.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. El agua superficial para uso agrícola

El agua es probablemente el compuesto químico más conocido en la experiencia humana, y también el más necesario. Ciencias tan diversas como la bioquímica, la meteorología y la geología requieren el conocimiento de las propiedades del agua y de las soluciones acuosas. En la industria, el agua es una parte importante de muchos procesos, y la comprensión de sus propiedades es a menudo necesaria para el diseño y la optimización, en particular en industrias basadas en fluidos (Harvey & Friend, 2004). En el mundo, el agua subterránea provee 36% del abastecimiento de agua potable, 43% se destina a la agricultura de riego y 24 al uso industrial, mientras que asumimos que sólo el agua superficial se utiliza para el ganado y para la refrigeración de las plantas de energía térmica (Döll et al., 2012).

3.2.1.1. Caracterización del agua superficial para uso agrícola

a) Propiedades físicas

Las propiedades físicas del agua son fundamentales para evaluar su calidad y adecuación para uso agrícola. Posee una alta capacidad calorífica, lo que le permite absorber una gran cantidad de calor sin que su temperatura se incremente significativamente. Para elevar la temperatura de un gramo de agua en 1 °C, se requiere una caloría. Gracias a esta característica, es necesario un gran aporte de calor para modificar de manera notable la temperatura de una masa de agua. Como resultado, los cuerpos de agua ayudan a estabilizar la temperatura de las regiones cercanas, evitando cambios bruscos que podrían afectar a los organismos acuáticos. Además, dado que aproximadamente el 80 % del contenido celular es agua, esta propiedad también protege

a las moléculas disueltas en ella; cuenta con un elevado calor latente de fusión, lo que le permite mantener estable la temperatura de los cuerpos de agua cuando se congela. Esta propiedad reduce el impacto de las temperaturas bajas en los ecosistemas acuáticos, preservando la vida en su interior. Asimismo, otra característica destacada es su elevada tensión superficial, lo que le otorga cohesión y elasticidad. Esto provoca que el agua forme gotas en lugar de dispersarse en una película delgada. Además, esta propiedad es clave para la acción capilar, permitiendo su movimiento y el transporte de sustancias a través de las raíces de las plantas y los vasos capilares del organismo. Parámetros como la temperatura, turbidez, conductividad eléctrica y pH son particularmente relevantes, ya que afectan directamente la salud del suelo, la eficiencia del riego y el desarrollo de los cultivos. Monitorear estas propiedades permite tomar decisiones informadas sobre la gestión del agua en sistemas agrícolas (Cirelli, 2012).

b) Propiedades químicas

Tabla 2

Propiedades químicas del agua

Propiedades químicas	Descripción
Composición iónica	Presencia de cationes (Ca^{2+} Mg^{2+} Na^+ K^+) y aniones (HCO_3^- SO_4^{2-} Cl^-). - Determina la calidad del agua para riego. - Altas concentraciones de Na^+ o Cl^- pueden afectar negativamente el suelo y los cultivos.
Salinidad total	Medida de la cantidad total de sales disueltas en el agua (expresada en mg/L o dS/m). - Salinidad alta puede causar salinización del suelo y reducir la productividad de cultivos sensibles.
Relaciones iónicas	Relaciones típicas: Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+ y HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^- . - Indica riesgos como sodificación (exceso de Na^+) o acumulación de sales.
Comportamiento conservativo	Iones como K^+ y Cl^- presentan pequeñas variaciones en su concentración. - Útil para monitorear la calidad del agua. - Altos niveles de Cl^- pueden ser tóxicos para ciertos cultivos.
Dependencia de procesos biológicos y físico-químicos	Concentraciones de HCO_3^- SO_4^{2-} y Ca^{2+} dependen de procesos como precipitación-disolución metabolismo microbiano y clima. - Afecta la disponibilidad de nutrientes y la estructura del suelo. - Altos niveles de HCO_3^- pueden aumentar el pH del agua.
Elementos minoritarios	Silicio (Si) nitrógeno (N) fósforo (P) y hierro (Fe) tienen importancia biológica. - Esenciales para el crecimiento de plantas. - Su rápida dinámica requiere un manejo cuidadoso para evitar deficiencias o contaminación.
Alcalinidad ($\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$)	Capacidad del agua para neutralizar ácidos debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos. - Agua alcalina puede formar incrustaciones en sistemas de riego. - Afecta la solubilidad de nutrientes en el suelo.
Dureza (Ca^{2+} y Mg^{2+})	Medida de la concentración de iones de calcio y magnesio en el agua. - Agua dura puede formar depósitos minerales en sistemas de riego. - Beneficia la estructura del suelo al mejorar su permeabilidad.
Contenido de nutrientes (N, P)	Presencia de nitrógeno (nitratos NO_3^-) y fósforo (fosfatos PO_4^{3-}) en el agua. - Importante para la nutrición vegetal. - Excesos pueden causar eutrofización en cuerpos de agua cercanos.
Metales pesados	Presencia de elementos tóxicos como plomo (Pb) cadmio (Cd) arsénico (As) etc. - Metales pesados pueden acumularse en el suelo y afectar la salud de las plantas y los consumidores finales.
pH del agua	Medida de la acidez o alcalinidad del agua (escala de 0 a 14). - pH óptimo para riego: 6.5–8.4. - Valores fuera de este rango afectan la disponibilidad de nutrientes y la salud del suelo.
Conductividad Eléctrica (CE)	Mide la capacidad del agua para conducir electricidad relacionada con la concentración de sales. - CE alta indica alta salinidad lo que puede limitar el uso agrícola del agua.

Fuente:(Cirelli, 2012)

El agua tiene propiedades inesperadas. Por ejemplo, las moléculas simples, H_2S , NH_3 , HF , existen todas en forma gaseosa. Hasta ahora, se han asociado un total de 72 comportamientos fisicoquímicos anormales con el agua (Shu et al., 2020). La principal

fuentes de agua subterránea para los manantiales de la región son las lluvias que se producen durante los meses de otoño y principios de verano.

3.2.1.2. Calidad del agua superficial para uso agrícola

La calidad de agua implica los atributos físicos, químicos y biológicos que determinan su condición. La conductividad eléctrica del agua se puede atribuir a la presencia de sales disueltas. Esto se conoce como conducción eléctrica. La conductividad eléctrica se ve afectada por las características físicas del agua y el vertido de aguas residuales, que normalmente contienen iones que no se eliminaron durante la purificación. (Najah Ahmed et al., 2019).

Una de las actividades económicas más comunes y lucrativas en Perú es la minería, que representa una parte significativa de la inversión, las exportaciones, los ingresos fiscales y el empleo del país. Hay ocho minerales que constituyen los principales productos básicos mineros exportados entre el 2011 y 2015, que son oro, plata, cobre, zinc, plomo, estaño, hierro y molibdeno (Osignermin, 2016). Sin embargo, esta actividad también ha traído consigo un aumento de conflictos sociales por inconformidades o contradicciones entre los grupos de interés, además de ellos la problemática de las mineras informales afectan el agua superficial y por ende los cultivos agrícolas de las cuencas hídricas.

3.2.1.3. Componentes que determinan la calidad del agua

- a) Aceites y grasas:** La naturaleza insoluble de los aceites y grasas en agua hace que interfieran con la actividad biológica, dificulten el mantenimiento y no presenten riesgos biodegradables. También se adhieren al agua al contacto debido a sus propiedades iridiscentes que dificultan su descomposición y causan daños (Romero 27 Rojas, 2005).
- b) Bicarbonatos:** El bicarbonato es un ion que afecta el nivel de pH del agua. La descomposición de las rocas provoca la formación de bicarbonatos en las aguas superficiales, lo que está relacionado con su nivel de pH específico. Esto ocurre de forma natural. (García et al., 2001).

- c) Cloruros:** El sabor salado de líquidos como el agua se atribuye a la presencia de cloruro como parámetro. Esto se debe a las concentraciones que superan los 250 mg/l, las personas pueden sentir su sabor salado, pero a veces pueden acostumbrarse a niveles bajos. (Organización Mundial de la Salud, 2018).
- d) Coliformes termo tolerantes:** Las coliformes tienen características similares, pero pueden fermentar lacto a temperaturas de 44 a 45 °C, donde predomina la bacteria E coli. (Organización Mundial de la Salud, 2018).
- e) Conductividad eléctrica:** La conductividad eléctrica se ve afectada por las características físicas del agua y el vertido de aguas residuales, que normalmente contienen iones que no se eliminaron durante la purificación (Fernández Cirelli, 2012).
- f) Contaminación:** Es la introducción nociva en el medio ambiente de altas concentraciones de elementos físicos, químicos o microbiológicos y se combinan con otras sustancias o elementos, la contaminación puede ser perjudicial tanto para la salud de las personas como para el medio ambiente en general. (Schoemaker, 2017).
- g) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5):** Es la cantidad de oxígeno necesaria para que los organismos aeróbicos descompongan los componentes orgánicos del agua y se mide analizando la temperatura y los intervalos de tiempo específicos (Masrur Ahmed & Ali Shah, 2017).
- h) Demanda química de oxígeno (DQO):** Se refiere a la cantidad de oxígeno que es necesario para descomponer la materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua (Comisión Nacional del Agua, 2018).
- i) Estándares de Calidad Ambiental:** Para garantizar la seguridad y calidad de vida tanto de las personas como del medio ambiente, se utilizan estándares de calidad ambiental para determinar la concentración de parámetros físicos (químicos) y biológicos en el agua, el aire y el suelo como cuerpo receptor. La

concentración se puede expresar como rangos, máximo o menos según el parámetro en cuestión (MINAM, 2012).

- j) Nitratos:** Son los productos químicos que se utilizan como fertilizantes. Los niveles de nitrato en los cuerpos de agua son bajos, pero aumentan como resultado de fugas provocadas por el hombre y prácticas agrícolas. (Organización Mundial de la Salud, 2006).
- k) Oxígeno disuelto:** El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno necesaria para la vida acuática y es un claro indicio de contaminación del agua." Cuando hay una baja concentración, puede alterar la estructura de los ambientes marinos y provocar la muerte o el ostracismo de los peces, entre otros problemas. El equilibrio constante entre los procesos fisicoquímicos y biológicos conduce a la formación de oxígeno disuelto en un ambiente acuático (Csábrági et al., 2019).
- l) Parámetros físicos:** Los parámetros fisiológicos son aquellos que se pueden percibir a través de los sentidos y juegan un papel crucial en la comprensión de las condiciones y la aceptación del agua (Barrenechea Martel et al., 2004).
- m) Parámetros microbiológicos:** Los parámetros microbiológicos incluyen la presencia de virus, bacterias y parásitos en el agua que suponen un riesgo para la salud humana. (Organización Mundial de la Salud, 2006).
- n) Parámetros químicos:** Dado que el agua es un disolvente universal, las concentraciones de sustancias y productos químicos están determinadas por parámetros químicos. (Sierra Ramírez, 2011).
- o) Potencial de hidrógeno (pH):** Es la medición de la acidez o base del agua expresándose con un valor numérico que varía entre 0 a 14 siendo 7 el valor neutral mientras los valores que 0 indica acidez y 14 indica base, el pH se ve afectado por la presencia de compuestos químicos que están disueltos en el agua; para los cuerpos de agua naturales el pH suele estar entre 6,5 y 8,5,

con el vertimiento de sustancias al agua el pH puede estar fuera del rango (García et al., 2001).

- p) Sulfatos:** Los sulfatos se encuentran de forma natural en cuerpos de agua superficiales e influyen en la salinidad del agua. En altas concentraciones pueden alterar el agua haciendo que tenga un sabor amargo (Barrenechea Martel et al., 2004).

3.2.2. El suelo para uso agrícola

El suelo es un recurso natural dinámico y complejo que desempeña un papel fundamental en la agricultura, ya que actúa como soporte físico para las plantas, almacén de agua y nutrientes, y medio para el intercambio de gases. Su calidad y características determinan la productividad agrícola y la sostenibilidad del ecosistema. En este contexto, el análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo es esencial para evaluar su aptitud agrícola y garantizar prácticas agrícolas eficientes.

3.2.2.1. Características del suelo para uso agrícola

Las características del suelo para uso agrícola se pueden clasificar en **físicas**, **químicas** y, en menor medida, **biológicas**. A continuación, se profundiza en cada una de estas categorías, incluyendo niveles y subniveles, con referencias en formato APA.

1. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo están relacionadas con su textura, estructura, densidad, porosidad y capacidad de retención de agua. Estas características afectan directamente la aireación, drenaje y disponibilidad de nutrientes para las plantas.

1.1. Textura del suelo

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de partículas de arena, limo y arcilla en el suelo. Es un factor clave porque influye en la capacidad de retención de agua, aireación y drenaje (Brady & Weil, 2017).

- **Arena:** Partículas grandes (0.05–2 mm) que favorecen el drenaje pero tienen baja capacidad de retención de agua y nutrientes.

- **Limo:** Partículas intermedias (0.002–0.05 mm) que mejoran la retención de agua y nutrientes.
- **Arcilla:** Partículas pequeñas (<0.002 mm) que aumentan la capacidad de retención de agua y nutrientes, pero pueden limitar el drenaje si están en exceso.

Según la FAO (2015), los suelos con una textura equilibrada (franco) son ideales para la agricultura debido a su capacidad para retener agua y nutrientes mientras permiten un buen drenaje.

1.2. Materia orgánica

La materia orgánica es un componente esencial del suelo, ya que mejora la estructura, la capacidad de retención de agua y nutrientes, y promueve la actividad biológica (Lal, 2016). Además, contribuye a la estabilidad del pH y reduce la compactación del suelo. La materia orgánica también actúa como reservorio de carbono, lo que es crucial para mitigar el cambio climático (FAO, 2017).

1.3. Densidad aparente

La densidad aparente mide la masa de suelo por unidad de volumen y está relacionada con la compactación. Un suelo muy compactado puede limitar el crecimiento de raíces y la infiltración de agua (Hillel, 2004). Valores típicos de densidad aparente varían entre 1.0 y 1.6 g/cm³, dependiendo del tipo de suelo.

1.4. Capacidad de retención de agua

Esta propiedad depende de la textura, estructura y contenido de materia orgánica. Los suelos con buen drenaje y alta capacidad de retención son ideales para la agricultura (Brady & Weil, 2017).

2. Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo están relacionadas con su capacidad para proporcionar nutrientes esenciales a las plantas y mantener un equilibrio adecuado de elementos químicos.

2.1. pH del suelo

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad del suelo y afecta la disponibilidad de nutrientes (Sparks, 2003).

- Un pH entre 6.0 y 7.5 es generalmente óptimo para la mayoría de los cultivos.
- Suelos ácidos (pH < 6.0) pueden tener deficiencias de calcio, magnesio y fósforo, mientras que suelos alcalinos (pH > 7.5) pueden reducir la disponibilidad de micronutrientes como hierro, manganeso y zinc.

2.2. Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica mide la concentración de sales solubles en el suelo. Altos niveles de salinidad pueden ser perjudiciales para las plantas, ya que afectan la absorción de agua y nutrientes (USDA, 2018). Valores de CE superiores a 4 dS/m indican suelos salinos.

2.3. Carbonatos de calcio (CaCO₃)

Los carbonatos de calcio son importantes para la neutralización de la acidez del suelo. Sin embargo, suelos con altos contenidos de CaCO₃ pueden limitar la disponibilidad de ciertos micronutrientes (Lindsay, 1979).

2.4. Nutrientes disponibles

Los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas incluyen:

- **Macronutrientes primarios:** Nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).
- **Macronutrientes secundarios:** Calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S).
- **Micronutrientes:** Hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo) y cloro (Cl).

La disponibilidad de estos nutrientes depende del pH, la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Marschner, 2012).

2.5. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La CIC mide la capacidad del suelo para retener y liberar cationes (como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+) que son esenciales para las plantas. Suelos con alta CIC, como los arcillosos, tienen mayor capacidad para almacenar nutrientes (Sparks, 2003).

2.6. Metales pesados

La presencia de metales pesados (como plomo, cadmio y arsénico) en el suelo puede ser tóxica para las plantas y los organismos vivos. Es importante monitorear su concentración para evitar contaminación (Alloway, 2013).

3. Relación entre las propiedades físicas y químicas

Las propiedades físicas y químicas del suelo están interrelacionadas y afectan mutuamente su calidad agrícola. Por ejemplo:

- La textura influye en la capacidad de retención de nutrientes y agua.
- El pH afecta la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana.
- La materia orgánica mejora tanto las propiedades físicas (estructura, porosidad) como químicas (retención de nutrientes, neutralización de pH) (Brady & Weil, 2017).

4. Importancia del análisis del suelo para uso agrícola

El análisis del suelo es una herramienta esencial para:

- Determinar la fertilidad del suelo y ajustar las dosis de fertilizantes.
- Identificar problemas como salinidad, acidez o toxicidad por metales pesados.
- Diseñar estrategias de manejo sostenible del suelo, como rotación de cultivos, enmiendas orgánicas y conservación del agua (FAO, 2015).

3.3. Definición de términos

1. **Agua superficial.** El agua superficial se define como el agua que fluye o se acumula en la superficie terrestre, como ríos, lagos, estanques o canales (FAO,

2020). En el contexto de esta investigación, se refiere al agua disponible para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás.

2. **Suelo agrícola.** El suelo agrícola es aquel utilizado específicamente para actividades agrícolas, caracterizado por propiedades físicas, químicas y biológicas que permiten el crecimiento de cultivos (Brady & Weil, 2017). Su calidad depende de factores como textura, nutrientes disponibles y pH.
3. **Textura del suelo.** La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de partículas de arena, limo y arcilla presentes en el suelo (USDA, 2018). Esta propiedad influye en la capacidad de retención de agua, aireación y drenaje, lo que afecta directamente la productividad agrícola.
4. **Materia orgánica.** La materia orgánica es el componente del suelo formado por restos vegetales y animales en descomposición (Lal, 2016). Mejora la estructura del suelo, aumenta la capacidad de retención de agua y nutrientes, y promueve la actividad microbiana.
5. **pH.** El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una sustancia, expresada en una escala de 0 a 14 (Sparks, 2003). En el caso del agua y el suelo, el pH afecta la disponibilidad de nutrientes y la salud de los cultivos. Un pH neutro (7) es generalmente óptimo para la mayoría de los cultivos.
6. **Conductividad eléctrica (CE).** La conductividad eléctrica (CE) es una medida de la capacidad de una solución para conducir electricidad, expresada en decisiemens por metro (dS/m) (USDA, 2018). En el suelo y el agua, la CE indica la concentración de sales solubles. Altos niveles de salinidad pueden ser perjudiciales para las plantas.
7. **Capacidad de intercambio catiónico (CIC).** La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la capacidad del suelo para retener y liberar cationes (como calcio, magnesio, potasio y sodio) que son esenciales para las plantas (Sparks, 2003). Los suelos con alta CIC tienen mayor capacidad para almacenar nutrientes.

- 8. Nutrientes disponibles.** Los nutrientes disponibles son los elementos químicos presentes en el suelo o agua que las plantas pueden absorber fácilmente para su crecimiento y desarrollo (Marschner, 2012). Incluyen macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio) y micronutrientes (hierro, zinc, boro).
- 9. Metales pesados.** Los metales pesados son elementos químicos tóxicos que pueden estar presentes en el agua o el suelo, como plomo, cadmio, arsénico y mercurio (Alloway, 2013). Su presencia en altas concentraciones puede ser perjudicial para la salud humana, animal y vegetal.
- 10. Turbidez.** La turbidez es una medida de la claridad del agua, determinada por la cantidad de partículas suspendidas en ella (Hillel, 2004). La turbidez afecta la penetración de luz en el agua y puede ser un indicador de contaminación o erosión.

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

En primer lugar, el tipo de investigación se clasifica según el propósito y enfoque del estudio. En tu caso, la investigación puede considerarse aplicada, ya que busca resolver un problema práctico relacionado con la evaluación de las características físico-químicas del agua superficial y el suelo para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás (Hernández-Sampieri, Fernández-Collado, & Baptista-Lucio, 2014). Este enfoque aplicado tiene como objetivo mejorar la productividad agrícola y garantizar una gestión sostenible de los recursos naturales. Además, tu investigación es predominantemente descriptiva, ya que incluye la medición y análisis de variables específicas, como pH, conductividad eléctrica, nutrientes disponibles y metales pesados, para caracterizar la calidad del agua y el suelo. También presenta un enfoque cuantitativo, dado que los indicadores son medibles y cuantificables, lo que permite un análisis numérico y estadístico de los datos recolectados.

4.1.2. Nivel de investigación

Por otro lado, el nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con el que se aborda el problema. Tu trabajo puede clasificarse principalmente como descriptivo, ya que describe detalladamente las propiedades físico-químicas del agua y el suelo en el área de estudio. Sin embargo, también tiene un componente correlacional, si analizas cómo estas propiedades están relacionadas con la aptitud agrícola del suelo y el agua. Además, si pruebas hipótesis específicas sobre la calidad de estos recursos para uso agrícola, tu investigación adquiere un nivel explicativo, ya que busca identificar causas o explicaciones sobre la idoneidad de estos recursos para la agricultura (Sabino, 1992). Este enfoque explicativo es clave para determinar si las características evaluadas cumplen con los estándares requeridos para uso agrícola.

4.1.3. Metodología de la investigación

El presente estudio siguió un enfoque cuantitativo, caracterizado por el uso de mediciones precisas y análisis estadístico de datos. La metodología se dividió en varias etapas clave para garantizar la recolección, procesamiento y evaluación de las características físico-químicas del agua superficial y el suelo agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás.

En primer lugar, se realizó una fase de muestreo para recolectar muestras representativas de agua superficial y suelo. Para el agua, se seleccionaron puntos estratégicos dentro del área de estudio, considerando factores como la cercanía a fuentes de posible contaminación y su relevancia para actividades agrícolas. Las muestras de suelo se tomaron en diferentes profundidades (por ejemplo, 0-20 cm) utilizando técnicas estándar, como el método de muestreo sistemático o aleatorio estratificado, dependiendo de la variabilidad del terreno. Todas las muestras fueron etiquetadas y transportadas bajo condiciones controladas para evitar alteraciones en sus propiedades.

Posteriormente, se procedió a la caracterización físico-química de las muestras en laboratorio. Para el agua superficial, se analizaron parámetros físicos como pH, turbidez, conductividad eléctrica, temperatura, color y densidad, utilizando equipos calibrados como potenciómetros, turbidímetros y conductímetros. Además, se evaluaron parámetros químicos, como la concentración de metales pesados (plomo, cadmio, arsénico, etc.), nitratos, fosfatos, cloruros y otros compuestos, mediante técnicas como espectroscopía de absorción atómica (EAA) y cromatografía iónica. En el caso del suelo, se determinaron propiedades físicas como textura (arena, limo y arcilla), materia orgánica y densidad aparente, utilizando métodos como sedimentación, combustión y tamizado. Las propiedades químicas incluyeron pH, conductividad eléctrica, nutrientes disponibles (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, etc.) y capacidad de intercambio catiónico (CIC), empleando técnicas como extracción con soluciones específicas y análisis por espectroscopía.

Una vez obtenidos los datos, se realizó un análisis estadístico para interpretar los resultados. Se utilizaron herramientas estadísticas descriptivas (medias, desviaciones estándar, rangos) y, en algunos casos, análisis inferenciales (como pruebas de correlación o comparación de medias) para evaluar si las características del agua y el suelo cumplen con los estándares requeridos para uso agrícola. Los resultados se compararon con normativas nacionales e internacionales, como las establecidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y otras instituciones relevantes.

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Ámbito temporal

El presente trabajo de investigación se desarrolló durante un período de cuatro meses, comprendido entre septiembre y diciembre del año 2023. Este lapso permitió realizar las actividades necesarias para alcanzar los objetivos propuestos, incluyendo la recolección de muestras de agua superficial y suelo, el análisis en laboratorio de sus características físico-químicas y la interpretación de resultados. La elección de este período temporal consideró factores como las condiciones climáticas de la región, que influyen en la disponibilidad y calidad del agua superficial, así como en las propiedades del suelo agrícola.

4.2.2. Ámbito espacial

El estudio se llevó a cabo en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, ubicado en el distrito de Pichirhua, provincia de Abancay, región Apurímac, en el país de Perú. Esta área fue seleccionada debido a su importancia como centro de producción agrícola y su relevancia en la investigación aplicada al desarrollo sostenible de recursos naturales.

Desde el punto de vista geográfico, el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás está situado en una zona estratégica dentro de la región Apurímac, caracterizada por su diversidad de ecosistemas y su potencial agrícola. La región Apurímac se encuentra en la vertiente occidental de los Andes peruanos, con altitudes que varían

entre los valles interandinos y zonas más bajas, lo que influye en las características del agua superficial y el suelo. El clima predominante en la zona es templado a frío, con precipitaciones estacionales que afectan directamente la dinámica hídrica y edáfica (suelo). Estas condiciones geográficas y climáticas fueron consideradas en el diseño metodológico del estudio, ya que impactan en la calidad y aptitud agrícola de los recursos evaluados.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población de estudio estuvo conformada por dos componentes principales: las fuentes de agua superficial y el suelo agrícola presentes en el área del Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, ubicado dentro de las 320 hectáreas de terreno que posee la Universidad Tecnológica de los Andes. En total, se identificaron 6 fuentes de agua distribuidas en esta extensión, las cuales constituyen la población relacionada con el agua superficial. Por otro lado, la población asociada al suelo abarcó la totalidad de las 320 hectáreas disponibles para uso agrícola.

4.3.2. Muestra

Para cumplir con los objetivos del estudio, se seleccionó una muestra representativa tanto para el agua como para el suelo. A continuación, se detalla la distribución de la muestra:

Agua

Se tomaron **6 muestras de agua**, correspondientes a las siguientes fuentes:

1. Mánate Tinkuq wuayqu
2. Manante Carrizal
3. Manante Consuyluyuq wuayqu
4. Manante Torrechayuq - Paqpa - Pata
5. Manante Cascajal
6. Manante Higuschayuq

El muestreo utilizado para el agua fue de tipo **no probabilístico**, ya que las fuentes seleccionadas fueron escogidas intencionalmente debido a su relevancia en términos de disponibilidad, uso agrícola y representatividad dentro del área de estudio. Este enfoque permitió garantizar que las muestras fueran lo suficientemente informativas para evaluar las características físico-químicas del agua superficial.

Suelo

En el caso del suelo, se recolectaron **5 muestras** de diferentes sectores del terreno, distribuidas de la siguiente manera:

1. Pampa Esperanza I
2. Pampa Esperanza II
3. Parcela Consuyluyuq
4. Parcela Invernadero (la parte alta)
5. Parcela al lado del Módulo Académico (la parte alta)

El muestreo del suelo fue de tipo **no probabilístico por conveniencia**, seleccionando áreas específicas que presentaban variabilidad en sus características edáficas (textura, contenido de materia orgánica, nutrientes disponibles, etc.). Esta estrategia permitió cubrir diferentes zonas del terreno, asegurando una representación adecuada de las condiciones del suelo en el área de estudio.

4.3.3. Muestreo

Para el muestreo se ha tomado un enfoque no probabilístico utilizado tanto para el agua como para el suelo, esto se justifica por la naturaleza específica del estudio y las limitaciones logísticas asociadas a la recolección de muestras en un área extensa como las 320 hectáreas del terreno. Además, la selección de puntos estratégicos permitió centrar los esfuerzos en áreas de mayor relevancia para el uso agrícola, optimizando los recursos disponibles y garantizando resultados útiles para la toma de decisiones.

4.4. Instrumentos

Para llevar a cabo esta investigación, se emplearon diversos instrumentos y equipos técnicos que permitieron medir, analizar y evaluar las características físico-químicas del

agua superficial y el suelo agrícola. A continuación, se detallan los instrumentos utilizados para cada componente del estudio:

1. Instrumentos para el Análisis del Agua Superficial

El análisis de las propiedades físico-químicas del agua superficial requirió el uso de instrumentos especializados para garantizar mediciones precisas y confiables. Los principales instrumentos utilizados fueron:

- **Potenciómetro:** Este equipo se utilizó para medir el **pH** del agua, lo que permitió determinar su nivel de acidez o alcalinidad. Es fundamental para evaluar la aptitud del agua para uso agrícola.
- **Conductímetro:** Se empleó para medir la **conductividad eléctrica (CE)**, indicador de la concentración de sales solubles en el agua. Valores elevados de CE pueden afectar negativamente el crecimiento de los cultivos.
- **Turbidímetro:** Este instrumento permitió medir la **turbidez** del agua, es decir, la cantidad de partículas suspendidas. La turbidez es un indicador indirecto de la calidad del agua y puede estar relacionada con procesos de erosión o contaminación.
- **Termómetro digital:** Se utilizó para registrar la **temperatura** del agua, un parámetro que influye en la solubilidad de gases y nutrientes, así como en los procesos biológicos asociados al agua.
- **Colorímetro:** Este equipo permitió medir el **color** del agua, lo cual puede ser indicativo de la presencia de compuestos orgánicos o inorgánicos disueltos.
- **Espectrofotómetro de absorción atómica (EAA):** Se utilizó para cuantificar la concentración de **metales pesados** (como plomo, cadmio, arsénico, etc.) y otros elementos químicos presentes en el agua.
- **Cromatógrafo iónico:** Este instrumento permitió identificar y cuantificar los **aniones** (cloruros, nitratos, sulfatos, etc.) presentes en el agua.

- **Kit de análisis químico portátil:** Para algunos parámetros, como **aceites y grasas, detergentes (S.A.A.M.)** y **oxígeno disuelto**, se utilizaron kits de análisis químico portátiles que permiten realizar mediciones rápidas y precisas en campo.

2. Instrumentos para el Análisis del Suelo Agrícola

El análisis de las propiedades físico-químicas del suelo también requirió el uso de instrumentos específicos para obtener datos confiables. Los principales instrumentos utilizados fueron:

- **Balanza analítica:** Se utilizó para medir la masa de las muestras de suelo y calcular parámetros como la **densidad aparente** y el contenido de **materia orgánica**.
- **Potenciómetro para suelos:** Este equipo permitió medir el **pH del suelo**, un indicador clave de la acidez o alcalinidad que afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
- **Conductímetro para suelos:** Se empleó para medir la **conductividad eléctrica** del suelo, lo que proporciona información sobre la concentración de sales solubles y su impacto en la productividad agrícola.
- **Tamices estándar:** Estos instrumentos se utilizaron para determinar la **textura del suelo** mediante el método de tamizado, separando las partículas de arena, limo y arcilla.
- **Equipo de extracción con soluciones específicas:** Se utilizó para extraer nutrientes disponibles (como fósforo, potasio, calcio, magnesio, etc.) del suelo antes de su análisis en laboratorio.
- **Espectrofotómetro de absorción atómica (EAA):** Este equipo permitió medir la concentración de **nutrientes disponibles** (nitrógeno, fósforo, potasio, etc.) y **metales traza** (hierro, zinc, cobre, etc.) en las muestras de suelo.
- **Método Walkley-Black:** Este método, implementado con equipos de laboratorio, se utilizó para determinar el contenido de **materia orgánica** en el suelo.

- **Equipo de cromatografía iónica:** Se empleó para analizar la presencia de aniones (como sulfatos) en el suelo.
- **Medidor de carbonatos de calcio (CaCO_3):** Este instrumento permitió cuantificar el contenido de **carbonatos de calcio**, un parámetro importante para evaluar la neutralización de la acidez del suelo.

3. Software y Herramientas de Procesamiento de Datos

Además de los instrumentos físicos, se utilizaron herramientas computacionales para el análisis estadístico y la interpretación de los resultados:

- **Software estadístico (SPSS o Excel):** Se empleó para organizar los datos, realizar análisis descriptivos (medias, desviaciones estándar, etc.) y generar gráficos que facilitaran la interpretación de los resultados.
- **Sistemas de Información Geográfica (SIG):** En caso de que se haya realizado un análisis espacial de las muestras de agua y suelo, se utilizó software SIG para mapear la distribución de las propiedades evaluadas.

4.5. Procedimientos

El procedimiento de la investigación se desarrolló en varias etapas secuenciales, asegurando un enfoque sistemático y organizado para alcanzar los objetivos planteados.

A continuación, se describe detalladamente cada una de estas etapas:

1. Etapa de planificación y diseño del estudio: En esta fase inicial, se definieron los objetivos, las hipótesis y el alcance del estudio. Además, se identificaron las fuentes de agua y las áreas de suelo que serían muestreadas, considerando su relevancia para el uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás.

2. Recolección de muestras:

- Para el **agua superficial**, se seleccionaron 6 fuentes estratégicas distribuidas en las 320 hectáreas del terreno. Las muestras fueron recolectadas en recipientes limpios y estériles, siguiendo protocolos estándar para evitar contaminación. Se

registraron datos in situ, como pH, temperatura y conductividad eléctrica, utilizando instrumentos portátiles (potenciómetro, conductímetro y termómetro digital).

- Para el **suelo agrícola**, se tomaron 5 muestras representativas de diferentes sectores del terreno, incluyendo zonas como Pampa Esperanza I, Parcela Consuyuyuq y otras áreas clave. Las muestras fueron recolectadas a profundidades específicas (por ejemplo, 0-20 cm) utilizando herramientas como barrenos y espátulas. Cada muestra fue etiquetada y transportada al laboratorio bajo condiciones controladas.

3. Análisis en laboratorio:

- Las muestras de **agua** fueron analizadas en laboratorio para determinar parámetros químicos como metales pesados, nitratos, fosfatos y aniones mediante técnicas como espectroscopía de absorción atómica (EAA) y cromatografía iónica.
- Las muestras de **suelo** fueron sometidas a análisis físicos (textura, densidad aparente, materia orgánica) y químicos (pH, nutrientes disponibles, capacidad de intercambio catiónico) utilizando métodos estándar como tamizado, extracción con soluciones específicas y espectrofotometría.

4. Organización y registro de datos: Los resultados obtenidos tanto en campo como en laboratorio fueron organizados en tablas y hojas de cálculo. Se registraron todas las mediciones realizadas, asegurando la trazabilidad y precisión de los datos.

4.6. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó siguiendo un enfoque cuantitativo, utilizando herramientas estadísticas y software especializado para interpretar los resultados. Las principales actividades incluyeron:

- 1. Procesamiento inicial de datos:** Los datos recolectados fueron organizados en tablas para facilitar su análisis. Se calcularon estadísticas descriptivas, como medias, desviaciones estándar y rangos, para cada variable evaluada (por ejemplo, pH, conductividad eléctrica, nutrientes disponibles).
- 2. Comparación con estándares de referencia:** Los resultados obtenidos fueron comparados con normativas nacionales e internacionales, como las establecidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y otras instituciones relevantes. Esto permitió evaluar si las características del agua y el suelo cumplen con los requisitos mínimos para uso agrícola.
- 3. Análisis estadístico:**
 - Se utilizaron pruebas estadísticas básicas, para identificar posibles relaciones entre las variables estudiadas.
 - Se generaron gráficos (como histogramas, diagramas de dispersión y mapas de distribución) para visualizar patrones y tendencias en los datos.
- 4. Interpretación de resultados:** Los resultados fueron interpretados en función de los objetivos e hipótesis planteados. Se identificaron fortalezas y limitaciones en las propiedades físico-químicas del agua y el suelo, así como recomendaciones para mejorar su calidad y aptitud agrícola.

4.7. Consideraciones éticas

La investigación se llevó a cabo cumpliendo con principios éticos fundamentales, garantizando la integridad, transparencia y responsabilidad en todas las etapas del estudio. Las principales consideraciones éticas incluyeron:

- 1. Respeto por el medio ambiente:** Se tomaron medidas para minimizar el impacto ambiental durante la recolección de muestras. Por ejemplo, se utilizaron recipientes reutilizables y se evitó alterar innecesariamente las fuentes de agua o las áreas de suelo muestreadas.

- 2. Cumplimiento de normativas legales:** La investigación se realizó en conformidad con las leyes y regulaciones locales relacionadas con el uso de recursos naturales, como el agua y el suelo. Se obtuvieron los permisos necesarios para acceder al Centro de Investigación y Producción Santo Tomás y realizar las actividades de muestreo.
- 3. Integridad científica:** Se aseguró la precisión y veracidad de los datos reportados, evitando manipulaciones o sesgos en los resultados. Todos los procedimientos y análisis fueron documentados de manera clara y reproducible.

V. Resultados y Discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Características físicas (pH, la turbidez, conductividad y densidad y temperatura, color) del agua superficial para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay

Las aguas subterráneas necesitan un tratamiento complejo antes de ser suministradas a los uso agrario y para consumo humano, debido a que conlleva cantidades apreciable de materia sólida, por este motivo es el objetivo determinar el contenido físico y químico metales de los fuentes de agua del Centro de Investigación y Producción Santo Tomas, para hacer en buen uso y manejo del recurso agua con que contamos es muy necesario conocer los parámetros permitidos por los Organismos Internacionales, quienes regulan el parámetro máximo y mínimo del contenido, en caso de accesos se tiene que utilizar algunos insumos correctivos.

La organización mundial de la salud (OMS) en sus guías para la calidad del agua potable, agua para riego y otras normas internacionales, establecen o recomiendan requisitos de calidad para el agua de consumo humano de uso agrario. En general, la normativa establece que el agua es apta bacteriológicamente para consumo si se encuentra exenta de microorganismos patógenos de origen entérico y parasitario intestinal. (Apella & Araujo, 2020).

Después de haber recolectado las muestras de los síes fuentes de los manantes del dicho centro de producción han sido enviados a un laboratorio de alta especialización de la Ciudad de Lima, quien nos ha proporcionado los distintos resultados de alta confiabilidad, con este resultado se viene interpretando cada uno de los materiales que contiene cada uno de los manantes, en el cuadro siguiente se muestra el resultado consolidado de cada sector muestreada y caracterizada y también estamos haciendo una comparación de parámetros permitidos según las normas internaciones.

Tabla 3

Características físicas y químicas del (06 fuentes de agua del Centro de Investigación y Producción Santo Tomás –UTEA

Ensayos	M. Tinkuq Wuayqu	M. Carrizal	M. Consuyluyu q	M. T. Paqpa Pata	M. Cascajal	M. Higuschayu q	V. Normal Agua Para Riego
Aceite y grasas (mg/L)	1.77	1.32	1.79	1.5	1.81	1.57	0.5
Bicarbonato mg/HCO ₃ /L)	173.3	332.2	408.0	251.6	324.9	295.6	500
Cianuro Wad (mg/L) mg/L	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.1
Color (UC)	4.34	5.88	15.09	6.25	1	2.3	20
Conductividad (ps/cm	729	337	670	581.5	810	599.3	750
Demanda bioquímica del oxígeno(DBO ₅) (mg/L)	36.9	18.5	30.1	23.2	17.9	29.8	0.1
Demanda química del oxígeno (D.Q.O) (mg/O ₂)	116	59.9	90	65	54.1	89	500
Detergentes (Surfactantes Aniónicos - SAAM) (mg/L)	0.024	0.024	0.024	0.0024	0.0024	0.0024	
Fenoles (mg/L)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.001
(*) Oxígeno disuelto (mg/L)	27.68	18.42	10.87	21.04	27.18	16.61	0.1
Aniones por cromatografía Iónica	Cloruro (mgCl/L)	2.184	3.21	2.99	2.488	2.71	25
	Fluoruro (mg F/L)	0.1096	0.154	0.153	0.1021	0.392	0.250
	Nitrato(NO ₃) Mg/L	3.19	0.008	0.221	2.43	5.8	5
	Nitrito(NO ₂) (mg/L)	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	1
	Sulfato (mg/L)	238.8	21.4	35.83	87.6	165.9	150
(+) Temperatura °C	24.9	24.85	24,85	25.00	24.85	25	24
(*) pH (Unidades de pH)	8.23	8.18	7.94	7.97	8.01	8.39	7.5

Nota. Laboratorio de ensayo acreditado por el organismo de acreditación INACAL – DA con registro N° LE – 003

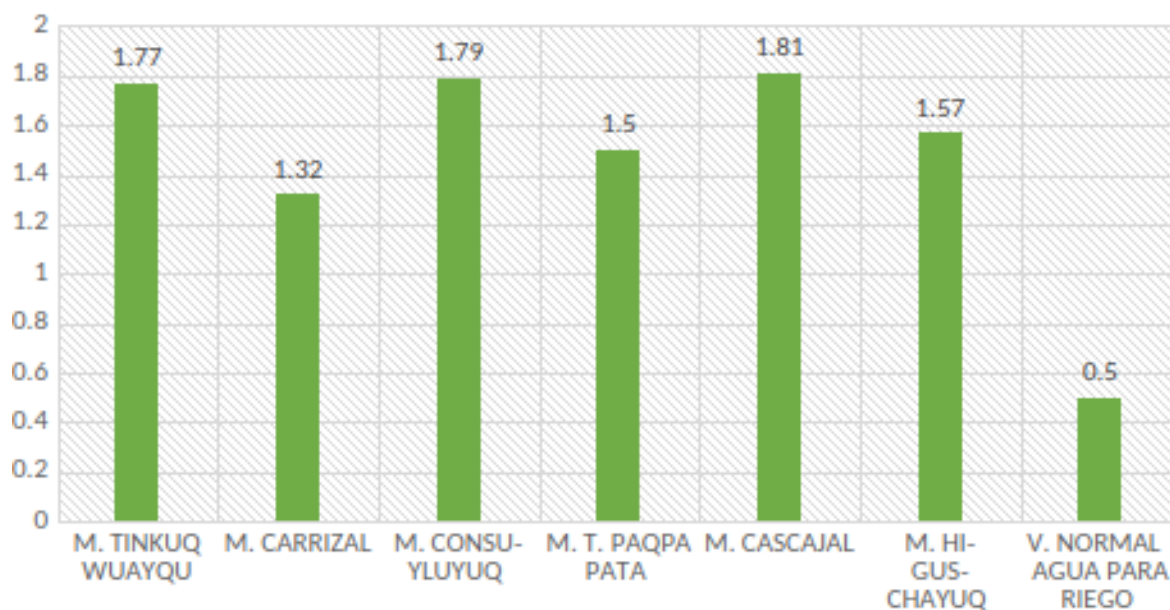
La **Tabla** (3) muestra las características físicas y químicas de seis fuentes de agua del Centro de Investigación y Producción Santo Tomás – UTEA, comparadas con los valores normales para agua de riego, en ella se observa que los niveles de aceites y grasas, cianuro, detergentes y fenoles están dentro de los límites aceptables en todas las muestras, aunque algunos parámetros como bicarbonatos, conductividad, demanda química de oxígeno (DQO) y sulfatos superan los valores normales en varias fuentes, particularmente en M. Consuyluyuq y M. Cascajal, lo que podría indicar una mayor presencia de sales y materia orgánica en estas aguas. A continuación, se hace un análisis detallado de todas las características.

a) Aceite y grasas (mg/L)

El objetivo del estudio fue realizar un análisis comparativo de la concentración de los parámetros de aceite y grasas en los siete fuentes de agua para uso agrícola del centro de Investigación y Producción Santo Tomás para tal fin se tomó sus servicios un laboratorio de ensayos acreditado por el organismo de la acreditación INACAL – DA, de la Ciudad de Lima a fin de determinar la información con más precisión, los límites o parámetros permitidos o normales es 0.5 mg/L, sin embargo las siete muestras realizadas tienen parámetros muy superiores como el caso del lugar denominado manante cascajal tiene 1.81 mg/L de grasa y en segundo lugar del lugar denominado manante consuyuyuq, estos dos fuentes de agua se encuentran ubicados en la parte baja de la Comunidad de Auquibamba y el manante de la quebrada denominado el carrizal contiene 1.32 mg/l. Que es la más baja en comparación con las demás fuentes de agua.

Figura 1

Resultado del contenido de aceites y grasas en los manantes del fundo Santo Tomás



Nota. Elaboración propia para el estudio

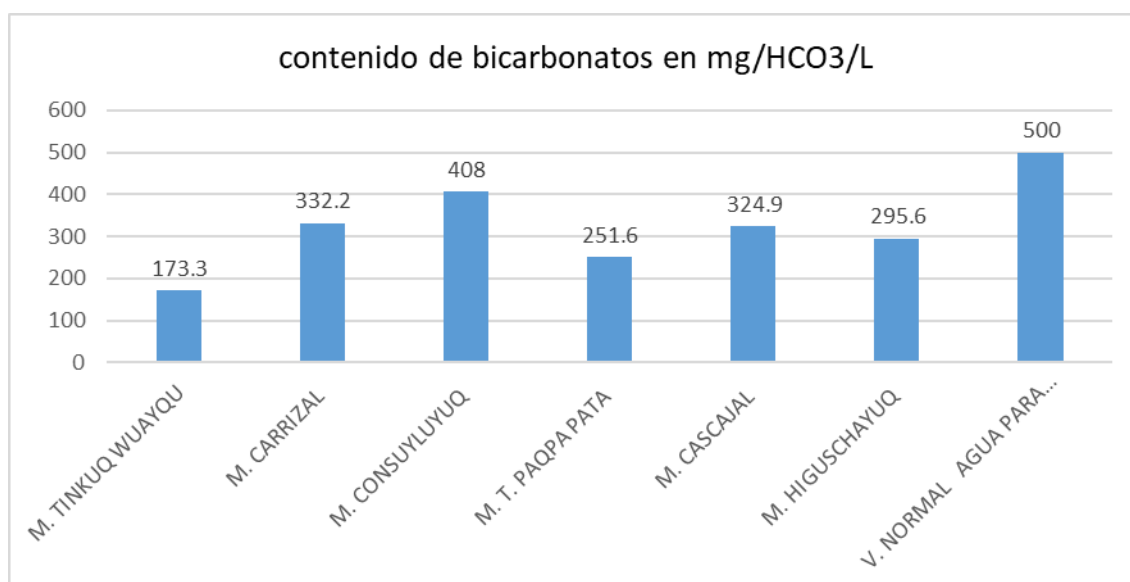
b) Bicarbonato (mg/HCO₃/L)

Casi todos los organismos vivos, incluidos los del agua y el suelo, contienen bicarbonatos que abundan en la naturaleza, compuestos por potasio (BP) y sodio (BS), como informaron Deliopoulos et al. (2010).

El contenido de bicarbonato en promedio limite normal es de 500 mg/HCO₃ /l, de los cuales en los síes muestras analizadas o caracterizadas en el laboratorio nos indica que las fuentes de agua en estudio se encuentran en parámetros por debajo de limite normal, como se observa la más alta es del lugar denominado manante o fuente de agua consuylyuq que tiene 408.0 mg/HCO₃/L de agua muestreada y la más baja es del lugar denominado manante tinkuq wuayqu que tiene 173.3 mg/HCO₃/l. Este resultado obtenido es bastante notorio que el origen de esta agua fluye desde la comunidad de Carhuacahua del Distrito de Huancarama, mientras las otras fuentes en estudio fluyen desde la parte baja de la Comunidad de Auquibamba.

Figura 2

Contenido de bicarbonato en las fuentes de agua de riego del Centro de Investigación y Producción Santo Tomás



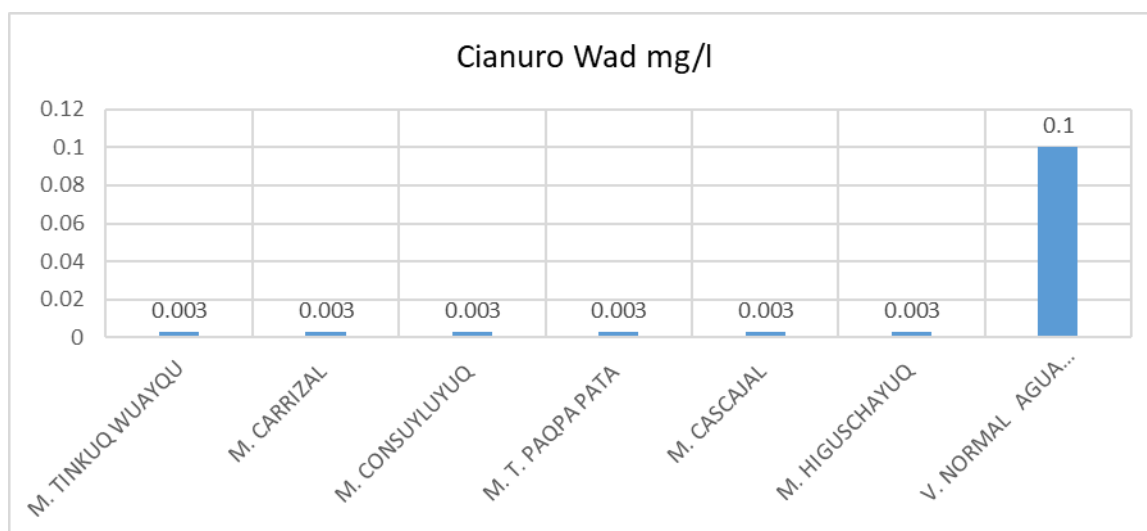
Nota. Elaboración propia para el estudio

c) Cianuro Wad (mg/L)

Los cianuros son producidos y degradados por una gran cantidad de animales, plantas, insectos, hongos y bacterias en la naturaleza. Las plantas cianógenas pueden tener niveles de cianuro que alcanzan cientos de partes por millón debido a una digestión o una preparación inadecuada. Este no es el único método de liberación. El consumo de estos vegetales puede ser fatal para los animales y venenoso para los humanos. En la naturaleza, el cianuro está presente en bajas concentraciones en muchos insectos y plantas, así como en numerosas especies de plantas. Las propiedades antimicrobianas incluyen el cianuro en nueces y semillas, así como en algas y microbios, que actúan como defensa contra depredadores. En el caso de las fuentes de agua en estudio se nota una baja presencia de este elemento donde se arroja 0.003 Wad/mg/l y el parámetro de limite promedio permitido es de 0.1 Wad mg/l, en todo caso las fuentes en estudio tienen promedios muy bajos de lo permitido, esto se debe que en el lugar no existe por el momento ningunas extracciones de zonas mineras, por el momento la zona es libre de este problema.

Figura 3

Contenido de cianuros en las muestras de agua del CIP Santo Tomás.



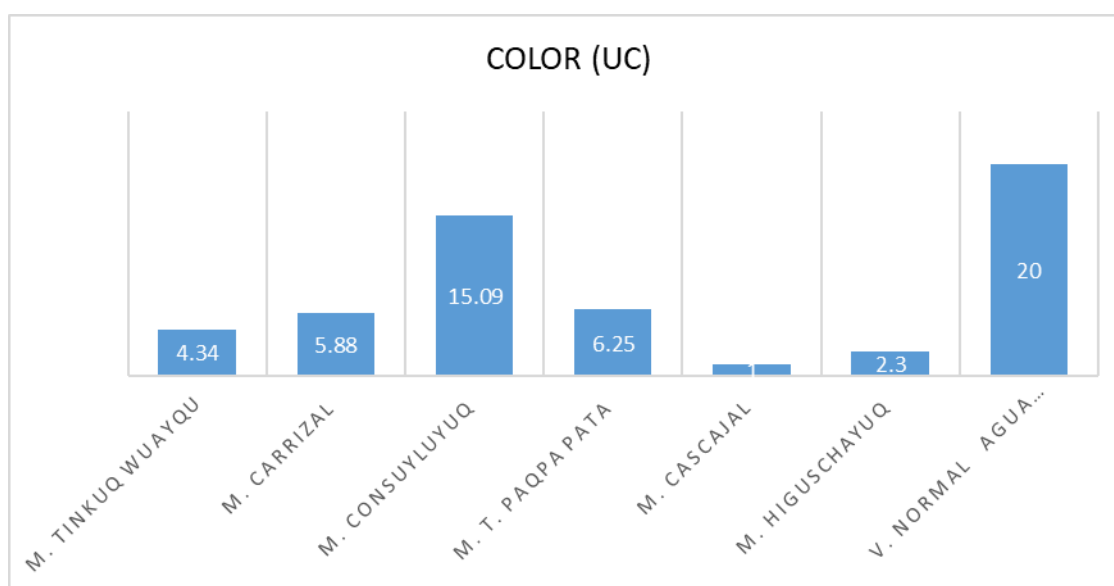
Nota. Elaboración propia para el estudio

d) Color (UC)

Al respecto de la presencia de la coloración de los fuentes de agua depende del contenido de sustancia que contenga en el trayecto, en muchas veces en los meses de diciembre a marzo arrasa la tierra y otros materiales por ser los meses de la época de lluvia hay constante lavado de área superficial de la tierra, en la muestreo realizado en los sés fuentes de agua se registran los indicadores más bajas y el más alto es 15.09 Unidades de color de medición del agua, es incluso apto o permitido para el consumo humano, mientras para el uso agrario está permitido gas 20 UC de unidades de coloración, el fuente que tiene 15.09 tiene una explicación bien clara que en la cabecera los comuneros vienes ejecutando una obra de infraestructura de riego, donde el agua del riego viene arrastrando los materiales de la obra.

Figura 4

Representación del color del agua de los sés fuentes muestreadas.



Nota. Laboratorio CERPER certificaciones del Perú S.A.

e) Conductividad (ps/cm)

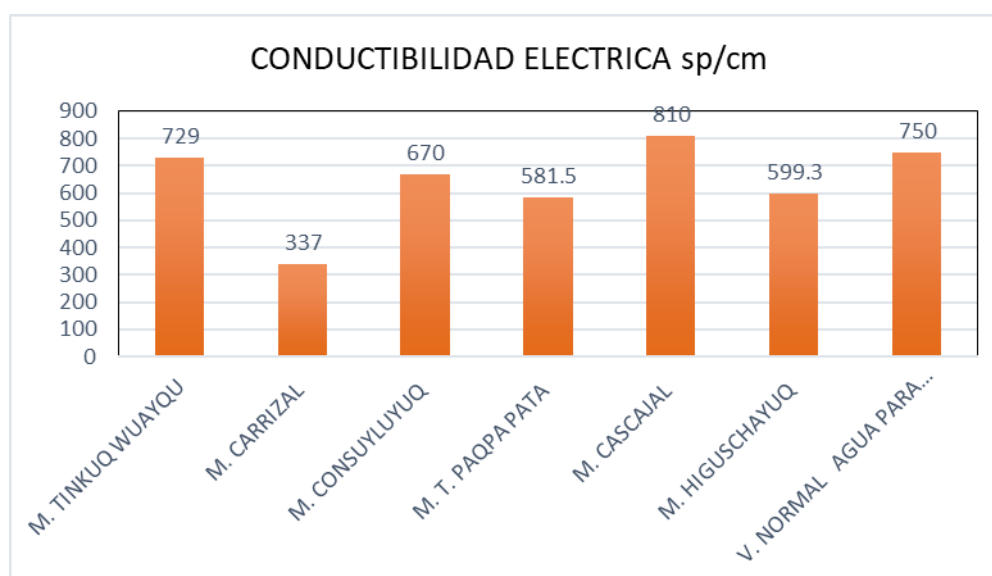
La CE del agua es un indicador de su capacidad para conducir electricidad. ¿Por qué pasó esto? Mientras que la CE se expresa en siemens por metro (S/m) en el Sistema Internacional de Unidades, la conductividad del agua a 25°C depende de la concentración y disociación de las sales en solución, que generan iones capaces de transportar corriente eléctrica. Sin embargo, para simplificar, a continuación, se proporcionan

medidas en unidades de medida. Las sales pueden disolverse en agua a diferentes temperaturas, lo que provoca una alteración de la conductividad.

La conductibilidad eléctrica de los fuentes de agua en los lugares de cascajal y Tinkuq wuayqu supera al parámetro normal que es 750 sp/cm, en todo caso estas aguas son muy pesados por el mismo arrastre de elementos químicos y metálicos, mientras el agua de la quebrada carrizal es una fuente de gua ligeramente blanda en comparación con los demás fuentes en estudio.

Figura 5

El contenido de la conductibilidad eléctrica de las fuentes de agua



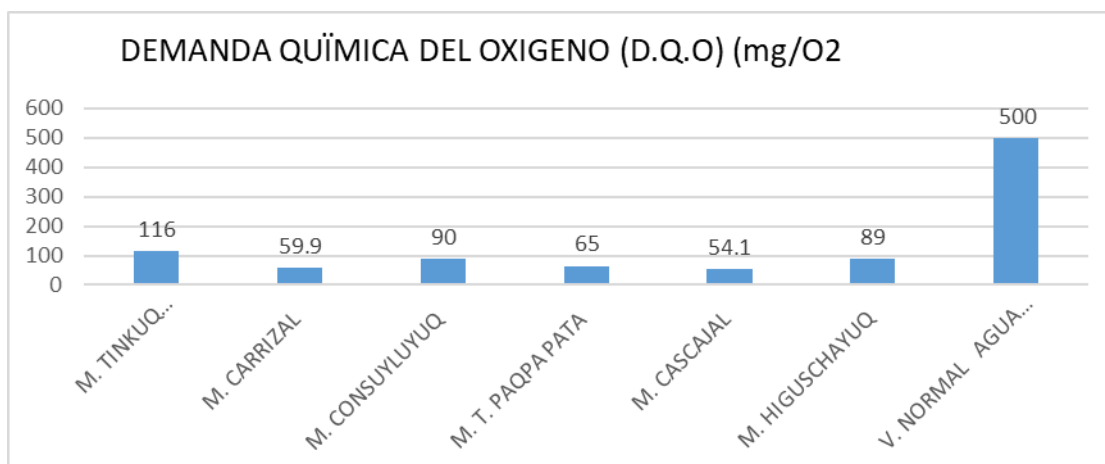
Nota. Laboratorio CERPER certificaciones del Perú S.A.

f) Demanda bioquímica del oxígeno (DBO5) (mg/L)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una medida de la cantidad que consumen las bacterias y otros microorganismos durante la descomposición de la materia orgánica a diferentes temperaturas en condiciones aeróbicas. La demanda bioquímica en las fuentes de agua del Centro de Investigación y Producción Santo Tomas se registra todos por encima del parámetro normal, esto significa que el agua es apta para el cultivo de algas y especies acuáticas que adaptan en la zona del estudio.

Figura 6

Demanda bioquímica del oxígeno en las fuentes de agua en estudio.



Nota. laboratorio CERPER certificaciones del Perú S.A.

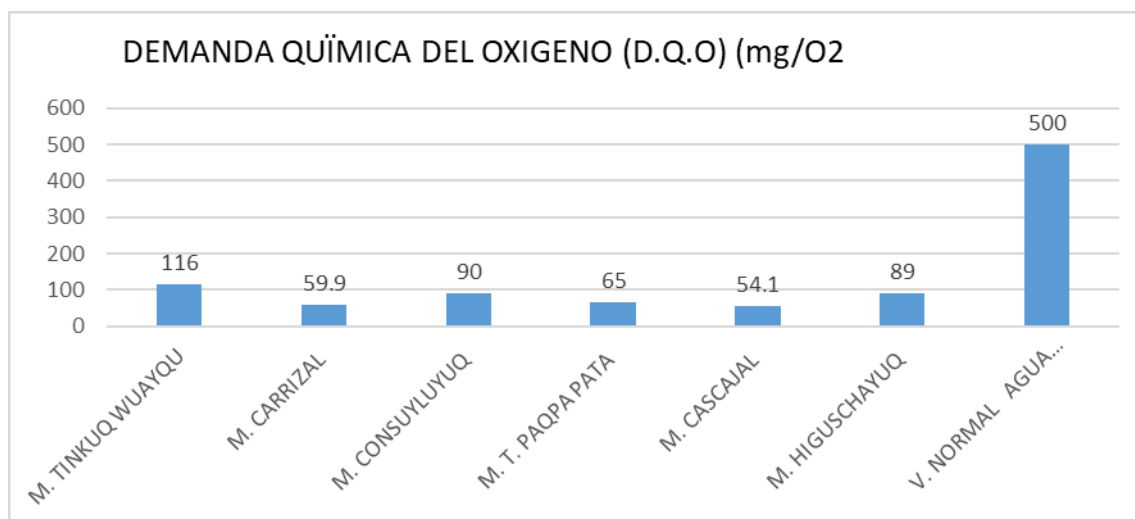
g) Demanda química del oxígeno (D.Q.O) (mg/O₂)

En este trabajo se realizó la verificación del método para determinar demanda química de oxígeno (DQO) en aguas subterráneas por colorimetría en rango bajo y rango alto. Las muestra fue suministrada por el laboratorio de análisis de aguas de la empresa CERPER S.A. Certificaciones del PERU, se preservaron con ácido sulfúrico concentrado hasta $\text{pH} < 2$ y se almacenaron en envases plásticos rotulados el rango alto es de 600 mg/O₂ de aguas subterráneas,

El resultado obtenido de los síes fuentes tiene nivel baja de la demanda química del oxígeno la más alta es de 116 mg/O₂ del lugar denominado Tinkuq wuarqu, estas aguas fluyen de unos km d distancia hasta llegar al predio para uso agrícola, mientras las otras fuentes están dentro del mismo predio que tienen un rango mínimo de demanda química del oxígeno necesario.

Figura 7

Demanda química del oxígeno en los síes fuentes de aguas muestreada.



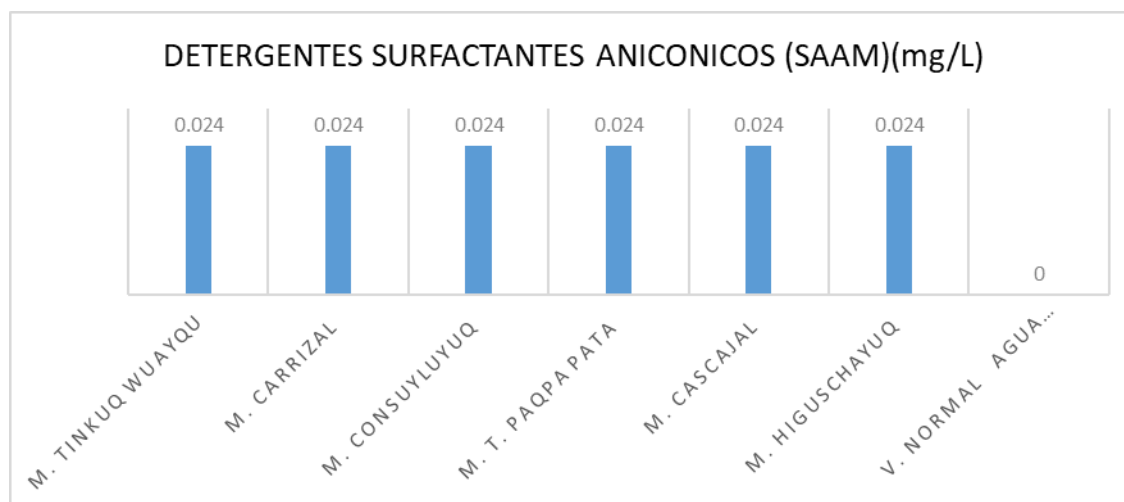
Nota. Laboratorio CERPER certificaciones del Perú S.A.

h) Detergentes (Surfactantes Aniónicos - SAAM) (mg/L)

En caso de contenido de detergentes surfactantes no se tiene determinado sus parámetros máximos o mínimos guiados por el organismo mundial de la salud (OMS), sin embargo se recomienda que las administraciones sanitarias conozcan los recursos hídricos disponibles que superen los 500 mg/l. al respecto de los fuentes de agua en estudio presentan un nivel muy bajo contenido de detergentes, en los síes fuentes son 0.024 mg/l. Esto significa que no existe riesgo de contaminación.

Figura 8

Contenido de detergentes en los síes fuentes de agua en estudio



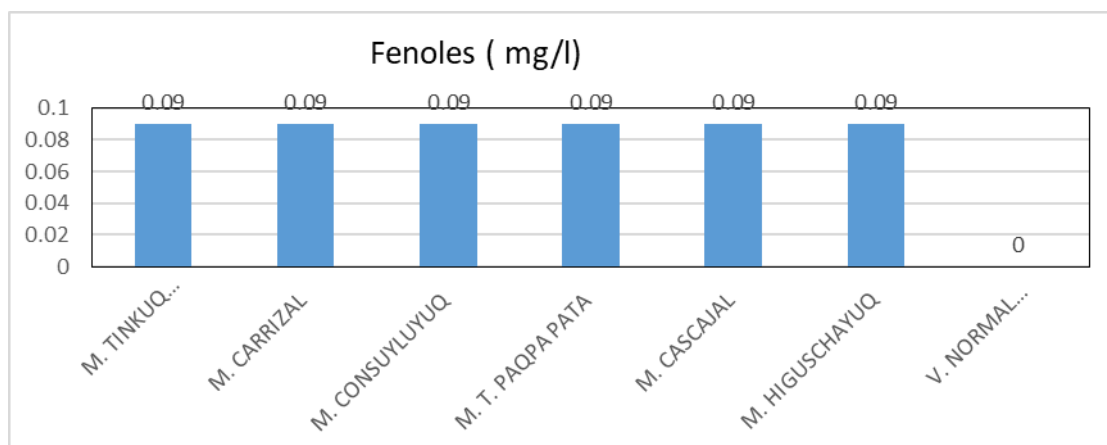
Nota. Laboratorio CERPER certificaciones del Perú S.A.

i) Fenoles (mg/L)

Los fenoles son unos antioxidantes que influye en la maduración de las frutas y pigmentación de las flores de las plantas mayormente bien notorios en los cactus que se hallan en suelos áridos y valles de clima tropical, en el ensayo de las muestra realizadas tenemos un rango apropiado de 0.09 mg/l de agua en las sies muestras realizada son iguales

Figura 9

Resultado del contenido de fenoles en los fuentes de agua muestreada



Nota. Laboratorio CERPER certificaciones del Perú S.A.

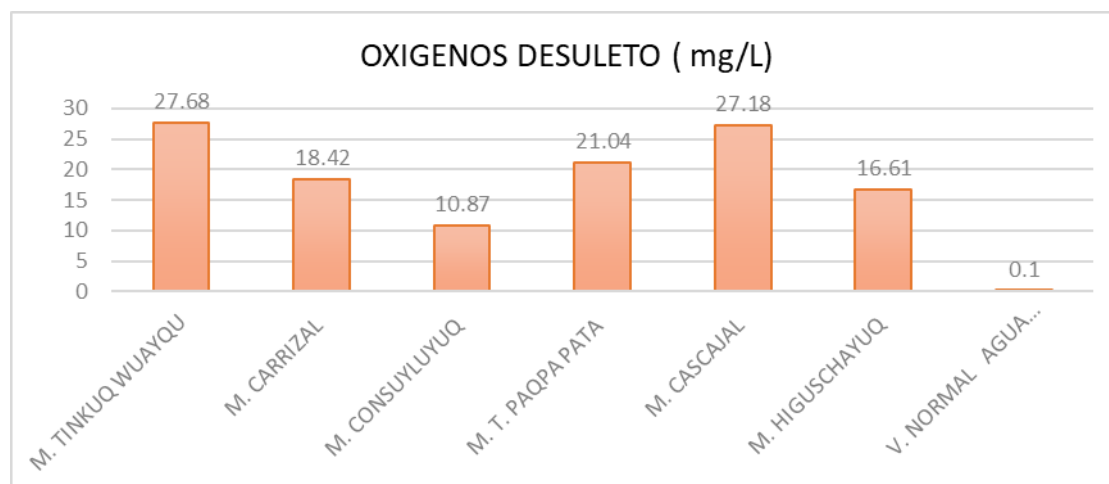
j) (*) Oxígeno disuelto (mg/L)

Según Cifuentes y Torres (2003), el oxígeno está presente de manera cíclica en el océano como elemento de la atmósfera y llega al mar al disolverse en agua, donde las plantas y los animales lo toman para respirar. Durante la fotosíntesis, los vegetales verdes ayudan a aumentar el oxígeno en el agua de mar debido a la creciente cantidad de oxígeno causada por las corrientes y las olas. En este proceso, las reacciones químicas desempeñan un papel crucial en el ciclo completo del oxígeno. La profundidad es un factor clave para determinar el oxígeno disuelto en el agua de mar, encontrándose zonas sin este gas en grandes fondos marinos.

El contenido del oxígeno disueltos de las fuentes de agua muestreada tiene, rangos mayores de limite normal, esto quiere decir que los sies fuentes tienen mucho mayor oxigenación, las fuentes de agua son muy aptos para las actividades hidrobiológicas.

Figura 10

Representación gráfica del contenido de oxígenos desueto.



Nota. Laboratorio CERPER certificaciones del Perú S.A.

k) Aniones por cromatografía iónica

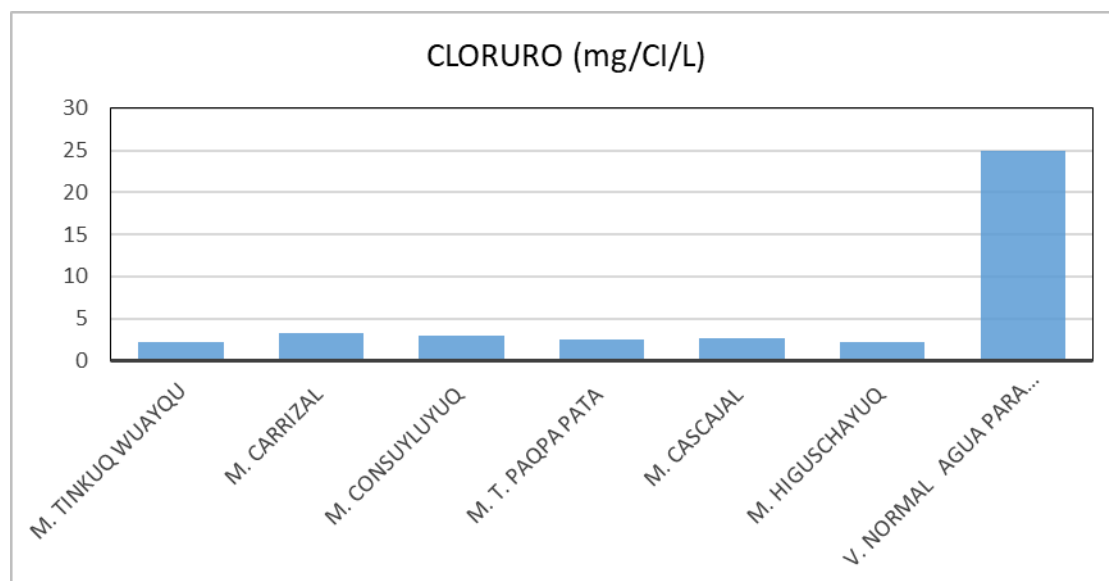
a) Cloruro (mgCl/L)

La salinidad del agua en aplicaciones agrícolas e industriales está influenciada por el contenido de cloruro, que disminuye cuando el nivel alcanza los 300 pmm. Esto afecta su bebibilidad. El pequeño tamaño del ion que puede penetrar la capa protectora en la interfaz del óxido metálico y reaccionar con el hierro estructural hace que el agua que contiene cloruro sea altamente corrosiva. Una mayor concentración de este elemento puede dificultar el crecimiento de las plantas. Muchos casos de lesiones en hojas y raíces son perjudiciales para la salud humana.

El contenido de cloruro en las fuentes de agua del centro de Investigación y producción santo tomas tienen parámetros muy bajos de valoración normal que es 25 mg/Cl/L, en las cinco fuentes en estudio tenemos menores de 0.3 mg/Cl/L de agua.

Figura 11

Contenido de cloruro en las fuentes de agua muestreada.



Nota. Laboratorio CERPER certificaciones del Perú S.A.

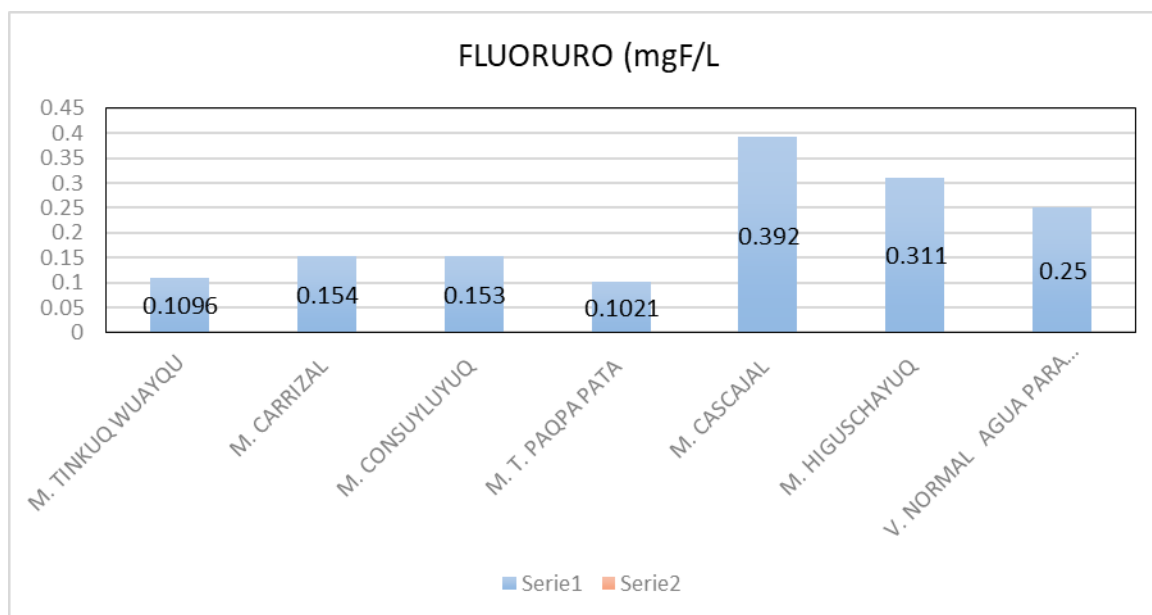
b) Fluoruro (mg F/L)

Las concentraciones de fluoruro en el agua tienen un impacto significativo en muchas áreas del mundo. ¿Por qué? Las aguas subterráneas de Canarias, particularmente en el norte de Tenerife, contienen más de 8 mg F/L de flúor cuando la legislación y directrices para su uso son de 1,5 mg como máximo. Esto hace necesario realizar un estudio sobre la eliminación de este veneno de las aguas subterráneas.

En la muestra realizada en los sés manantes del agua para uso agrario en fundo Santo Tomas se determinó con la presencia de fluoruro de 0.4 mgF/L de agua mientras el parámetro normal o apto es de 1.5, en todo caso los fluoruros en nuestras fuentes de agua son muy bajos que no generaría impactos negativos.

Figura 12

Contenido de fluoruros en las fuentes de agua del CIP Santo Tomás



Nota. Laboratorio CERPER certificaciones del Perú S.A.

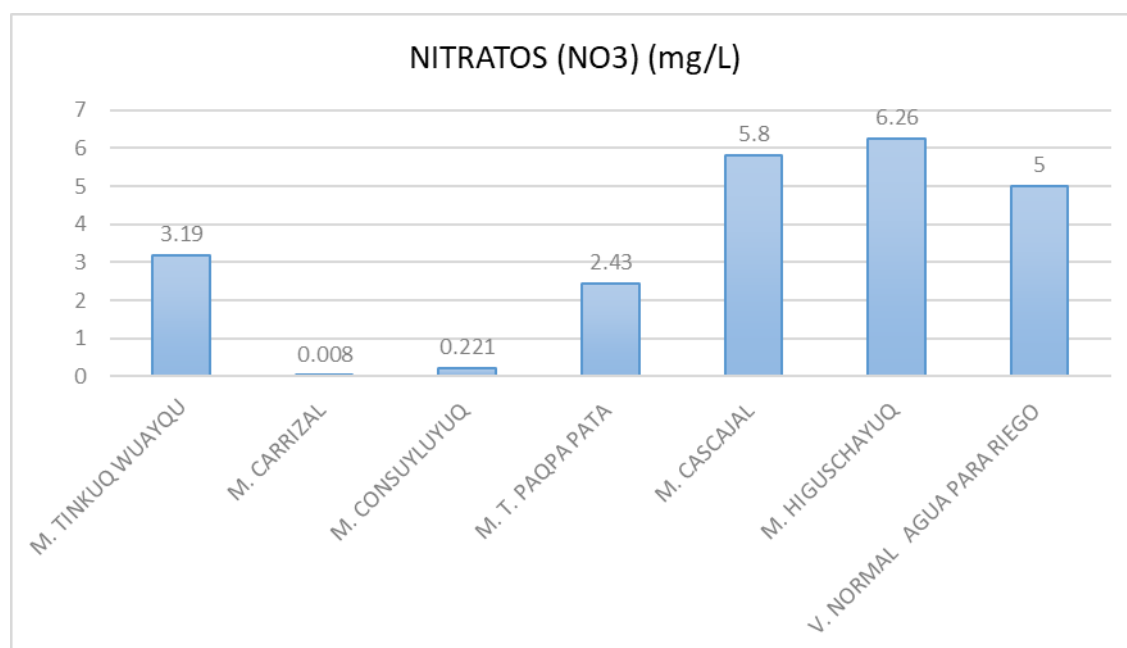
c) Nitrato(NO₃) Mg/L

La presencia de nitratos (NO₃) en las aguas subterráneas es un problema importante en todo el mundo (Canter 1997) y plantea dificultades imprevistas en el suministro mundial de agua (Pauwels et al. 2001). La concentración máxima de N-NO₃ en el agua subterránea es de 10 mg/L 1 N (44,29 mg/l-1 NO₃) según lo define la Organización Mundial de la Salud (1985).

En los lugares denominado manante higuschayuq, presenta el mayor contenido de 6.26 mg/L por litro de agua, y continua el manante cascajal estas dos fuentes de agua son de las filtraciones del área agrícola de la Comunidad de Auquibamba, donde ellos utilizan el nitrato como abono para sus cultivos, todo esto son lavados por la lluvia y arrastrados a las fuentes del agua que fluye a los mamantes de la parte baja.

Figura 13

Concentración de nitratos en las fuentes de agua muestreada.



Nota. Laboratorio CERPER certificaciones del Perú S.A.

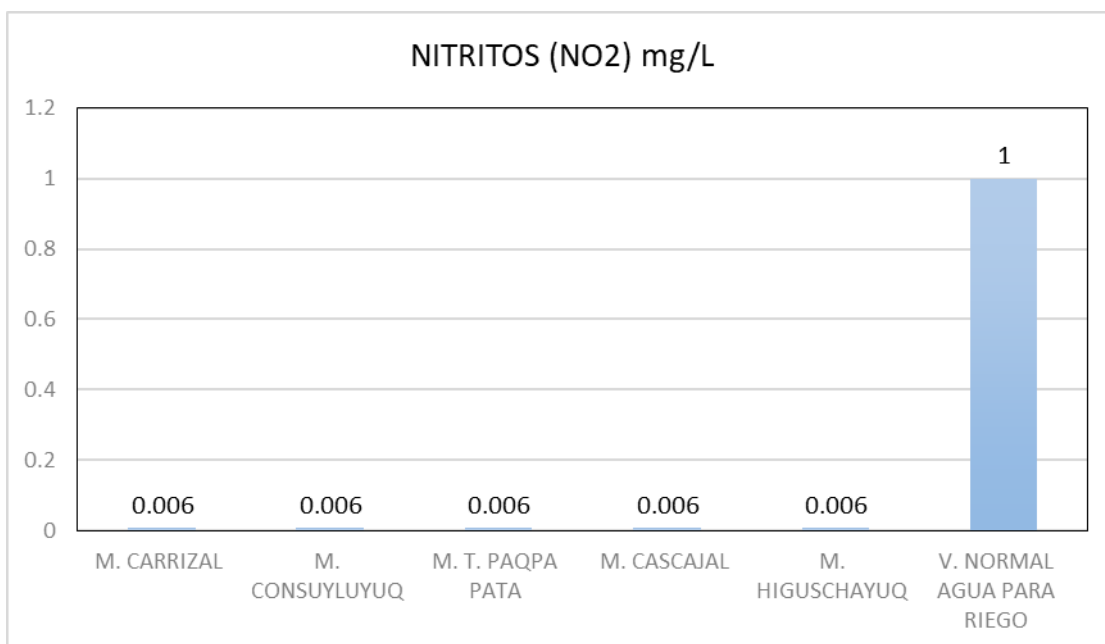
d) Nitrito (NO₂) (mg/L)

El nitrito soluble y el grupo platillo son compuestos que contienen tanto nitrógeno como oxígeno. La conversión de nitrito (NO₂) en una forma de nitrógeno en el medio ambiente da como resultado un aumento en la concentración de fósforo, lo que lleva a la rareza de esta sustancia en las aguas subterráneas. La presencia de nitrato en hortalizas y cereales es crucial para el crecimiento de las plantas. ¿Por qué? Por lo tanto, el nitrato se utiliza predominantemente en la agricultura como fertilizante. La aplicación de nitrito se utiliza para preparar carne, crear explosivos o mantener calderas industriales. La ingesta diaria promedio de nitrato N del hombre estadounidense asciende a 9 y 22 miligramos, que se encuentran en las verduras de hojas verdes y los tubérculos como las zanahorias. En las carnes curadas, la ingesta media diaria de nitrito N es inferior a 0,15 a 1,18. Sin embargo, 0,1-0,8 mg es significativamente menos. El consumo de estos niveles no se considera perjudicial.

En las fuentes de agua de fundo Santo Tomas se registra muy baja cantidad de nitratos en comparación con el nivel normal o nivel permitido.

Figura 14

Contenido de nitritos en las fuentes de agua muestreada.



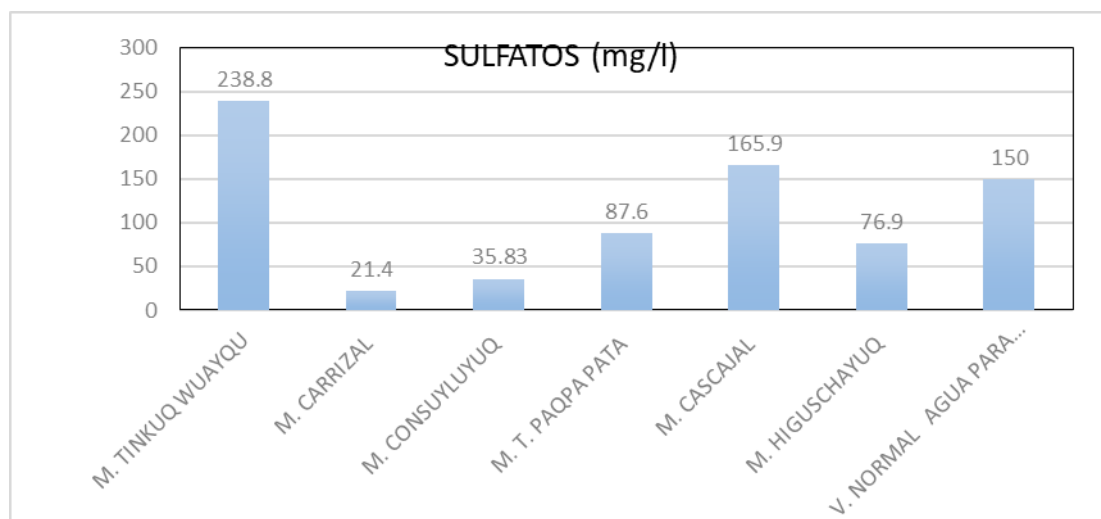
Nota. Laboratorio CERPER certificaciones del Perú S.A.

e) Sulfato (mg/L)

Los sulfatos están presentes de forma natural en una variedad de minerales y se utilizan en diversas industrias, como la química, la minería, la fundición, el papel, el enchapado, el vidrio, los textiles y el curtido, así como en la creación de tintes y fungicidas. Las concentraciones de sulfato en la naturaleza suelen ser mayores que las que se encuentran en las sustancias a nivel de la superficie. Las concentraciones superiores a 250 mg/L pueden provocar problemas de aceptabilidad del servicio debido al cambio en el sabor del agua. La concentración de sulfatos en las fuentes de agua es muy baja de lo normal dentro del parámetro permitido, la más alta es 238.8 mg/l de la quebrada denominada Tinkuq wuayqu, y las más baja en el manante carrizal tiene 21.40 mg/L. de agua de riego.

Figura 15

Concentración de sulfatos en los síes fuentes de agua muestreada.



Nota. Laboratorio CERPER certificaciones del Perú S.A.

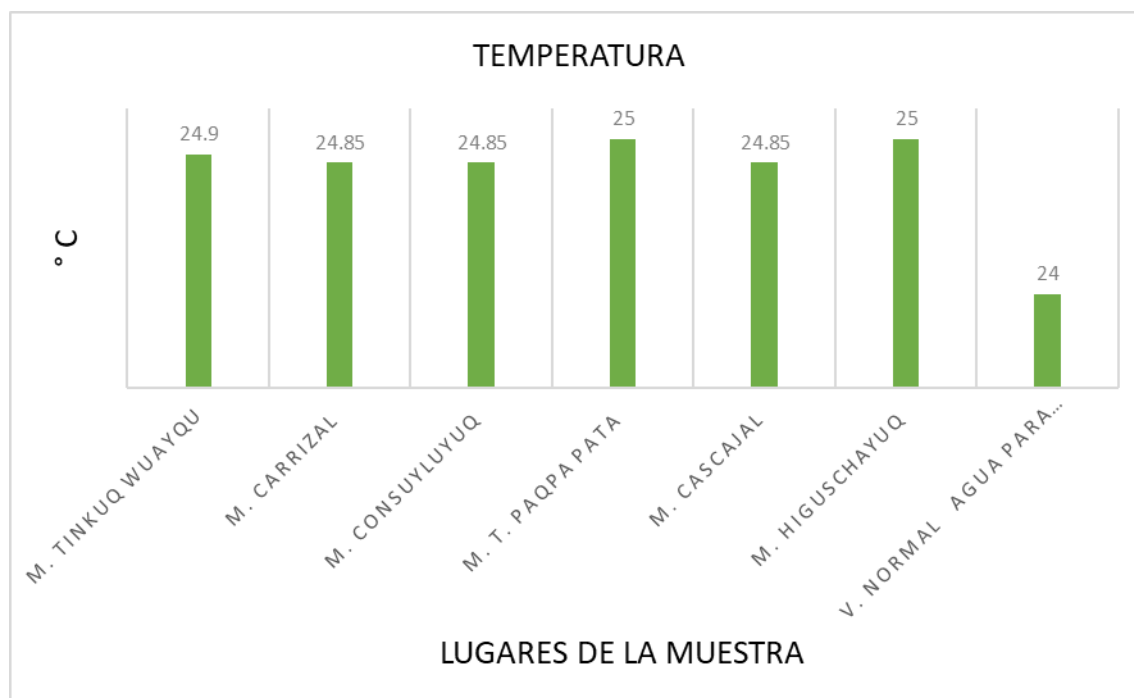
I) (+) Temperatura °C

La temperatura en los valles de la región de Apurímac, llega hasta 25 a 28 C° en las horas de sol y en los meses de octubre y noviembre son muy altas, esto influye en la concentración de la temperatura en las aguas residuales que fluyen des los concentran en las fuentes de agua del valle interandino de la región. En la gráfica siguiente se muestra una temperatura de 24 a 25°C incluso en horas de la noche se concentra en 21 a 22°C en los manantes de las fuentes de estudio.

Mientras en los meses de junio julio la temperatura del agua en el valle baja hasta 16 a 18°C en época de heladas y presencia de vientos de bastante intensidad en el valle, todo eso enfría la temperatura del agua de riego.

Figura 16

Concentración de temperaturas en las fuentes de agua muestreada para el estudio



Nota. Laboratorio CERPER certificaciones del Perú S.A.

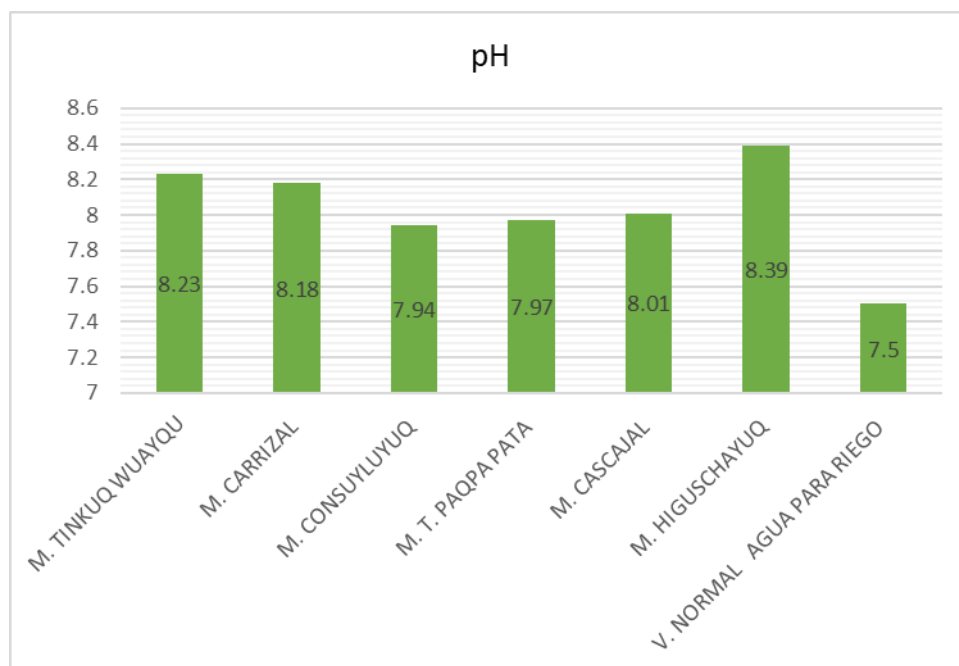
m) (*) pH (Unidades de pH)

El pH del agua utilizada para regar los cultivos es crucial para su calidad. El nivel de acidez o alcalinidad del agua está indicado por su valor de pH. Como tal, es una medida útil para poder saber si el agua es apropiada o no para su uso en riego.

El pH del agua se mide utilizando una escala de 0 a 14, siendo 7,0 el valor neutro. Por lo tanto, lecturas superiores a 7,0 y 14,0 indican que estamos tratando con soluciones alcalinas o básicas. El pH de estas sustancias está por debajo de 7,0, lo que las vuelve ácidas. El contenido de pH de los siete fuentes son neutros apropiados para el uso agrario, esto por presentar en rangos normales entre la más alta el lugar denominado Consuylyuyq tiene 8.39 que la más alta, al utilizar esta agua es necesario utilizar el corrector de pH, todos los manantes tiene un ligero sobre el margen de lo normal.

Figura 17

El contenido de pH en las fuentes de agua muestreada



Nota. Laboratorio CERPER certificaciones del Perú S.A.

n) Conductibilidad eléctrica de las 6 fuentes del agua

La CE del agua es un indicador de su capacidad para conducir electricidad. ¿Por qué pasó esto? Mientras que la CE se expresa en siemens por metro (S/m) en el Sistema Internacional de Unidades, la conductividad del agua a 25°C depende de la concentración y disociación de las sales en solución, que generan iones capaces de transportar corriente eléctrica. Sin embargo, para simplificar, a continuación, se proporcionan medidas en unidades de medida. Las sales pueden disolverse en agua a diferentes temperaturas, lo que provoca una alteración de la conductividad.

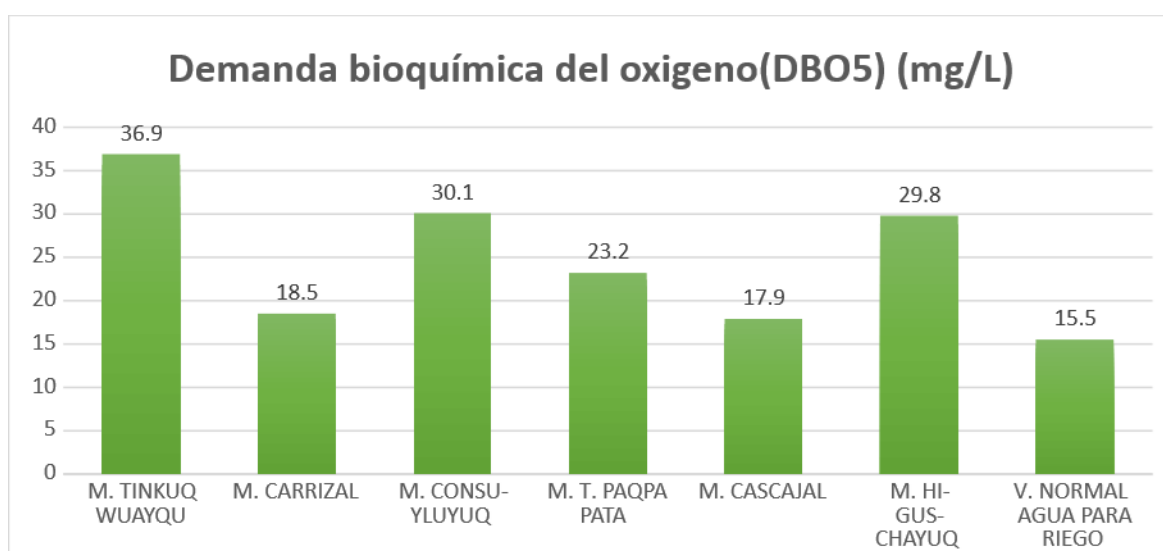
La conductibilidad eléctrica de los fuentes de agua en los lugares de cascajal y Tinkuq wuayqu supera al parámetro normal que es 750 sp/cm, en todo caso estas aguas son muy pesados por el mismo arrastre de elementos químicos y metálicos, mientras el agua de la quebrada carrizal es una fuente de agua ligeramente blanda en comparación con los demás fuentes en estudio.

o) Demanda bioquímica del oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una medida de la cantidad que consumen las bacterias y otros microorganismos durante la descomposición de la materia orgánica a diferentes temperaturas en condiciones aeróbicas. La demanda bioquímica en las fuentes de agua del Centro de Investigación y Producción Santo Tomas se registra todos por encima del parámetro normal, esto significa que el agua es apta para el cultivo de algas y especies acuáticas que adaptan en la zona del estudio.

Figura 18

Demanda bioquímica del oxígeno en las fuentes de agua en estudio.



Nota. laboratorio CERPER certificaciones del Perú S.A.

5.1.2. Características químicas (metales pesados y otros) del agua superficial para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay

Para evaluar el comportamiento de los metales pesados como el Cadmio, Selenio, Talio y Zinc y determinar la calidad del agua, se empleó la ICP-MS, Espectrometría de Masas con Plasma Inductivamente Acoplado (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry), para analizar sus concentraciones. Seis puntos de muestreo están ubicados dentro de la propiedad de 320 hectáreas de la UTEA, que está diseñado para monitorear los efectos de estas sustancias mediante técnicas de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP). Se encontró que las concentraciones de metales pesados, para el agua en todos los puntos de muestreo, estaban dentro de los límites de la (ECA) o los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, tanto para la Categoría 1– Poblacional y Recreacional, Subcategoría–A2, Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, como para la Categoría 3 – Riego de Vegetales y Bebida de Animales, Subcategorías D1–Riego de Vegetales; y D2, Bebida de Animales.

Tabla 4

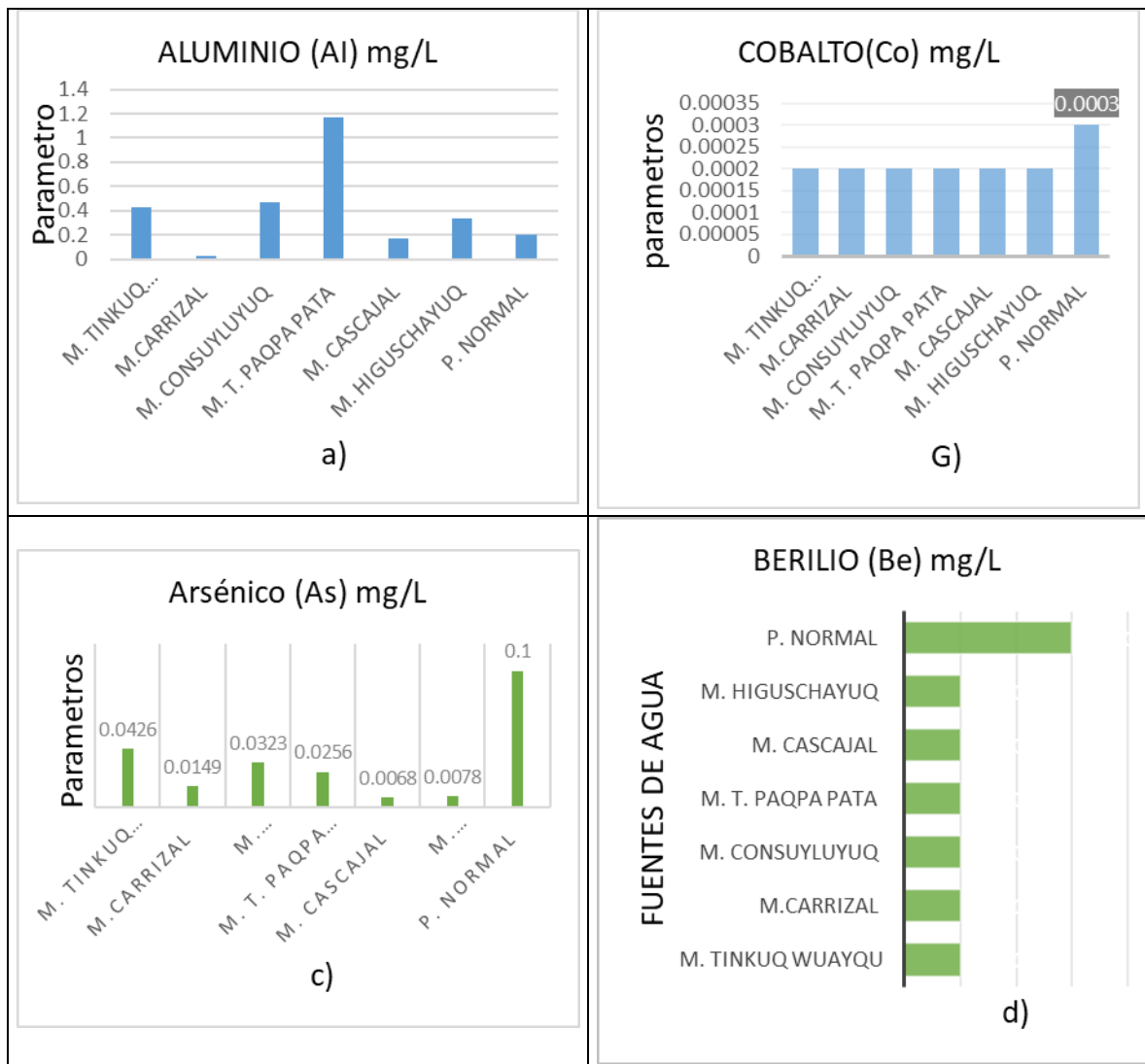
Características físicas y químicas del (06 fuentes de agua del Centro de Investigación y Producción Santo Tomás –UTEA

ENSAYO	M. TINKUQU WUAYQU	M. CARR IZAL	M. CONSUYL UYUQ	M. T. PAQPA PATA	M. CASCAJ AL	M. HIGUSCHAY UQ	P. NORM AL
Aluminio (Al) mg/L	0.43	0.03	0.47	1.17	0.17	0.34	0.2
Antimonio(Sb) mg/L	0	0	0	0	0	0	0
Arsénico (As)mg/L	0.04	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01	0.1
Bario(Ba)mg/ L	0.1	0.15	0.19	0.15	0.02	0.02	0.02
Berilio(Be) mg/L	0	0	0	0	0	0	0
Boro(B) mg/L	0.09	0.03	0.08	0.12	0.17	0.11	0.01
Cadmio (Cd) mg/L	0	0	0	0	0	0	0
Cobalto(Co) mg/l	0	0	0	0	0	0	0
Cobre(Cu) mg/L	0.03	0.03	0	0	0	0	3
Cromo (Cr) mg/L	0	0	0	0	0	0	0.05
Hierro (Fe) mg/L	0.37	0.01	0.66	1.1	0.11	0.34	5
Litio (Li) mg/L	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	5
Magnesio (Mg) mg/L	25.9	29	36.4	36.3	50.7	35.9	150
Manganeso (Mn) mg/L	0.03	0	0.27	0.05	0	0.01	0.2
Mercurio (Hg) mg/L	0	0	0	0	0	0	0
Níquel (Ni) mg/L	0	0	0	0	0	0	0
Plomo (Pb) mg/L	0	0	0	0	0	0	0.1
Selenio (se) mg/L	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.05

Nota. Elaboración propia

Figura 19

Elementos metálicos muestreados en manantes del fundo Santo Tomás.



Nota. Elaboración propia para el estudio

a) El manante que fluye desde la quebrada de Paqpa - pata tiene 1.17 de Aluminio (Al) mg/L. de agua, esta fuente ha sobrepasado al límite permitido. Las normas mexicanas permiten un límite máximo de aluminio en el agua potable de 0.20 mg/l, por lo que no es tóxica. Aunque el aluminio abunda en el medio ambiente y no plantea riesgos para la salud, sigue faltando información sobre sus efectos perjudiciales para la salud humana.

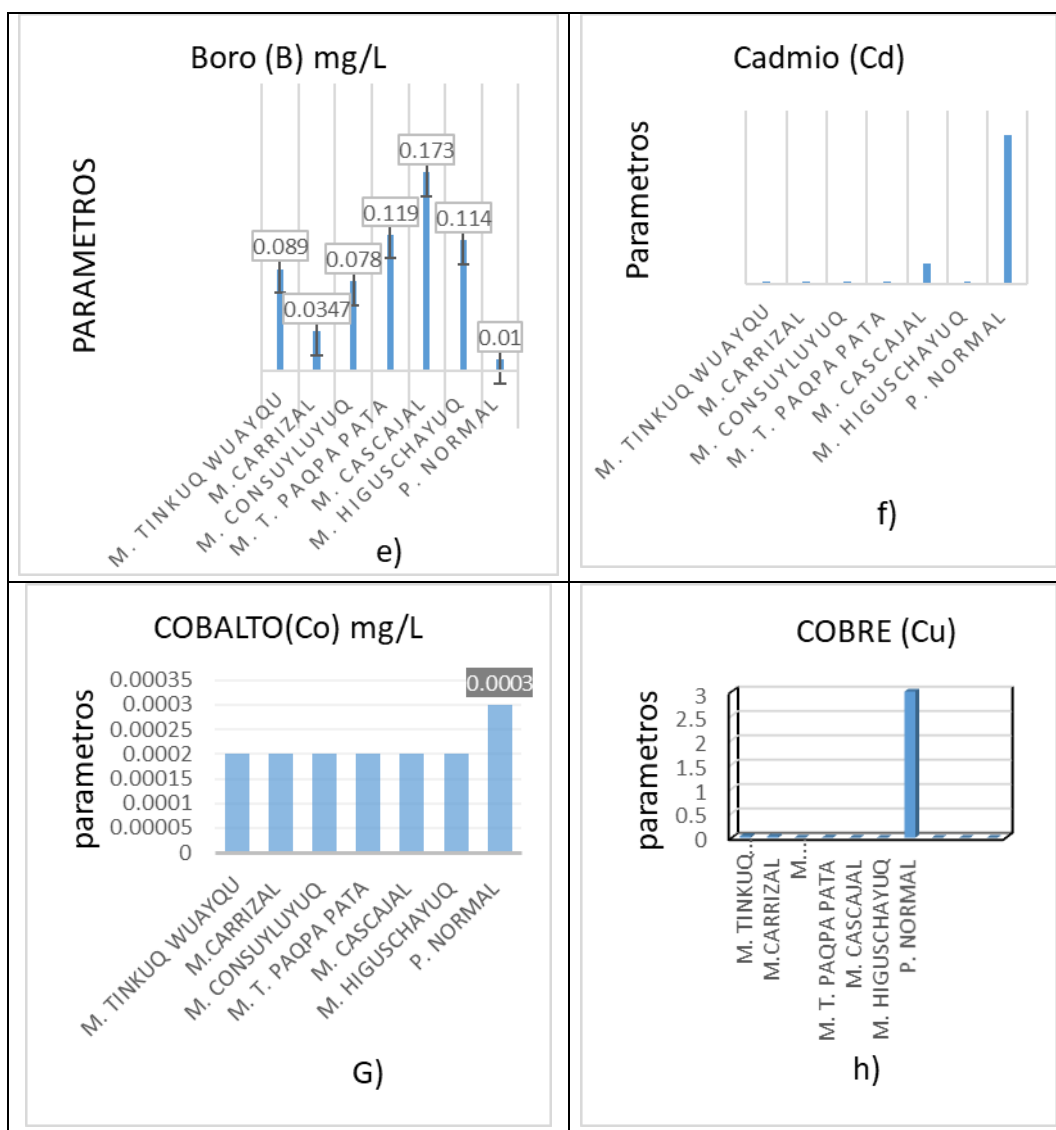
b) La concentración de Antimonio (Sb) mg/L, en los siete fuentes de agua es de 0.01, se encuentra por debajo de los parámetros permitidos que es 0.02 mg/L.

c) Los valores de fondo de concentración de arsénico en aguas subterráneas son, para la mayoría de los casos, inferiores a $10 \mu\text{g l}^{-1}$, en casos de los manantes en estudio son muy bajos de lo permitido.

d) El contenido de berilio en los manantes muestreadas son muy bajos de lo permitido de lo normal que es 0.015 mg/l . de agua.

Figura 20

El contenido de Boro, Cadmio, Cobalto y cobre en las fuentes de agua del Fundo Santo Tomás.



Nota. Elaboración propia para el estudio

e) El contenido de boro en las fuentes de agua muestreada tiene parámetros muy altos, en caso del manante cascajal tiene 0.173 mg/L . Algunas regiones pueden presentar

signos de toxicidad debido a la presencia de boro, que puede causar daños importantes a las plantas cuando se tratan con agua de riego que contiene esta sustancia tóxica.

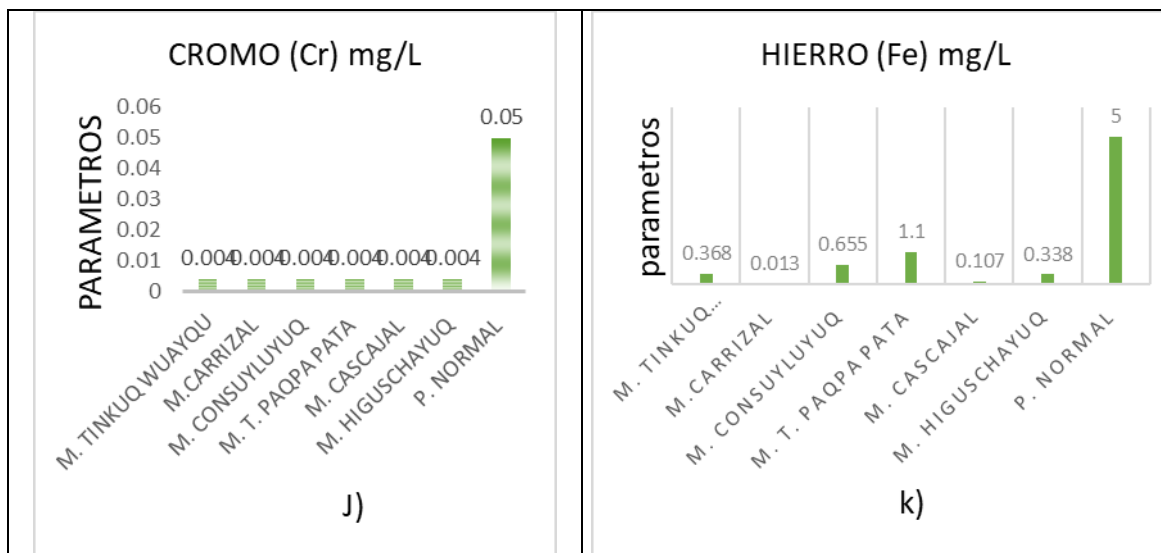
f) Contenido de cadmio es muy bajo de lo normal que es de 0.003 de límite superior permisible Cd de todas las fuentes muestreadas son 0.0004 Cd en mg/L por litros de agua.

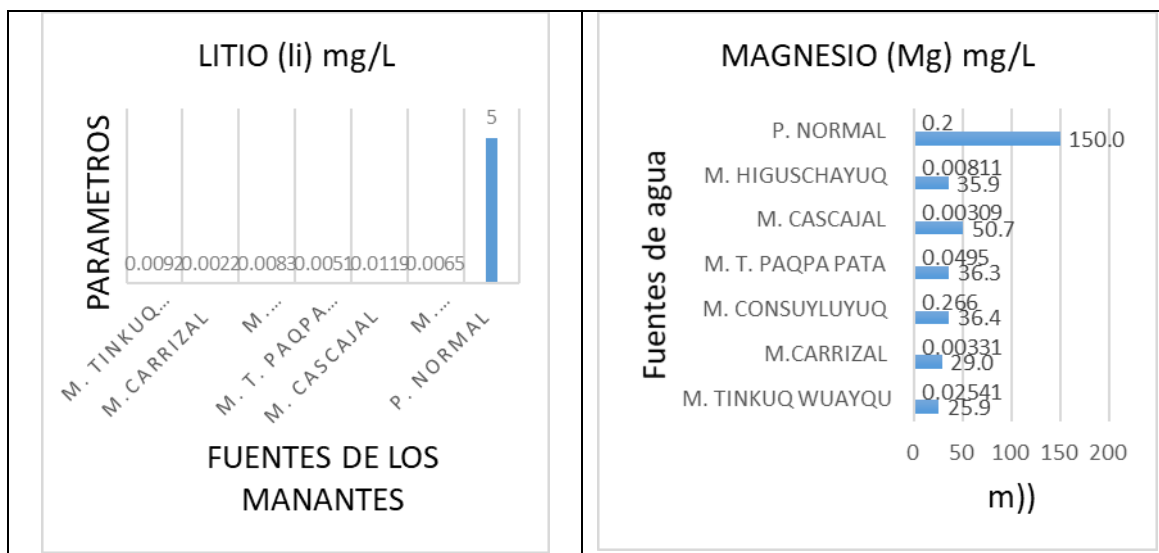
g) Contenido de cobalto en los síes fuentes de agua muestreada registran con un parámetro de 0.0002 mg/l. de contenido de cobalto, el parámetro máximo límite permitido es de 0.003 mg/L de agua de riego. Según la FAO, se cree que las soluciones nutritivas que contienen 0,1 mg/l de cobalto son tóxicas para los tomates. Esto lo confirman sus hallazgos. En suelos alcalinos y neutros, este elemento normalmente no se activa.

h) Contenido de cobre en las fuentes de agua muestreada se registra dentro del límite muy bajo según el resultado realizado. Las investigaciones realizadas por la FAO indican que niveles de cobre de 0,1 a 1 mg/l en soluciones nutritivas son tóxicos para muchos cultivos. Los suelos neutros lo vuelven inactivo.

Figura 21

Contenido de cromo, hierro, litio y manganeso en las fuentes de agua del fundo Santo Tomás





Nota. Elaboración propia para el estudio

j) Entre los elementos naturales, el Cromo está presente en rocas, plantas, suelos y animales, así como en el humus y los gases volcánicos, en las fuentes de estudio se encuentra en un límite muy bajo tiene un parámetro 0.004 mg/L. según FAO, establece una concentración de 0.1 mg/l de Cromo para aguas destinadas al riego.

k) El hierro es un metal extremadamente abundante que se encuentra en cantidades significativas en rocas y suelos, generalmente en una forma que no se puede descomponer. El contenido de hierro en las fuentes de agua es estudio son muy bajas no superan al parámetro normal permitido, la más alta es del lugar denominado manante paqpa pata que tiene 1.1 mg/L de agua que fluye de esta quebrada.

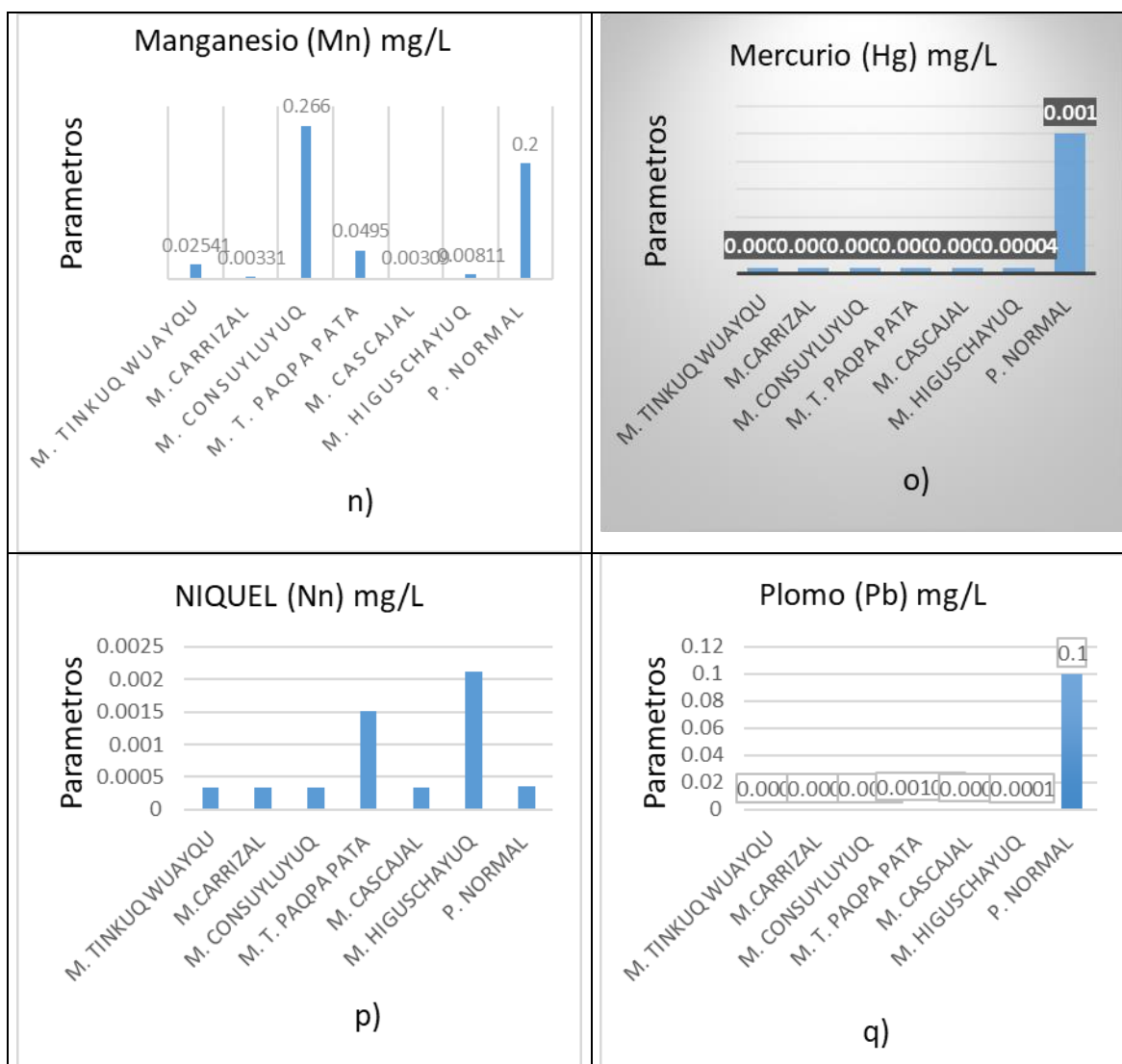
l) Las investigaciones de la FAO indican que el litio es tolerante a concentraciones de hasta 5 mg/l, puede transportarse en el suelo, es tóxico para los cítricos en concentraciones que oscilan entre 0,075 mg por litro y se comporta como el boro. La presencia de litio en las fuentes de agua en estudio es muy bajas la más alta tiene 0.0092 mg/l de agua, está debajo del parámetro normal permitido.

m) Numerosos minerales de roca, incluidas la dolomita, la magnesita y la serpentina, contienen cantidades significativas de este metal debido a su abundancia en la naturaleza. La sustancia puede encontrarse en agua de mar, aguas subterráneas y lechos salinos. En términos de abundancia, es el tercer metal más frecuente en la corteza terrestre, después del aluminio y el hierro. La concentración de este material en las

fuentes de agua en estudio existe en bajas cantidades, la más alta tiene 50.7 mg/l, en el mamante denominado cascajal.

Figura 22

Contenido de manganeso, mercurio, Níquel y plomo en las fuentes de agua de riego del fundo Santo Tomás



Nota. Elaboración propia para el estudio

n) La FAO ha fijado un límite de 0,20 mg/l de Manganeso en el agua de riego. Se encontró que una fuente de agua llamada consuylyuq tenía una concentración de 0,266 mg/l, mientras que otras fuentes tenían niveles variables del parámetro normal o permitido.

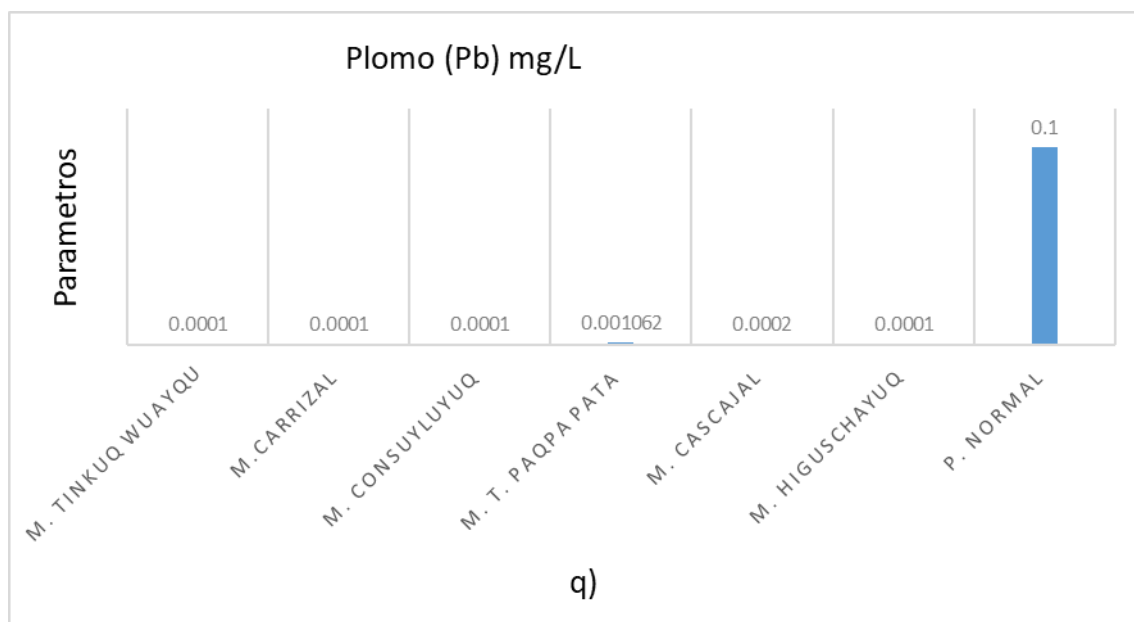
o) Si bien el Mercurio no es un elemento esencial para la vida, ha estado presente en la naturaleza como una concentración potencial a la que los seres vivos se han adaptado. Los procesos naturales que conducen a ella incluyen el vulcanismo, la

desgasificación de la corteza terrestre, la erosión y la disolución de minerales en las rocas debido a la penetración de agua durante períodos prolongados. El contenido de mercurio en las fuentes muestreadas con muy bajas, según La Ley General de Aguas establece para el Mercurio una de concentración, de 0.01 mg/l, para Aguas destinadas al riego de vegetales de Consumo Crudo y bebida de animales, de a la clase III.

p) El níquel es una sustancia natural abundante, dura y flexible, con la capacidad de brillar profundamente. Presenta características magnéticas por debajo de 345 °C y está presente en cinco formas isotópicas diferentes. La concentración de níquel en el agua de riego no debe exceder los 0,20 mg/l, según lo determinado por la FAO. En las fuentes muestreadas encontramos en dos fuentes denominado paqpapata y higuschayuq tiene 0.00211 y 0.0152 mg/l. de agua. Brown (1967) ha establecido la importancia del níquel en el mayor crecimiento de las plantas, ya que es esencial para el crecimiento de la cebada. Los tomates, los granos de avena y el trigo también se benefician de los efectos positivos del níquel, que se encuentra en algunas algas.

Figura 23

La presencia de plomo en las aguas muestreadas



Nota. Elaboración propia para el estudio

q) La Ley General de Aguas establece para el Plomo un valor de concentración, de 0.1 mg/l para Aguas destinadas al riego de vegetales de Consumo Crudo y bebida de animales, correspondiente a la clase III.

El contenido de plomo es muy bajas en las fuentes de agua en estudio.

5.1.3. Características físicas (materia orgánica, arena, limo y arcilla) del suelo para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción

Santo Tomás, Abancay

Tabla 5

Características físicas y químicas de las cinco (05) muestras tomadas de las distintas áreas del suelo agrícola del Centro de Investigación y Producción Santo Tomás –UTEA

N°	Sector	pH (6)	(*)CE (ds/m)	(*) P (mg/kg)	(*) K disponible (mg/kg)	(*) ANALISIS TEXTURAL				CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO meq/100g							(*) M.O. %	(*) Co3C a%	(*) ELEMENTOS DISPONIBLES mg/kg							
						% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE TEXTURAL	(*) Ca ⁺⁺	(*) Mg ⁺⁺	(*) K ⁺	(*) Na ⁺	Al ³⁺ -H ⁺	(*) Sumam de cationes	(*) C.I.C.Total			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SO4 ⁻	B	Cu	Fe	Mn	Zn
1	Área de Invernadero	8.19	0.44	17.78	322.4	58	30	12	Francoso arenoso	0.4	7.24	1	0.49	0.09	9.1	9.1	2.74	3.04	7454	936.2	10.29	1	4.26	5.84	7.7	0.38
2	Área módulo académico	8.32	0.41	18.15	207.5	64	30	6	Francoso arenoso	3.34	3.75	0.7	0.5	0.09	8.3	8.3	2.35	4.65	8339	941.7	10.59	1	2.95	4.58	7.7	0.4
3	Pampa esperanza I	8.31	0.67	12.72	396.8	54	32	14	Francoso arenoso	5.57	4.4	1.1	0.39	0.09	11.42	11.42	2.43	6.47	6936	552.6	82.96	1	3.96	4.57	5.8	0.46
4	Pampa esperanza -II	8.11	0.69	15.5	472.4	56	24	20	Francoso arcillo arenoso	11.91	3.79	1.2	0.4	0.09	17.27	17.27	2.46	3.05	7010	497.4	30.38	1	3.56	0.79	6.9	0.6
5	P. Consuyuyuy	8.07	1.51	19.06	1215.6	56	32	12	Francoso arenoso	4.98	6.34	2.3	0.2	0.09	13.79	13.79	3.8	5.24	8404	865	15.14	2	2.14	6.17	6.9	0.47
6	P. Recomendable	7.5	2	20-40	150-250					2	5	2.6	10	5					100-200(60-180)	6.00	0.5-	0.6	7.4	7	1	

Nota. Elaboración propia

A) Análisis textural del suelo

La ausencia de análisis de suelos en el valle de Pachachaca y sus zonas montañosas se debe a falta de recursos económicos o desconocimiento de su importancia. Por ello, la investigación se centra en el manejo del suelo para una agricultura sostenible. Este trabajo está diseñado para establecer las propiedades de los suelos del Centro de Investigación y Producción Santo Tomas, específicamente de las provincias de Abancay del Distritos de Pichirhua y la localidad Fundo Santo Toma que comprende las 320 hectáreas de terreno para uso de Investigación en temas agropecuarias y agroindustriales del valle interandino de Apurímac.

Tabla 6

Análisis textural de áreas de suelo muestreado

Unidad	(*) ANALISIS TEXTURAL					
	Area de invernadero	Area M. Academico	Pampa Esperanza - I	Pampa Esperanza - I	Area Consuytuyuyq	P. Recomendado
pH (6)	8.19	8.32	8.31	8.11	8.07	7.5
(*)C.E. (ds/m) (*)	0.44	0.41	0.67	0.69	1.51	2
(*) P disponible (mg/kg)	17.78	18.15	12.72	15.5	19.06	35
(*) K disponible (mg/kg)	322.4	207.5	395.8	472.4	1215.6	250
% Arena	58	64	54	56	56	
%Limo	30	30	32	24	32	
% Arcilla	12	6	14	20	12	
Clase textural	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arcillo arenoso	Franco arenoso	
(*) M.O. %	2.74	2.35	2.43	2.46	3.8	
(*) Co3Ca%	3.04	4.65	6.47	3.05	5.24	

Nota. Elaboración propia para el estudio

a) Contenido de pH.

La acidez o alcalinidad de una solución está determinada por el pH, que se derive de mediciones del agua. El pH se define como el logaritmo negativo de la actividad de los protones (H^+) en una solución acuosa, siendo el valor $pH = -\log(H^+)$.

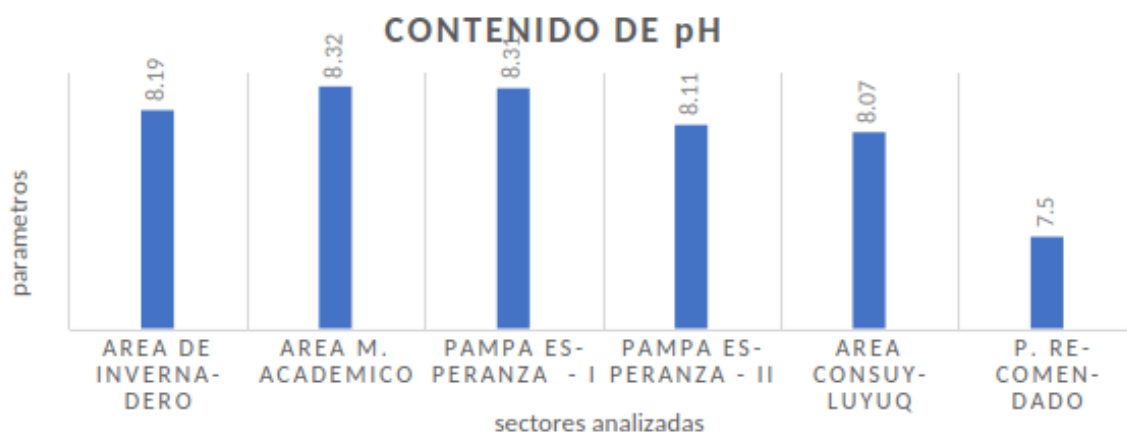
El pH es una propiedad química vital de los suelos, ya que indica si la solución del suelo es alcalina o ácida, que es donde las raíces y los microorganismos del suelo obtienen nutrientes. El pH usa una escala de medición cuyo rango de fluctuación es de 0

a 14. Se basa en el principio de que la constante de equilibrio de la disociación del agua es 10^{-14} .

Los fuentes de suelo muestreada en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomas registra la más alta un pH de 8.32 que es la más alta del lugar denominado área de modulo académico, las demás áreas tiene sobre 8 7 la más baja, es significa que los síes muestras de suelo son ligeramente alcalinos esto quiere decir para el mejor aprovechamiento de uso de insumos es necesario utilizar los productos de correctores de pH, que hoy en día existe en el mercado en distintas presentaciones. Por el contrario, el pH del suelo o la reacción del suelo tiene un impacto significativo en la disponibilidad y absorción de nutrientes y tiene un papel importante en la configuración de la estructura del suelo circundante. El pH de las plantas es un factor determinante en la óptima absorción de nutrientes por parte de sus raíces, y como plantas receptoras han desarrollado esta tolerancia con el tiempo.

Figura 24

Contenido de pH, en los suelos muestreados



Nota. Elaboración propia para el estudio

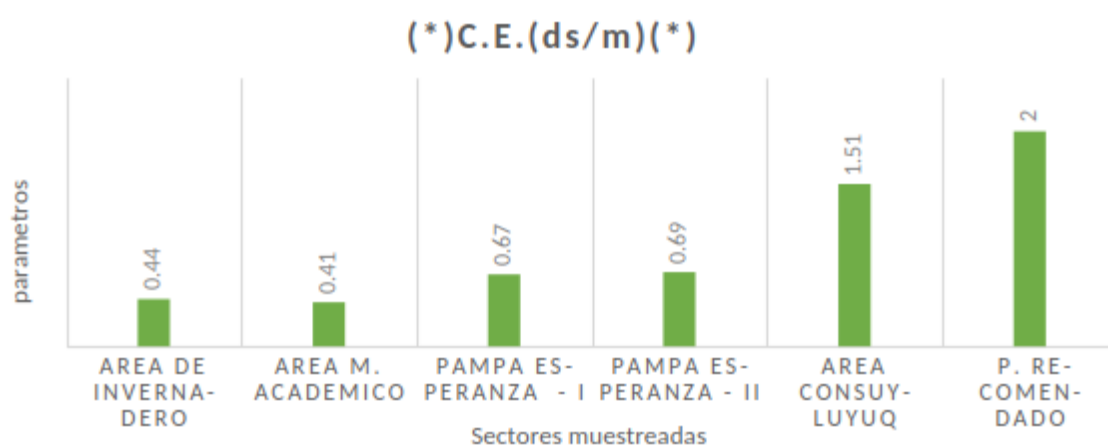
b) Conductividad eléctrica de las áreas muestreada

La conductividad eléctrica del agua pura es muy baja. La conductividad del agua natural se correlaciona positivamente con el número y las características de los electrolitos presentes en su solución, que también contienen iones. La razón es que los valores de conductividad se emplean como medida aproximada de la concentración de

soluto. La conductibilidad eléctrica en los síes muestras realizadas son muy bajas de lo normal, la más alta es de 1.51 del lugar denominado consuyluyuq, en caso de las demás áreas muestran de 0.41 Ds/m (*). Ocurre la precipitación de sales con obstrucción de los goteros. Por otro lado, hay un daño al cultivo por una dosis muy concentrada en sales no permite la correcta absorción. Normalmente la concentración de sales es mayor dentro de la célula que en el agua del suelo. Si esto no ocurre, no se produce absorción de agua y la planta se marchita. Finalmente, el suelo se saliniza.

Figura 25

Conductibilidad eléctrica del suelo del centro de Investigación y Producción Santo Tomás.



Nota. Elaboración propia para el estudio

c) Contenido de Fosforo (P) disponible.

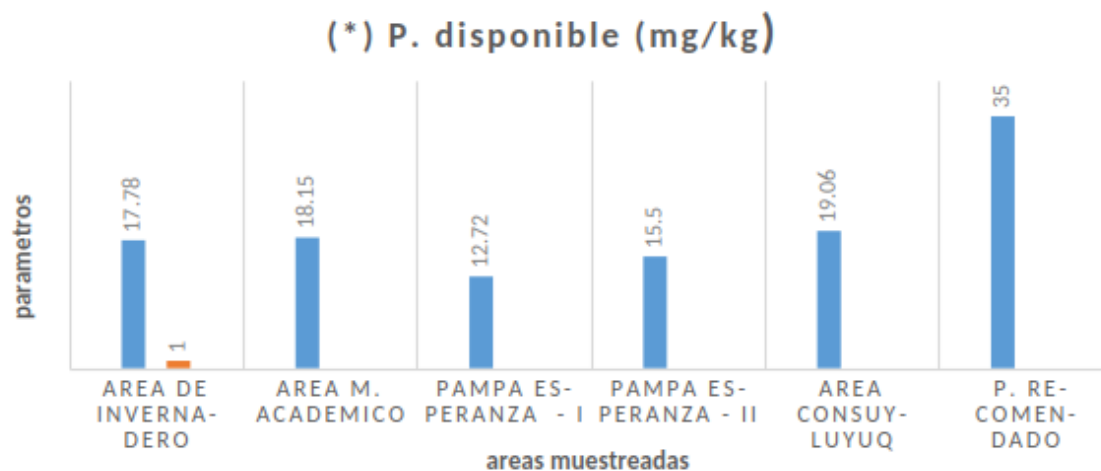
La investigación del comportamiento del fósforo en suelos agrícolas es crucial ya que es un macronutriente esencial que normalmente está ausente en los suelos tropicales y también enfrenta el problema de la pérdida de solubilidad causada por la fijación.

En las áreas muestreadas del dicho centro de producción tiene un parámetro en rango regular, la más alta es de 19.06 mg/kg. Del lugar denominado consuyluyuq que es un área de terreno con muchos años sin explotar solo crecen las plantas nativas, también según información recabada en lugar era un espacio de echadero de ganado vacuno al contar en su cercanía una fuente de manante de agua por todo ello tiene un contenido de P en comparación con otras áreas de suelo en estudio. El lugar denominado pampa de

esperanza – I siempre ha estado con instalación de cultivos por tal motivo tiene baja concentración de fósforo se registra el 12.72 mg/kg.

Figura 26

Disponibilidad de fósforo (P) en las áreas en estudio.



Nota. Elaboración propia para el estudio

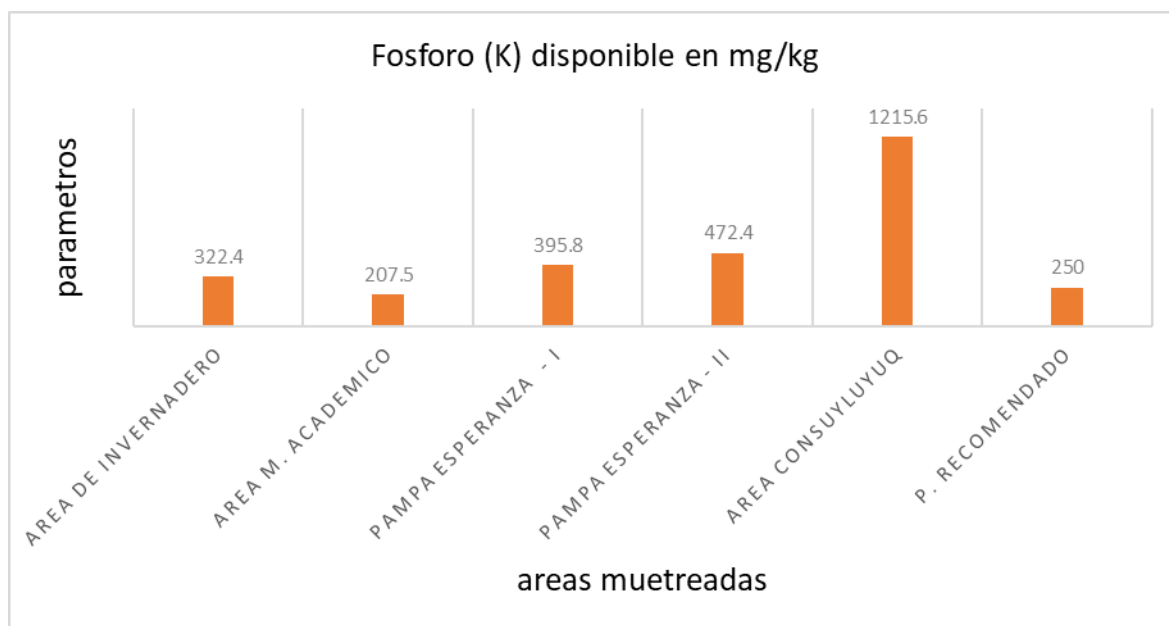
d) Potasio (K) disponible en mg/Kg.

Las plantas requieren potasio (K) como uno de sus tres macronutrientes principales. Su implicación en múltiples procesos metabólicos es de gran importancia, y aún no se encuentra como componente de compuestos estructurales (Navarro y Navarro 2003; Roldán et al. 2004). Este catión químico activa más de 60 enzimas que participan en procesos como la fotosíntesis, la química de las proteínas y la cromátida de los carbohidratos.

El contenido de K en las áreas muestreadas es muy alto, en el lugar denominado consuylyuyuq tiene 1215 mg/kg, esto se debe que en la cabecera por donde escurre el agua hay en abundancia la presencia de material potásico, el parámetro normal o estándar es de 250 mg/Kl de tierra agrícola.

Figura 27

Contenido de fósforo en los suelos muestreados.



Nota. Elaboración propia para el estudio

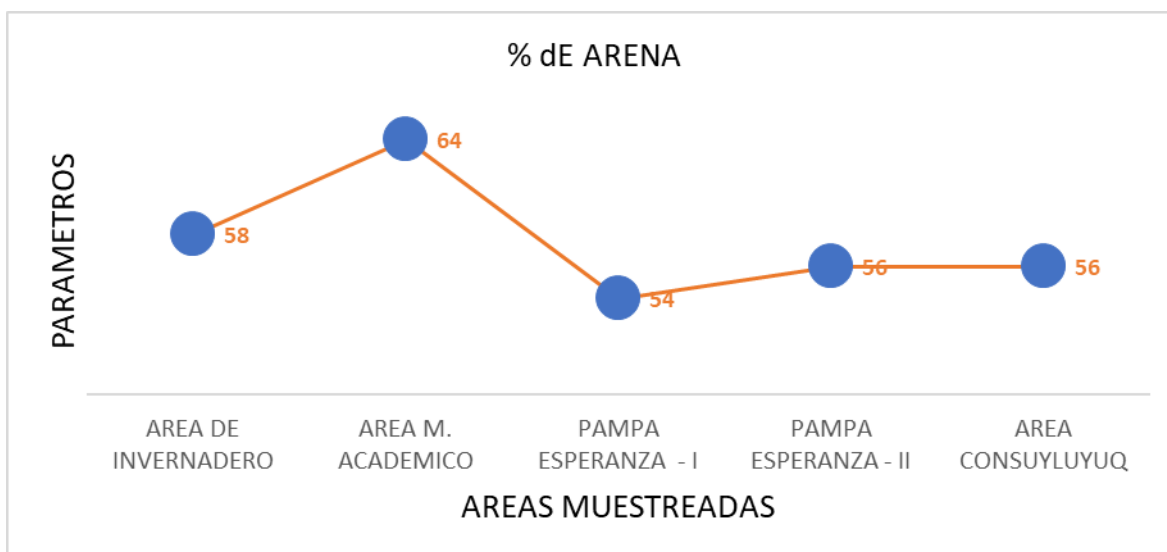
e) Porcentaje de arena

El estado físico de un suelo afecta su rigidez y resistencia de soporte, así como su capacidad para absorber raíces, resistir la erosión, almacenar agua, drenar nutrientes y retener nutrientes. Las propiedades físicas del suelo son cruciales para que las comprendan los profesionales del uso de la tierra, ya que afectan el crecimiento de las plantas, la actividad humana y la importancia de mantener condiciones óptimas del suelo.

Los suelos del Centro de Investigación y producción en uno de sus áreas muestreadas tienen un 64 % de arena, es un suelo franco arenosa, este suelo tiene poca cantidad de otros materiales por tal razón en el lugar se nota solo el desarrollo de algunas plantas de raíces superficiales, y el suelo del lugar denominado pampa de esperanza II tiene una textura de franco arcillo arenoso que tiene 56, 24, 20 de textura física del suelo en estudio.

Figura 28

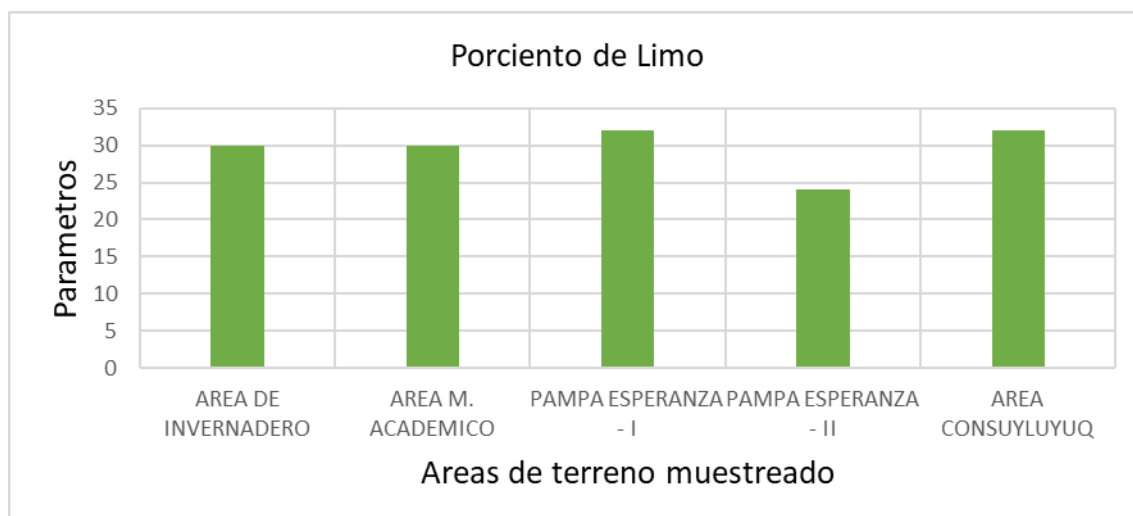
Porcentaje de arena de los suelos en estudio



Nota. Elaboración propia para el estudio

f) Porcentaje de Limo

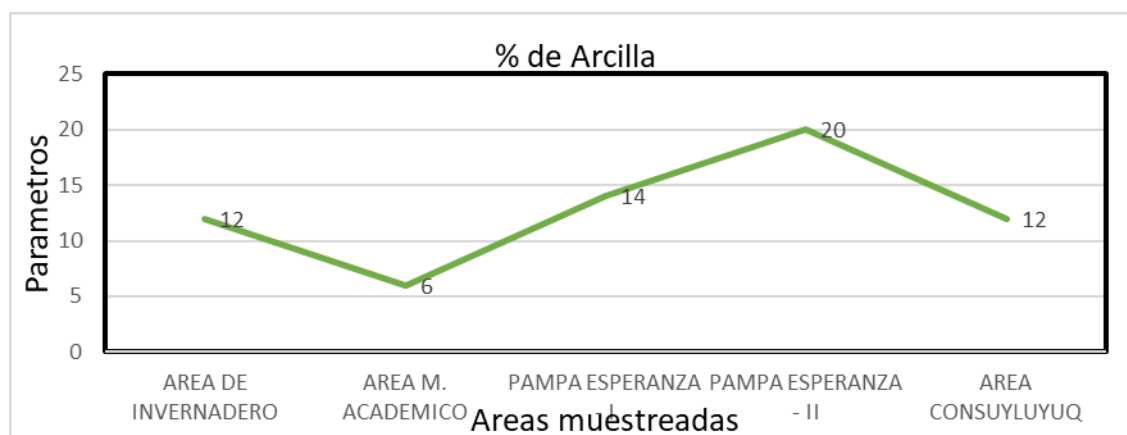
El limo es un tipo de sedimento no consolidado que constituye la porción más fina, con partículas que generalmente son más pequeñas que las de arena y más grandes que las de arcilla. El crecimiento microbiológico produce una sustancia orgánica viscosa que sobresale al adherirse a otros objetos. Una capa de biomasa (humus) se recolecta mediante filtros de arena o filtros percoladores y se libera periódicamente para ser utilizada en clarificadores. Componente del suelo con un tamaño comprendido entre 0,02 y 0,002 milímetros de diámetro, eclipsando a la arena y siendo más extenso que la arcilla. En los suelos en estudio se registra de 24 a 30 % de los suelos con limo la más alta tiene el lugar denominado consuylyuq y pampa esperanza – II, son materiales acumulados de sedimentos de materia orgánica y otro componente que se forma como barro y sirve de abono para el aprovechamiento de muchos de los cultivos.

Figura 29*Porcentaje de contenido de limo*

Nota. Elaboración propia para el estudio

g) Porcentaje de arcilla

La física y la química del suelo están estrechamente relacionadas con la textura, incluida su capacidad para retener agua, porosidad, aireación, densidad, estabilidad química, nutrientes y estructura. En las cinco áreas muestreadas del suelo del Centro de Investigación y Producción Santo Tomas, tiene un 6 a 20% de arcilla la más alta se presenta en el lugar denominado pampa de esperanza – II, este material arcilloso es muy importante en la agricultura porque interviene en la retención del agua y el suelo.

Figura 30*Porcentaje de arcilla de los suelos en estudio.*

Nota. Elaboración propia para el estudio.

h) Contenido de materia orgánica (M.O) (%).

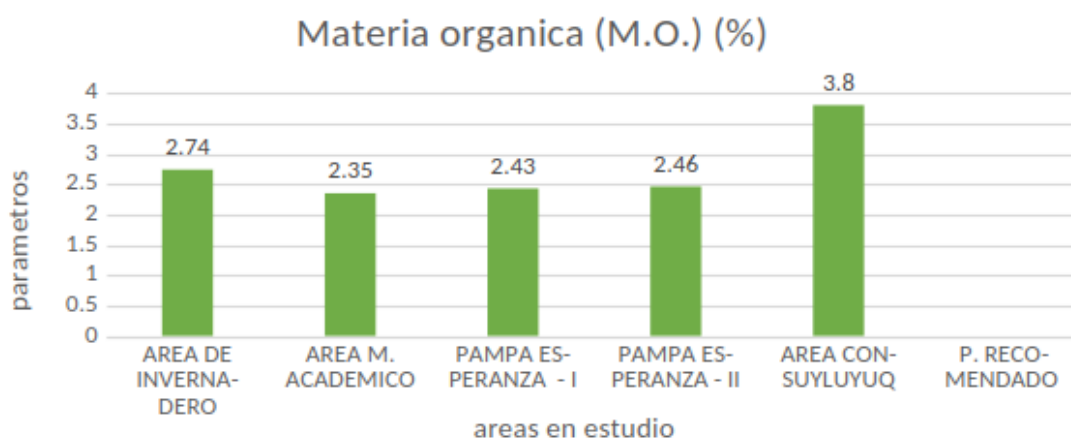
La materia orgánica (MO) se compone de una variedad significativa de compuestos orgánicos que varían en complejidad y se encuentran en diferentes etapas, dependiendo del momento del muestreo, las condiciones edafoclimáticas, las precipitaciones y los desechos orgánicos aplicados al suelo. Los procesos de humificación y mineralización son responsables de la migración de fracciones de carbono y nutrientes solubles en el perfil del suelo, así como de su retención por la fracción orgánica o mineral del terreno.

Según Lado et al. (2004), la MOS o materia orgánica del suelo es un componente esencial de la estructura del suelo que mantiene el vínculo entre las partículas minerales y las fuerzas desestabilizadoras como las gotas de lluvia y la humedad.

En el siguiente gráfico se muestra el contenido de materia orgánica en los suelos muestreados, la mayor cantidad tiene el lugar denominado consuylyuyq tiene 3.8 % que es la más alta en comparación con las demás áreas en estudio y luego sigue el área del invernadero, estas parcelas están casi junto al pie de una pradera denominada toreachuyq, en el lugar se nota la presencia de tierra de color oscuro gris, esto se debe porque en el lugar hay bastante vegetación y echadero de los animales desde la época de los hacendados.

Figura 31

Contenido de materia orgánica en los seis áreas de terreno en estudio.



Nota. Elaboración propia para el estudio

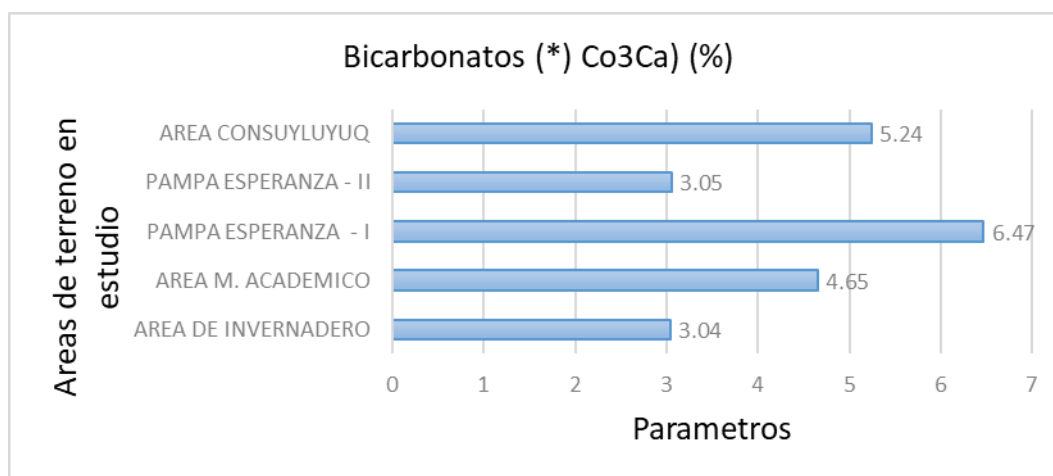
i) Contenido de bicarbonatos (*) (Co_3Ca) (%).

La agricultura se beneficia del uso de carbonato de calcio para producir cultivos sanos y productivos. Es un elemento crucial para las plantas ya que contiene cantidades importantes de calcio. Además, el carbonato de calcio puede regular el pH del suelo para crear un ambiente ideal para el crecimiento de las plantas. Equilibra el pH para aumentar la disponibilidad de nutrientes clave y promueve la absorción eficiente de minerales por las raíces.

La presencia de los carbonatos en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomas se registran en mayor porcentaje en el lugar denominado consuyluyuq 5.24%, es la más alta en comparación con las demás áreas de estudio, en la zona del estudio existe áreas con yacimiento de este material, en época de la hacienda incluso en él lugar existe hornos para el procesamiento de este material llamado cay e yeso para ser utilizados en construcción.

Figura 32

Contenido de carbonatos en los suelos en estudio



Nota. Elaboración propia para el estudio

5.1.4. Características químicas del suelo para uso agrícola en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás, Abancay – Apurímac 2023.

5.1.4.1. Capacidad de intercambio cationico meq/100g.

En los suelos la CIC es una propiedad química que describe el proceso de intercambio catiónico en complejo con respecto a la absorción, resorción y liberación. El complejo de intercambio está formado principalmente por arcillas y material orgánico del suelo. La alta tasa de adsorción de cationes en las arcillas se debe a sus cargas negativas, pero la capacidad puede ser permanente o dependiente del pH, según el tipo de arcilla. Las arcillas y la materia orgánica del suelo tienen un impacto significativo en la CCA. La arcilla tiene una CIC promedio de 10 a 150 cmol (+)/kg, y la materia orgánica entre 200 y 400 [volumen molar]". La CIC de un suelo difiere dependiendo de los minerales arcillosos y elementos orgánicos presentes en cada sitio. Este atributo es crucial para la capacidad del suelo de gestionar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, incluidos K^+ , Mg^{++} y Ca^{++} .

Para decirlo de otra manera, la CIC se refiere a la cantidad de cationes que puede o pueden ser retenidos por un suelo particular en términos de intercambio. Comprender la CIC de un suelo es crucial, ya que indica la capacidad del suelo para almacenar e intercambiar nutrientes. Además, la CIC tiene una influencia directa sobre la cantidad y frecuencia de la aplicación de fertilizantes.

Normalmente, los suelos con alto contenido de arcilla y/o materia orgánica tienen una CIC más alta. Una CIC alta da como resultado una mejor retención de nutrientes, lo que generalmente conduce a una mayor fertilidad. La CIC de diferentes arcillas, materiales orgánicos y texturas del suelo se muestra en la **Tabla 06**.

Tabla 7*Capacidad de intercambio catiónico meq/100g*

UNIDAD DE MEDIDA	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO meq/100g					
	AREA DE INVERNA DERO	AREA M. ACADEMI CO	PAMPA ESPERANZ A - I	PAMPA ESPERANZA - II	AREA CONSUYL UYUQ	P. RECOMEN DADO
(*) Ca**	0.4	3.34	5.57	11.91	4.98	2
(*) Mg**	7.24	3.75	4.4	3.79	6.34	5
(*)K*	0.97	0.71	1.06	1.17	2.27	2.59
(*) Na*	0.49	0.5	0.39	0.4	0.2	10
Al*3+H*	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	5
(*) suma de Cationes	9.1	8.3	11.42	17.27	13.79	
(*) C.I.C. total	9.1	8.3	11.42	17.27	13.79	

Nota. Elaboración propia para el estudio

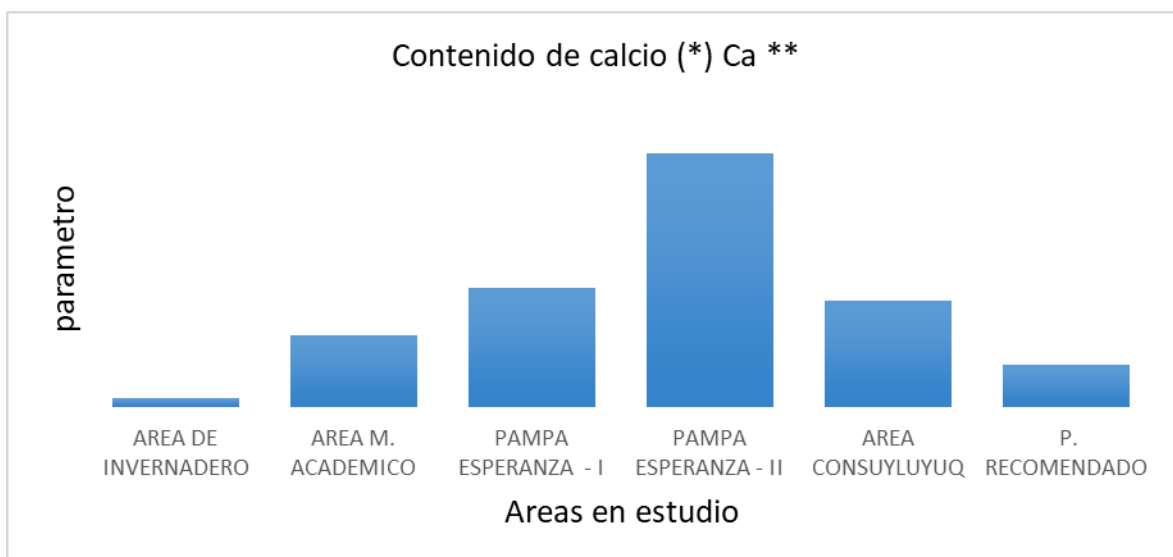
a) Contenido de calcio (Ca⁺⁺).

El crecimiento agrícola depende de la presencia de calcio (Ca). Su presencia da como resultado frutos más firmes. La resistencia estructural de las paredes y la elasticidad del tejido vegetal dependen del calcio agrícola. ¿Por qué? Es fundamental tener plantas que sean resistentes y saludables.

El micronutriente calcio (Ca) es un mineral que debe incluirse en nuestra dieta como elemento esencial. El elemento mineral es el más frecuente en nuestro cuerpo debido a su papel crucial en el soporte del esqueleto y los dientes. Su peso total en valores absolutos es de aproximadamente 1200 g (1,2 kg), lo que representa aproximadamente el 2% de la masa corporal). El esqueleto y los dientes contienen alrededor de un tercio del calcio del cuerpo, que se obtiene mediante el uso de hidroxapatita, una forma cristalina que contiene fósforo (Ca₁₀ [PO₄]₆ [OH]₂). Una parte de la fundición (1%) está contenida tanto en tejidos blandos como en fluidos corporales del cuerpo humano y animal. Los suelos muestreados del fundo Santo Tomas son muy ricos en cuanto la concentración del calcio, en el lugar denominado pampa de esperanza se registra 11.94 % esto se debe que en los últimos meses venimos aplicando Ca por vía foliar a arboles de palto y la más baja registra en el área del sector del invernadero que registra 0.4 % que es un elemento muy importante para el emprendimiento de instalaciones d los cultivos.

Figura 33

Contenido de calcio de los suelos en estudio.



Nota. Elaboración propia para el estudio

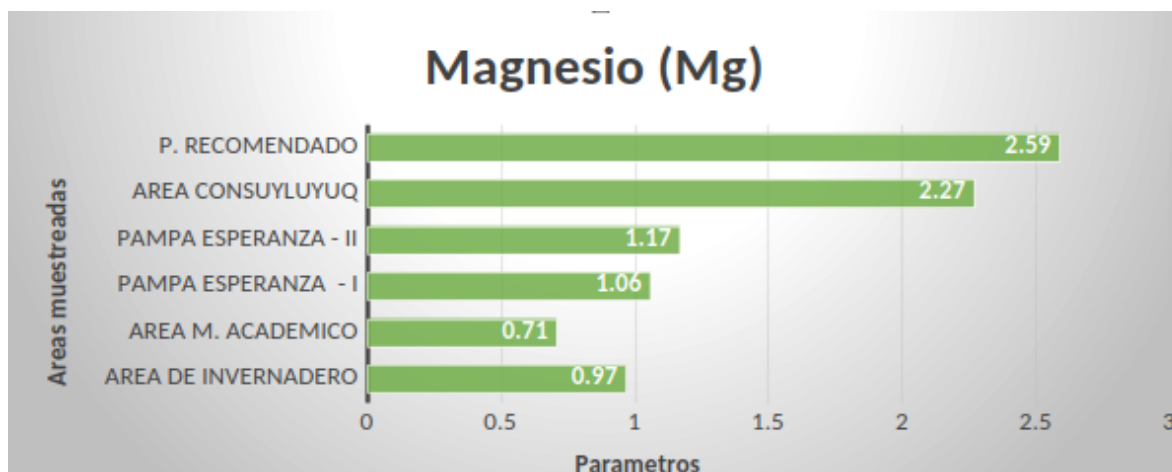
b) Contenido de magnesio (Mg).

El magnesio es un elemento de gran movilidad que se encuentra en las plantas y que es esencial para diversos procesos del metabolismo vegetal. El componente estructural de la molécula de clorofila es crucial tanto para la fotosíntesis como para la fijación de CO₂ como coenzima. La descomposición del suelo es responsable de la mayor parte del Mg, con concentraciones en el suelo que oscilan entre 5 y 50 ppm en zonas templadas y entre 120 y 2400 pmol en zonas de clima árido. La extensión y régimen del elemento determinan las pérdidas por lixiviación.

Este importante elemento en los suelos muestreados es bajo en comparación con el parámetro normal que es 2.59 mg/kg de suelo, la más alta es en el lugar denominado área lugar consuylyuyq tiene 2.27 mg/kg de suelo agrícola.

Figura 34

Contenido de magnesio en los suelos en estudio.



Nota. Elaboración propia para el estudio

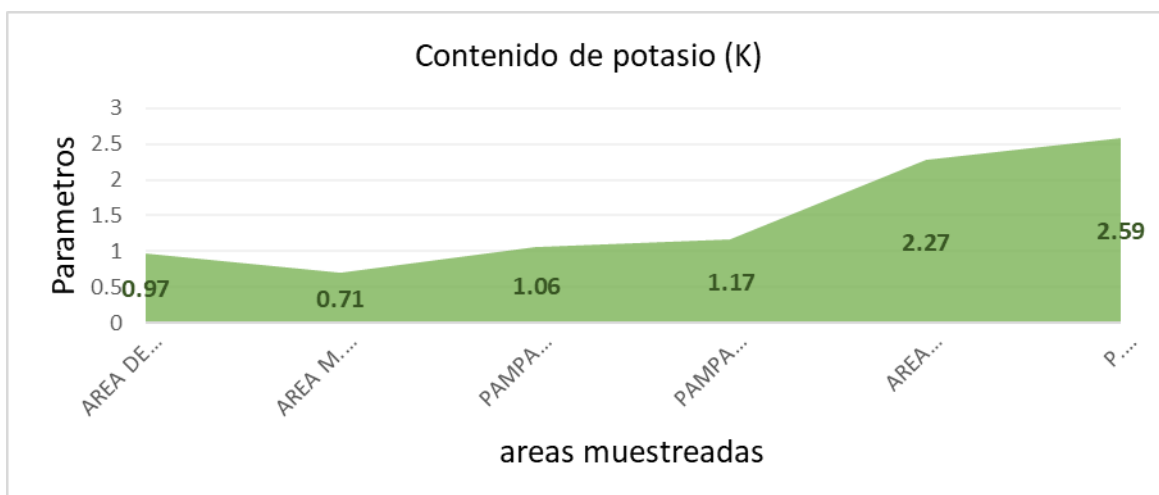
c) Contenido de potasio (k)

El potasio (K) es un elemento crucial para el correcto crecimiento y desarrollo de las plantas. Las plantas dependen de este elemento para múltiples funciones biológicas y fisiológicas, incluida la actividad enzimática, la producción de proteínas, la fotosíntesis (estructura bidimensional), la osmorregulación, el crecimiento de células madre, la transferencia de energía, el transporte de carga en el anillo de la planta y la formación del equilibrio aniónico. como resistencia al estrés biótico y abiótico.

El contenido de potasio (k) en los suelos muestreados del fundo Santo Tomas son muy bajos en comparación del parámetro normal o permitido es de 2.59 mg/kg de tierra, la más alta es del lugar denominado al área consuylyuyq tiene 2.27 mg/kg de tierra muestreada en caso las demás áreas son muy bajos.

Figura 35

Contenido de potasio de los suelos del fundo Santo Tomas.



Nota. Elaboración propia para el estudio

d) Contenido de sodio (Na):

Almasoum (2000) observó que las sales en el suelo o el agua de riego dificultan el crecimiento de las plantas, mientras que el menor desarrollo de las raíces y el rendimiento de los cultivos se ven afectados negativamente por el volumen de suelo estudiado. Sin embargo, el contenido de sodio (Na) en las áreas muestreadas son muy bajos, este elemento no es tan esencial para el crecimiento de las plantas, más bien son sales que puede afectar su desarrollo normal de las plantas, lo bueno se manifiesta en lo más bajo del parámetro normal o permitido que es 10 mg/kg de suelo, esto se presenta mayormente en los suelos de la costa peruana.

Figura 36

Contenido de sodio (Na) en los suelos en estudio



Nota. Elaboración propia para el estudio

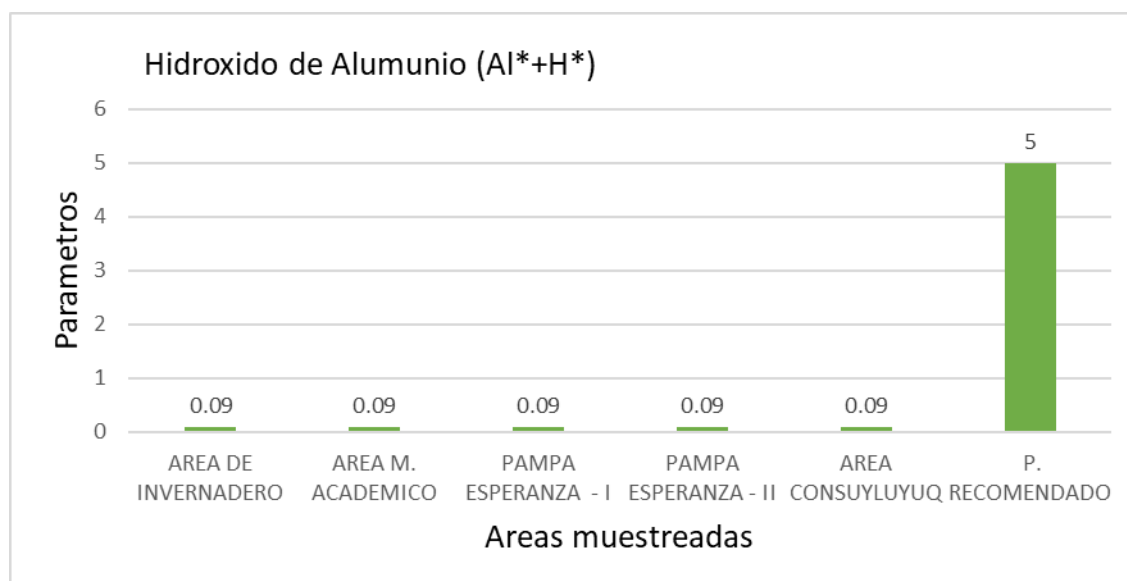
e) Contenido del hidróxido de aluminio

Según estimaciones, los problemas de acidez en los suelos agrícolas representan entre el 30 y el 40% de la producción mundial, lo que puede restringir el crecimiento y desarrollo de los cultivos. El óxido de aluminio (Al_2O_3) constituye más del 15% de la corteza terrestre y no es soluble en ambientes neutros o alcalinos, lo que lo hace menos tóxico para las plantas. Se vuelve más fácilmente disponible a medida que disminuye el pH del suelo, ocupando el 50% de todos los sitios de intercambio iónico en el suelo. Sin embargo, cuando esto ocurre, se vuelve mucho más abundante.

En los suelos del centro de Investigación y Producción Santo Tomas se muestra la baja presencia de hidróxido de aluminio, en todo caso no es de preocupación para la instalación de los cultivos de poca toleración de este elemento.

Figura 37

Contenido del hidróxido de aluminio en los suelos en estudio.



Nota. Elaboración propia para el estudio

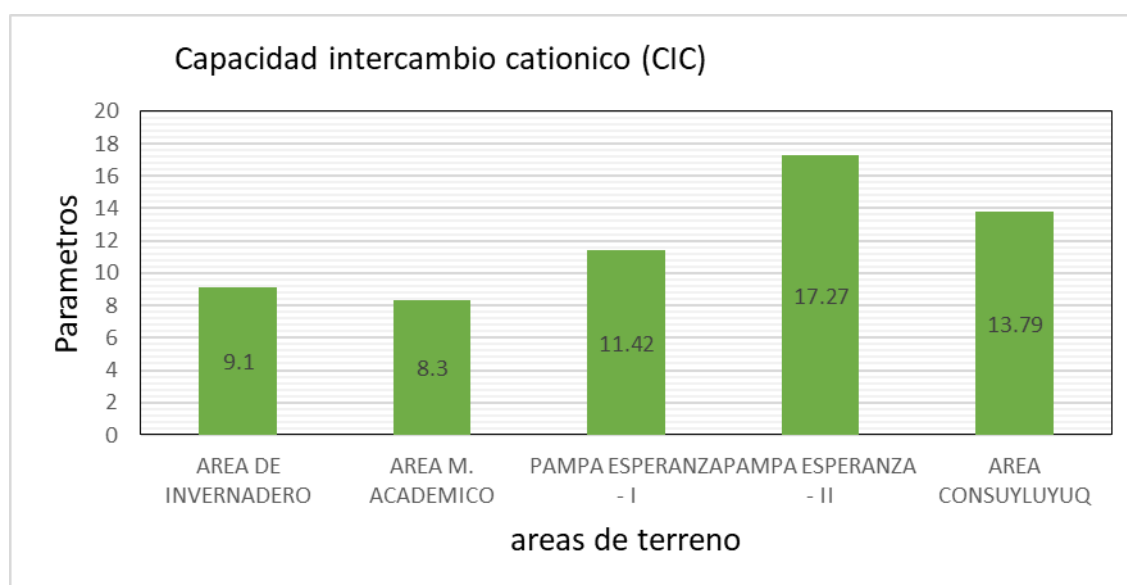
f) Contenido de capacidad intercambio catiónico (CIC).

En los suelos la CIC es una propiedad química que describe el proceso de intercambio catiónico en complejo con respecto a la absorción, resorción y liberación. El complejo de intercambio está formado principalmente por arcillas y material orgánico del suelo. La alta tasa de adsorción de cationes en las arcillas se debe a sus cargas

negativas, pero la capacidad puede ser permanente o dependiente del pH, según el tipo de arcilla. Las arcillas y la materia orgánica del suelo tienen un impacto significativo en la CCA. La arcilla tiene una CIC promedio de 10 a 150 cmol (+)/kg , y la materia orgánica entre 200 y 400 [volumen molar]¹. La CIC de un suelo difiere dependiendo de los minerales arcillosos y elementos orgánicos presentes en cada sitio. Este atributo es crucial para la capacidad del suelo de gestionar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, incluidos K^+ , Mg^{++} y Ca^{++} .

Figura 38

Contenido de CIC en los suelos en estudio.



Nota. Elaboración propia para el estudio

5.1.5. Elementos disponibles mg/kg.

La presencia de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en el suelo agrícola proporciona a las plantas macronutrientes, mientras que micronutrientes como zinc, boro, molibdeno, manganeso, cloro, cobre y otros son necesarios para el crecimiento de las plantas. Los suelos tropicales del trópico, incluido el valle de Abancay, contienen un 50% de materia mineral, un 35% de aire y un 10% de agua, así como un 5% de materia orgánica que contribuye a la fertilidad y la vida del suelo.

Tabla 8

Contenido de Elementos disponibles en mg/kg.

UNIDAD DE MEDIDA	(*) ELEMENTOS DISPONIBLES Mg/Kg					
	AREA DE INVERNADERO	AREA M. ACADÉMICO	PAMPA ESPERANZA A - I	PAMPA ESPERANZA A - II	AREA CONSUYLUYU Q	P. RECOMENDADO
Ca**	7454.3	8338.6	6936.3	7009.6	8404.4	2000
Mg**	936.16	941.72	552.63	497.38	864.96	180
SO ₄ *	10.29	10.59	82.96	30.38	16.14	6
B	0.88	0.87	0.87	1.14	2.03	2
Cu	4.26	2.95	3.96	3.66	2.14	0.6
Fe	5.84	4.58	4.57	0.79	6.17	7.4
Mn	7.72	7.72	5.79	6.91	6.87	7
Zn	0.38	0.4	0.46	0.6	0.47	1

Nota. Elaboración propia para el estudio.

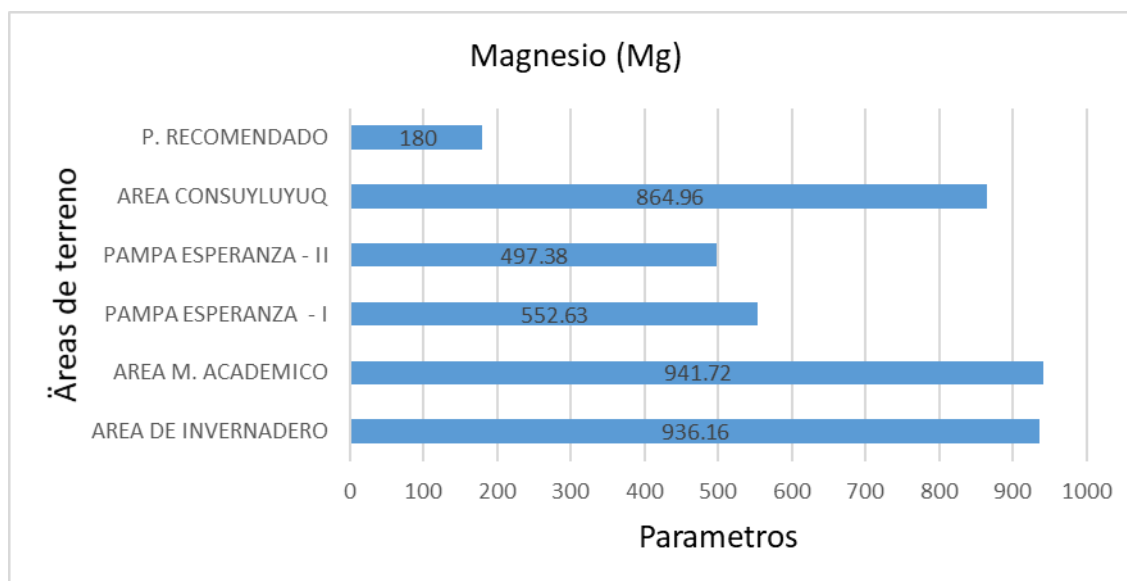
a) Contenido de sodio (Na)

El contenido excesivo de sodio puede afectar a las plantas y provocar problemas de permeabilidad en los suelos. Entre los cultivos muy susceptibles al sodio se encuentran los almendros, los aguacates, los frutales de hueso y los cítricos. En la mayoría de los árboles frutales y cítricos, la presencia de sodio en las hojas que excede del 0,3 al 0,5% del peso seco suele ser indicativo de toxicidad.

Los suelos muestreados en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomas tiene alta concentración de sodio en comparación con el parámetro normal es de 2000 mg/kg de suelo, mientras en las áreas muestreadas nos muestra todos sobre 6936.3 en lugar pampa esperanza -I y la más alta es de 8404.40 mg/kg de suelo, este resultado nos indica que nuestros suelos del lugar de estudio son muy altas se requiere realizar una corrección de este elemento.

Figura 39

Contenido de sodio en las áreas muestreadas.



Nota. Elaboración propia para el estudio

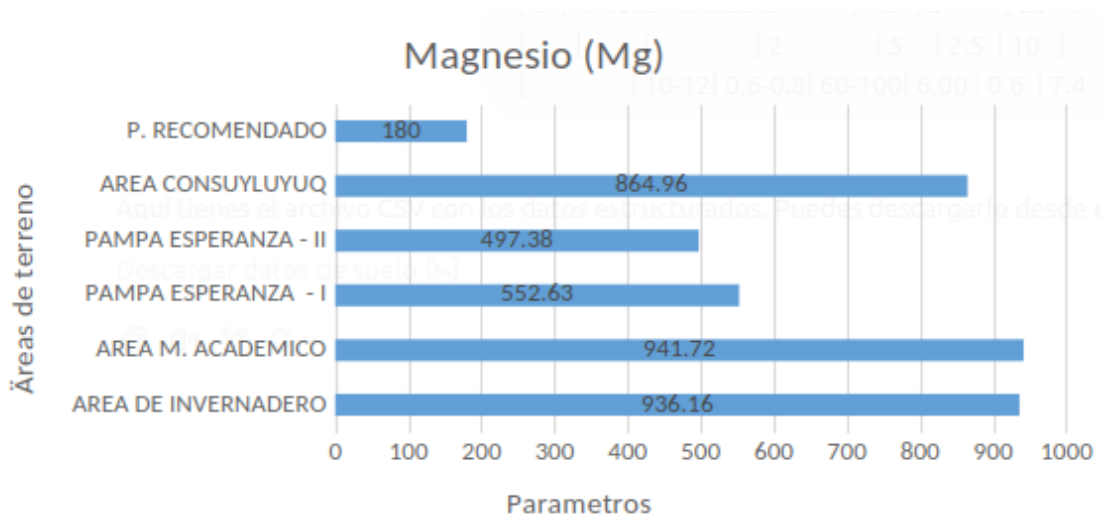
b) Contenido de magnesio (Mg)

El magnesio está limitado a 150 mg/l en el agua para tierras agrícolas de clase III, destinadas al cultivo de hortalizas y a la bebida de los animales, siendo la Ley General la que dicta esta concentración.

El contenido de Mg, en la mayoría de los suelos, es generalmente del orden de 0.05% para suelos arenosos y de 0.5% para suelos arcillosos. La concentración de magnesio en los suelos en estudio es muy alta en comparación con el parámetro normal que es 180 mg/kg de tierra agrícola, de las áreas denominado área de modulo académico tiene 941.72 mg/kg de suelo y luego sigue el espacio denominado área de invernadero también registra 936.16 Mg/kg de suelo.

Figura 40

Contenido de magnesio (Mg). en las áreas de terreno muestreado.



Nota. Elaboración propia para el estudio

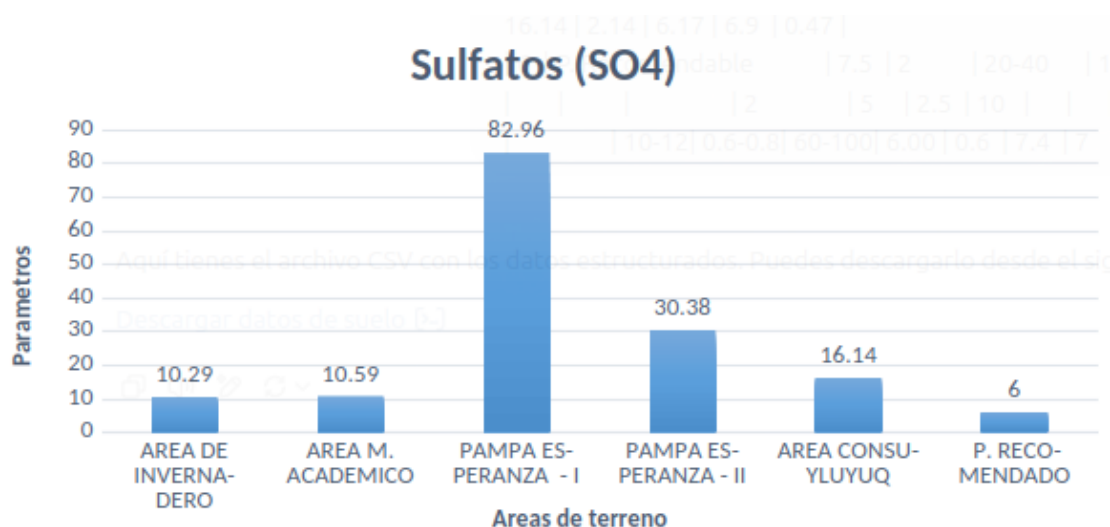
c) Contenido de sulfato (SO₄).

El uso de sulfato de amonio o productos químicos similares como fertilizantes químicos en la agricultura está muy extendido. La combinación de amoniaco y ácido sulfúrico produce una sal que se utiliza en agricultura extensiva e intensiva.

En las áreas de terreno en estudio se manifiesta 82.96 mg/kg de suelo que es la más alta en el lugar denominado pampa de esperanza –I y de igual sigue del lugar denominado pampa de esperanza –II, esto expresión se presenta que las áreas en referencia están con instalación de plantones de palto y otros donde constantemente venimos realizando los labores agrícolas en ello estamos introduciendo los sulfatos n forma de fertilizantes, mientras en los terrenos no cultivados se tiene poca presencia de sulfato.

Figura 41

Contenido de sulfatos (SO_4) en los suelos del CIP Santo Tomás.



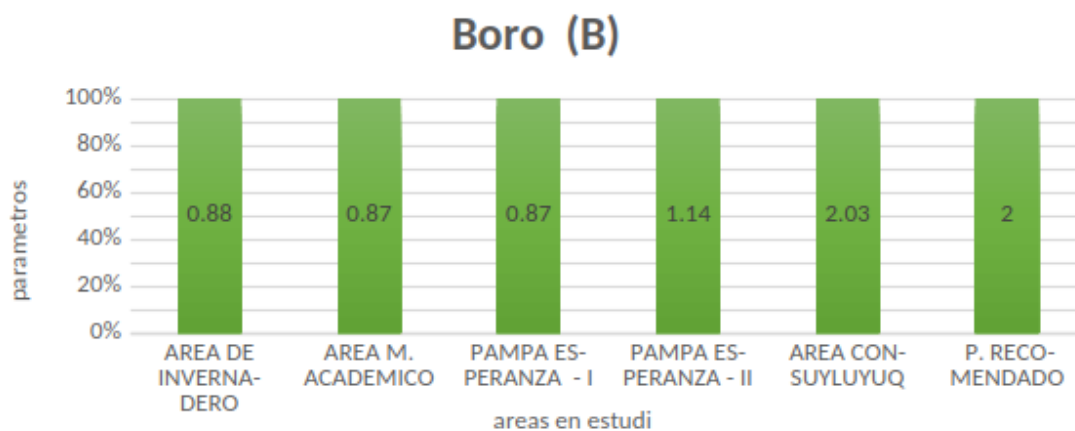
Nota. Elaboración propia para el estudio

d) Contenido de boro (B).

Durante el proceso de polinización y cuajado de frutos, el boro es esencial ya que proporciona viabilidad a todo el polen, lo que lleva al crecimiento de organismos formadores de tubos que mejoran el tamaño y la fertilidad de los granos polinizados. En el siguiente gráfico se muestra el contenido de boro la más alta en el lugar denominado consuylyuq y pampa esperanza –II se tiene de 2.03 y 1.14 mg/kg de suelo, este elemento es un indicador muy bueno para la instalación de los cultivos.

Figura 42

Contenido de boro (B) en los suelos en estudio.



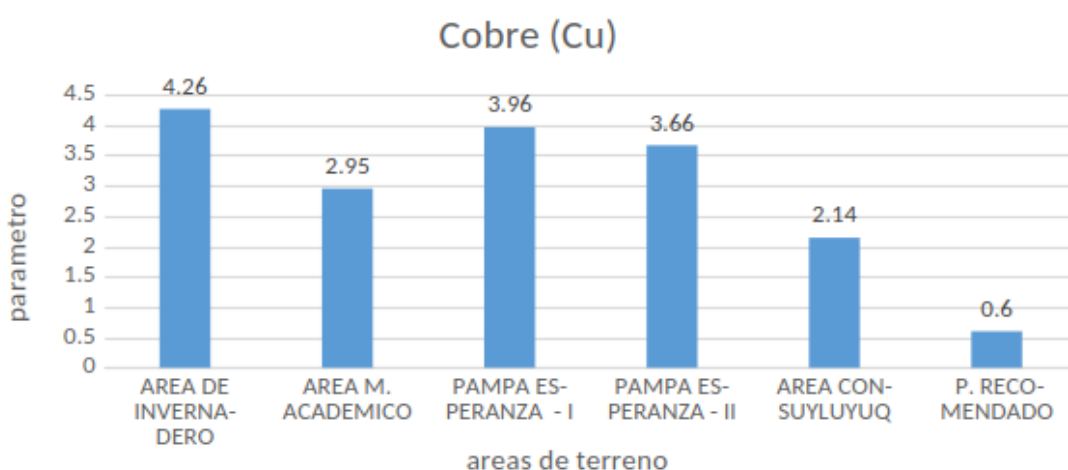
Nota. Elaboración propia para el estudio

e) Contenido de cobre (Cu).

El cobre es considerado un elemento imprescindible en la agricultura y se utiliza principalmente como protector contra enfermedades causadas por hongos y bacterias. El cobre actúa como activador de la fotosíntesis, respiración y el metabolismo de carbohidratos y proteínas, en las áreas de terreno en estudio la presencia de cobre es bastante en abundancia en comparación con el parámetro normal que es 0.6 mg/kg de suelo agrícola, en todo caso no desnecesario incorpora este importante elemento para para la agricultura en el lugar del estudio.

Figura 43

Contenido de cobre (Cu) en los suelos muestreados.



Nota. Elaboración propia para el estudio

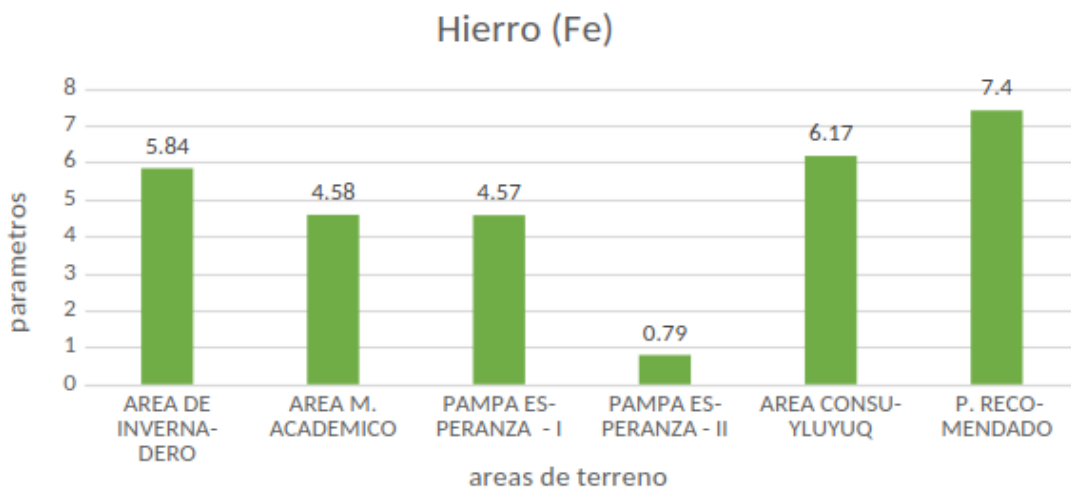
f) Contenido de hierro (Fe).

El microelemento crucial en el desarrollo fisiológico de las plantas es el hierro, que desempeña un papel en el pigmento de la clorofila y como estructura de integración de la ferredoxina, siendo el primer aceptor de electrones.

El contenido de hierro en los espacios de estudio la más alta es de 6.17 mg/kg de tierra, las demás áreas muestran sobre la más baja del parámetro normal que 7.40 mg/kg de suelo para uso agrícola.

Figura 44

Contenido de hierro (Fe) en los suelos en estudio.



Nota. Elaboración propia para el estudio

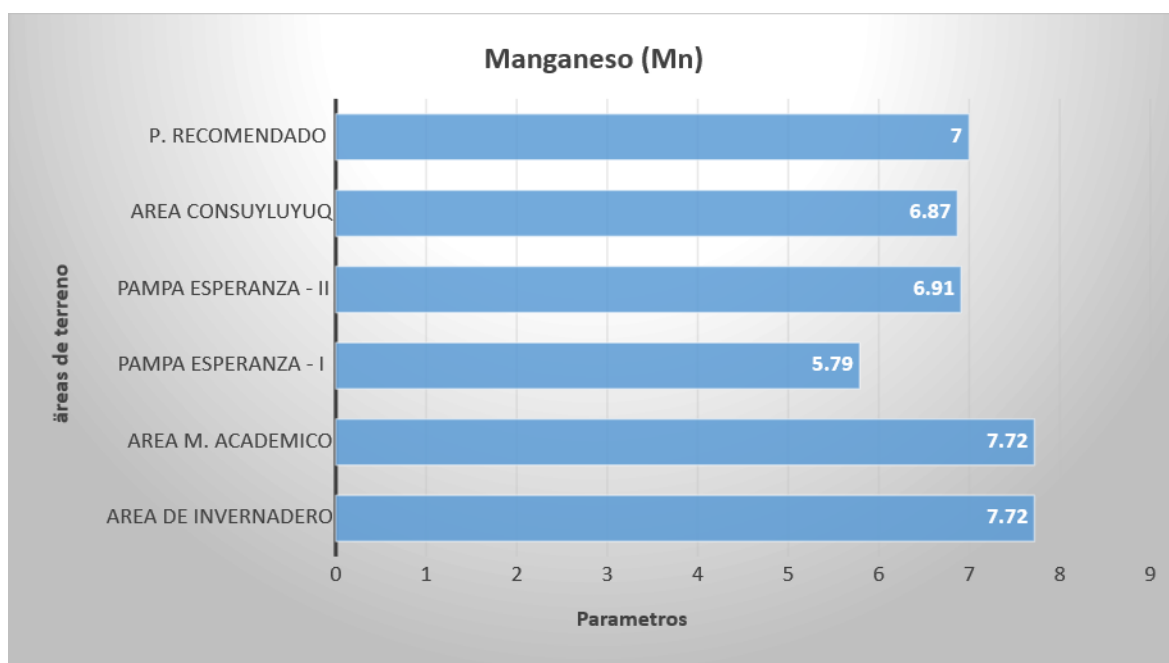
g) Contenido de manganeso (Mn).

El crecimiento y desarrollo de las plantas dependen de la presencia de manganeso, como se informa. El hecho de que el requerimiento de este elemento por parte de la planta es pequeño, pero aun así se puede clasificar como un micronutriente, dado que su importancia es equivalente a la del nitrógeno o el potasio. La optimización de la productividad de los cultivos en los sistemas de producción agrícola requiere la combinación de zinc, hierro, cobre, boro y molibdeno con otros micronutrientes para alcanzar el nivel requerido.

El contenido de este importante micro nutriente en los suelos en estudio están dentro del parámetro que oscila entre 7.00 mg/kg de tierra en estudio, en las parcelas en estudio 7.72 en dos áreas de estudio denominado área académica y área del invernadero presentan los parámetros similares, esto por encontrarse en los espacios más cercados del predio en referencia.

Figura 45

Presencia de manganeso en los terrenos en estudio.



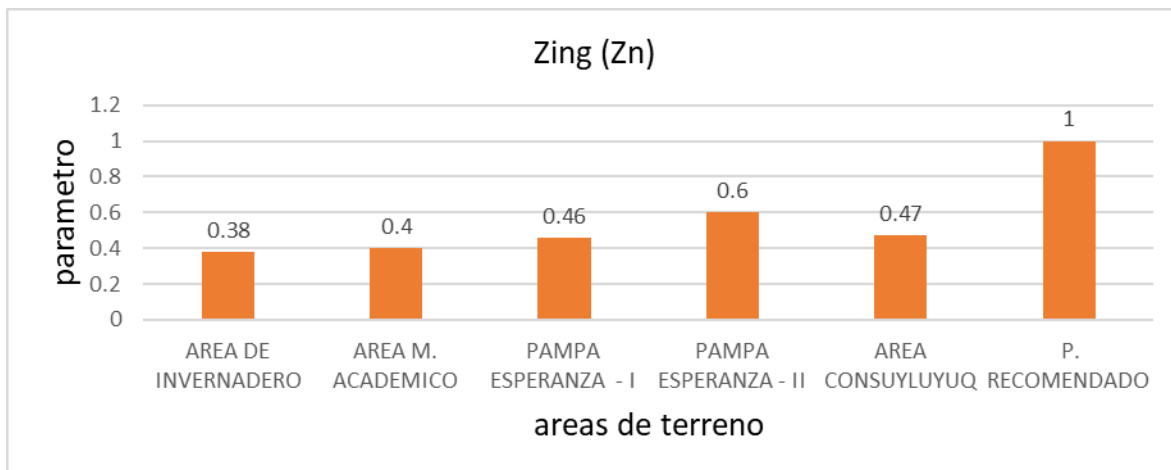
Nota. Elaboración propia para el estudio

h) Contenido de Zinc. (Zn).

Este elemento es necesario para la producción de carbohidratos durante la fotosíntesis y la conversión de azúcares en almidón. De igual forma, interviene en el metabolismo de las hormonas modulando el nivel de auxinas mediante la producción de triptófano. En los suelos en estudio el contenido de este elemento son muy bajos en comparación con el parámetro normal 1.00 mg/kg de suelo.

Figura 46

Contenido de zinc (Zn) en los suelos en estudio.



Nota. Elaboración propia para el estudio

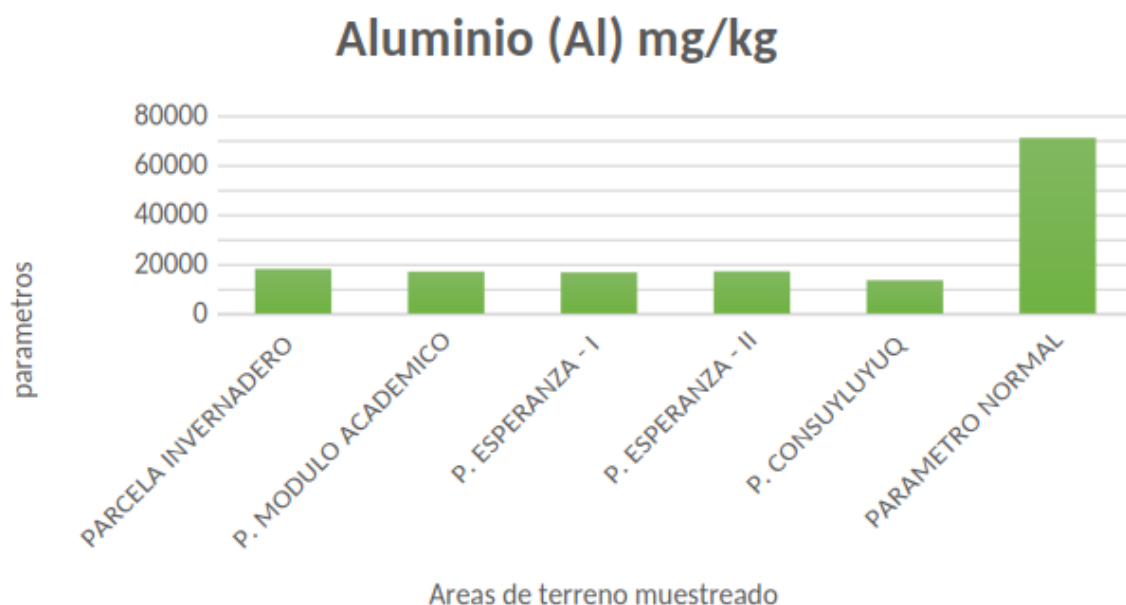
5.1.6. Metales por ICP – MS en suelos del Fundo Santo Tomas

a) Aluminio (AL) mg/kg

Las formas iónicas son altamente tóxicas para las plantas e inicialmente impiden el alargamiento de las raíces. Su forma Al^{3+} y sus polímeros son los complejos orgánicos e inorgánicos más tóxicos del suelo, pero las especies elementales menos fitotóxicas. Los suelos muestreados se registran bajo contenido de aluminio (Al) la más alta tiene 17962 mg/kg de suelo agrícola, es un claro indicador que muchos de los suelos tiene dificultad de desarrollo masa radicular.

Figura 47

Contenido de aluminio en los suelos muestreados.



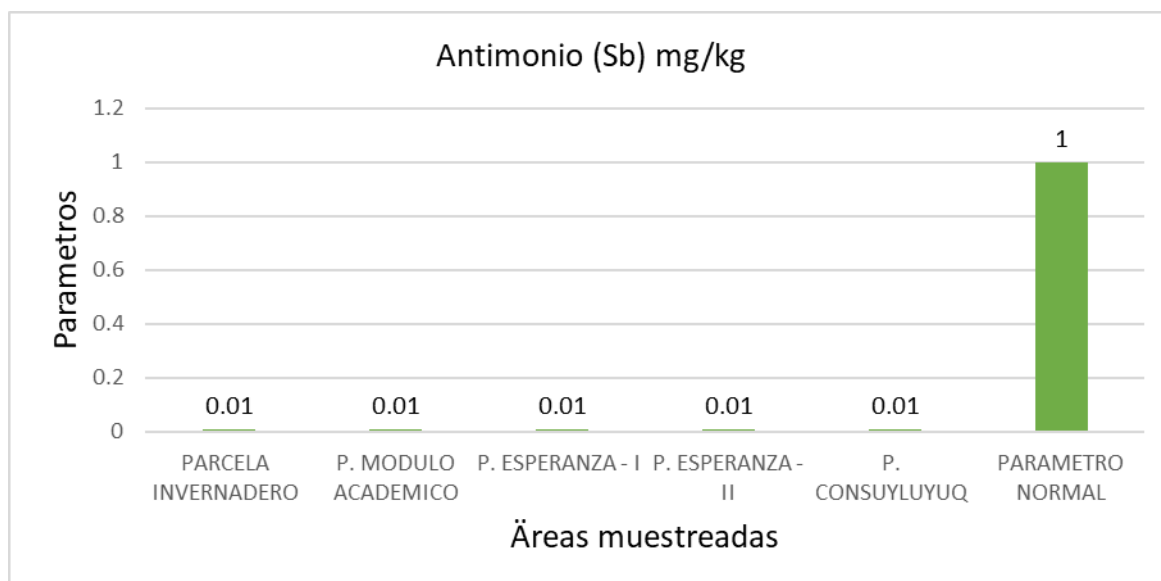
Nota. Elaboración propia para el estudio

b) Antimonio (Sb) mg/kg.

El antimonio (Sb) es un elemento que no es esencial para los organismos y se encuentra en niveles bajos en la corteza terrestre, aumentando su concentración hasta las capas más profundas. Se enfatizan los beneficios antrópicos de este elemento en el medio ambiente (Tschan et al., 2009). El contenido de antimonio (Sb) mg/kg de tierra muestreada tiene 0.01 mg/kg, en las cinco muestras, en todo caso no existe ningún riesgo de contaminación, comparación con el parámetro normal que es 1 mg/kg de suelo recomendado por los organismos internacionales.

Figura 48

Contenido de antimonio en terrenos en estudio.



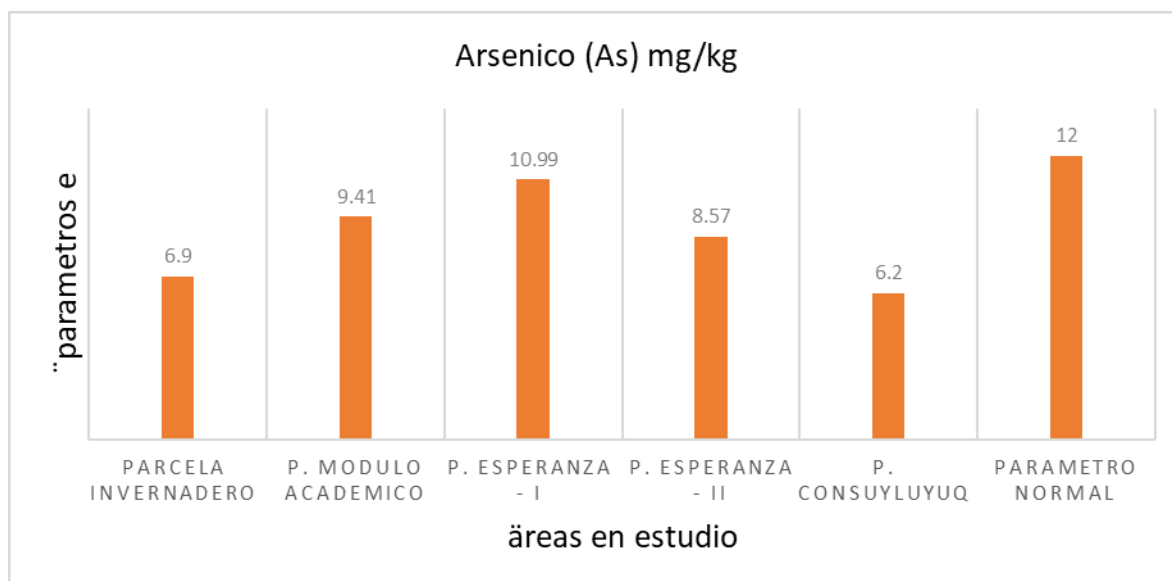
Nota. Elaboración propia para el estudio

c) Arsénico (As) mg/kg.

Los niveles de arsénico son altos de forma natural en las aguas subterráneas de muchos países. La toxicidad inorgánica es una preocupación importante para el arsénico. La salud pública corre mayor riesgo por el uso de agua contaminada para beber, preparar alimentos y regar cultivos alimentarios. El contenido de arsénico en los suelos del fundo Santo Tomas son muy bajos en comparación con el parámetro normal de 12 mg/kg. De suelo, la más alta se ha encontrado en lugar denominado pampa de esperanza –I tiene 10.99 mg/kg. De suelo agrícola.

Figura 49

Contenido de arsénico en terrenos muestreados



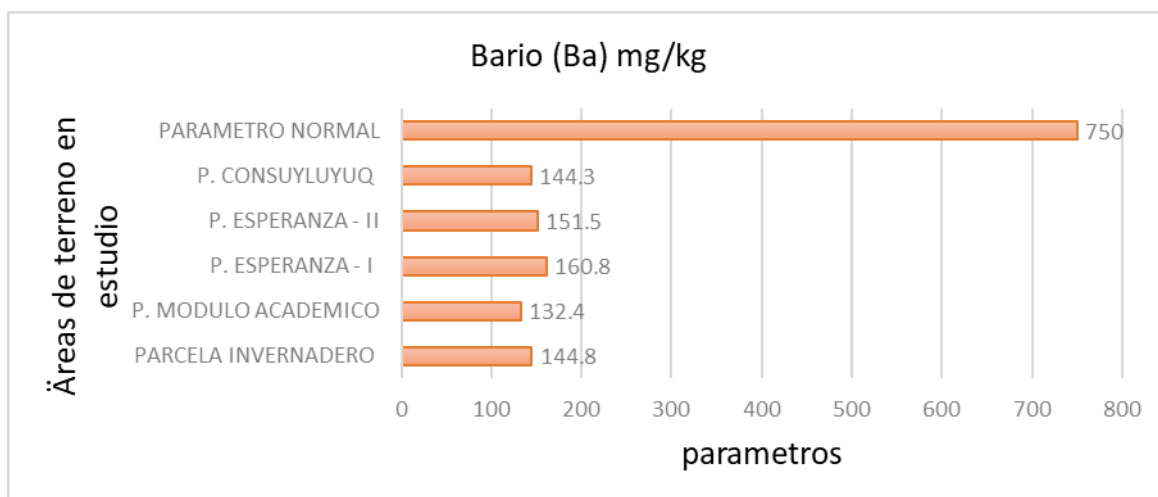
Nota. Elaboración propia para el estudio

d) Bario (Ba) mg/kg.

El mundo natural contiene numerosos compuestos de bario, conocidos como barita. Son sólidos, en forma de polvo o cristalizados, que no se inflaman fácilmente. El Bario se encuentra comúnmente en forma de depósitos minerales subterráneos, como el sulfato de bario y el bario carbonatado. El Bario se puede encontrar tanto en fuentes naturales como en el agua potable y en ciertos alimentos. La presencia de (Ba) en los cinco suelos en estudio tiene contenidos muy bajos en comparación con el parámetro normal que es 470 mg/kg de suelo.

Figura 50

Contenido de bario en los suelos muestreados del CIP Santo Tomás.



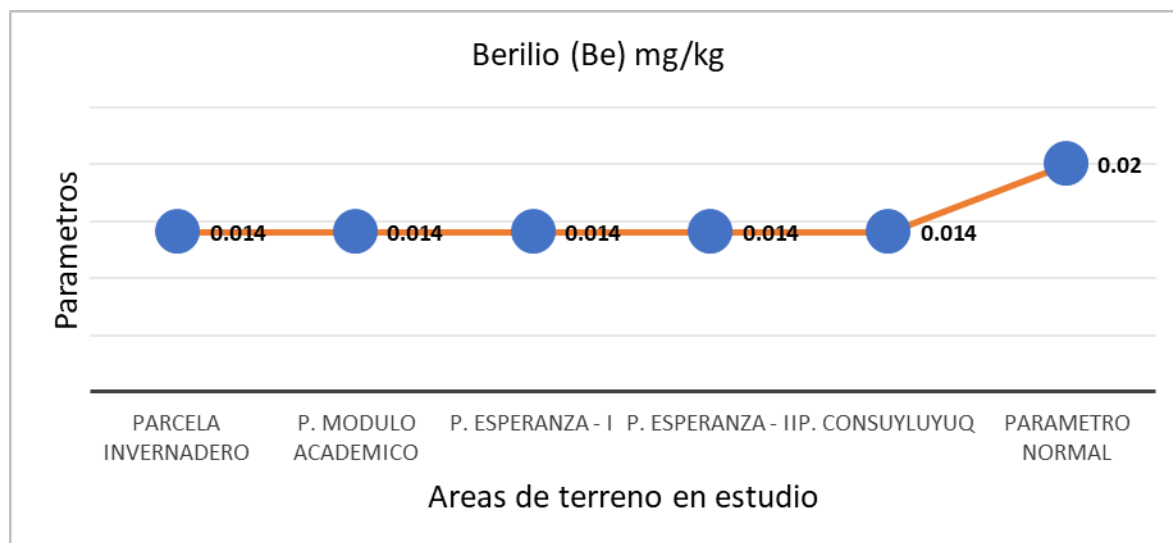
Nota. Elaboración propia para el estudio

e) Berilio (Be) mg/kg.

La aleación de berilio es uno de los metales estructurales más ligeros y tiene una densidad aproximadamente un tercio de la del aluminio. Los atributos físicos y químicos del berilio se resumen en la **Tabla** anterior. Las propiedades del berilio son diversas y excepcionales. La concentración de berilio en los suelos en estudio tiene los niveles muy bajos en comparación con el parámetro recomendado que es 0.02 mg/kg de suelo agrícola.

Figura 51

Contenido de berilio



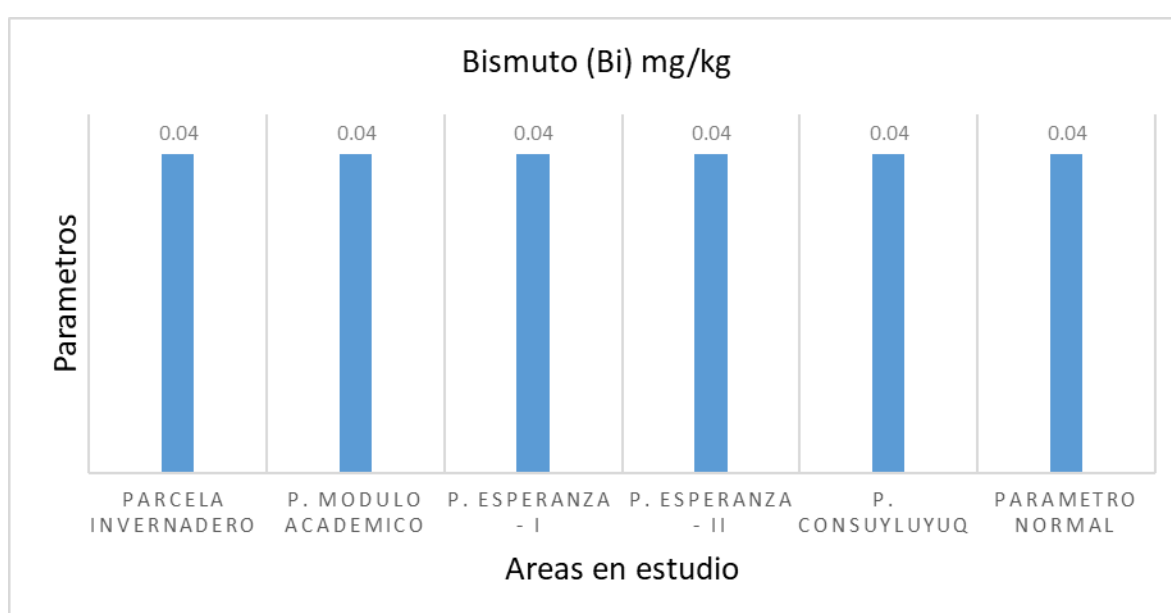
Nota. Elaboración propia para el estudio

f) Bismuto (Bi) mg/kg.

El Bismuto (Bi) es un metal blanco plateado que se emplea en la producción de medicamentos y otros artículos. Para controlar los síntomas de diarrea, acidez de estómago y pesadez de estómago, se emplean ciertas formas de bismuto. El bismuto también se usa con otros medicamentos para tratar las úlceras de estómago. En los suelos del fundo Santo Tomas la concentración de este elemento son muy bajos e iguales en las cinco muestras que tiene de 0.04 mg/kg de suelo en estudio.

Figura 52

Contenido de bismuto



Nota. Elaboración propia para el estudio

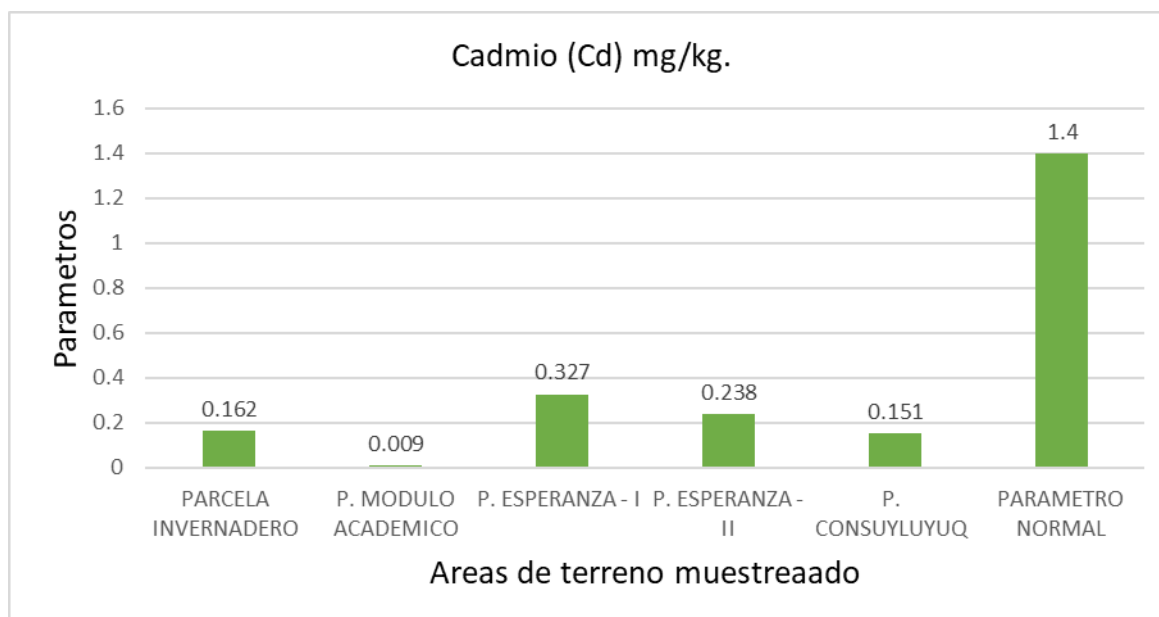
g) Cadmio (Cd) mg/kg.

En la naturaleza, el cadmio se encuentra en la corteza terrestre. Además de sus atributos naturales, el cadmio está presente en todos los suelos y rocas, incluido el carbón y los fertilizantes minerales. La producción de zinc, plomo y cobre en Estados Unidos requiere la extracción de la mayor parte del cadmio necesario para la minería. A pesar de su baja resistencia a la corrosión, el cadmio se ha utilizado para crear baterías, pigmentos, revestimientos metálicos y plásticos. En la Unión Europea, actualmente existen límites establecidos sobre la cantidad de cadmio que se puede agregar a ciertos alimentos, y en la mayoría de los casos este elemento contribuye significativamente a los

alimentos. Como resultado, los agricultores deben considerar las diferentes fuentes (agua y suelo) para garantizar que los productos no contengan este metal. El contenido de este metal en fundo Santo Tomas son muy bajos la más alta 0.327 mg/kg de suelo del lugar denominado en pampa de esperanza –I, el parámetro normal permitido es de 1.40 mg/kg de suelo agrícola en estudio.

Figura 53

Contenido de cadmio.



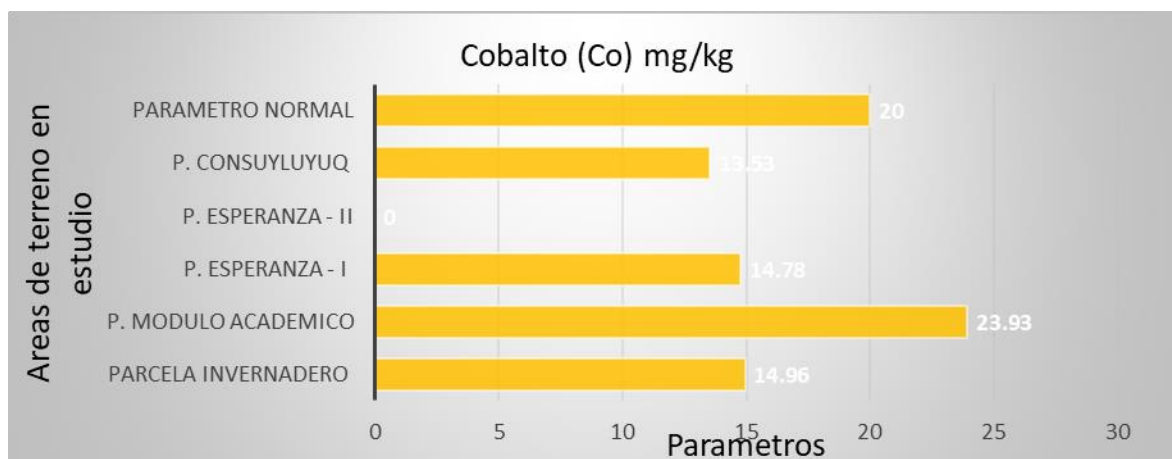
Nota. Elaboración propia para el estudio

h) Cobalto (Co) mg/kg.

El cobalto (Co) es un elemento natural que se encuentra en el aire, el agua, el suelo, las rocas, las plantas y los animales. El viento y el polvo pueden transportar Co_2 al aire y al agua, mientras que el agua de lluvia de suelos y rocas con Co_{BI} se deposita en la tierra. La presencia de cobalto en los suelos muestreados la más alta se tiene en el lugar denominado área cerca al módulo académico de 23.93 mg/kg que es la más alta del parámetro permitido que es 20 mg/kg. De suelo agrícola.

Figura 54

Contenido de Cobalto



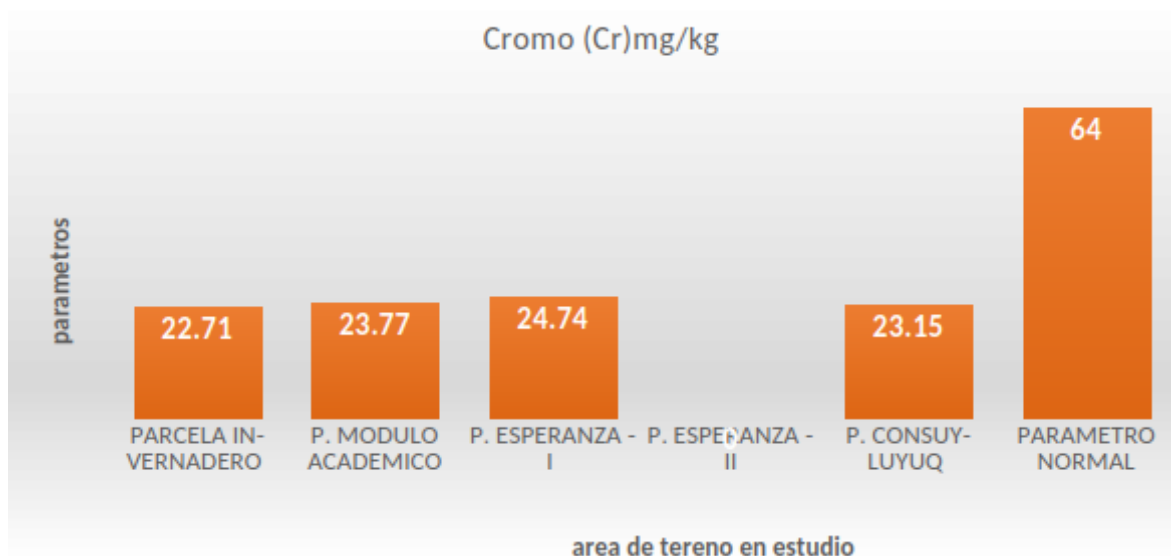
Nota. Elaboración propia para el estudio

i) Cromo (Cr) mg/kg.

La cantidad de cromo en el sistema se distribuye entre especies químicas y su potencia fluctúa entre los diferentes tipos. La toxicidad y la biodisponibilidad del cromo para las plantas dependen de las especies químicas que se encuentran en el suelo, lo que hace que medir su contenido total sea insuficiente para determinar el riesgo real (Scancar et al., 2000). La concentración de elemento cromo en los suelos en estudio tiene la más alta 24.74 mg/kg de suelo del lugar denominado pampa de esperanza – I, pero es muy baja en comparación con el parámetro normal que es 64 mg/kg de suelo agrícola.

Figura 55

Contenido de cromo



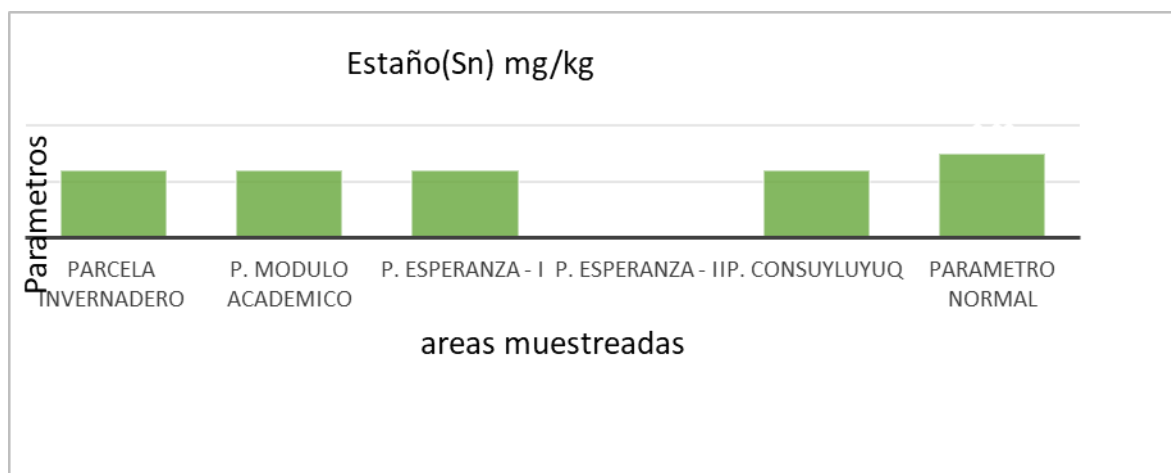
Nota. Elaboración propia para el estudio

j) (*) Estaño (Sn) mg/kg.

El estaño se encuentra naturalmente en la corteza terrestre. ¿Por qué? Este metal plateado, ligeramente translúcido, no es soluble en agua. El latón, el bronce, el peltre y ciertos materiales de soldadura tienen este material. Las latas metálicas se emplean para cubrir envases de alimentos, bebidas y latas de aerosol. En las áreas de terreno en estudio también se nota la presencia de este elemento estaño en proporciones más bajas de 0.024 mg/kg de suelo, mientras el parámetro permitido es la más alta de 0.03 mg/kg de suelo agrícola en estudio.

Figura 56

Contenido de estaño



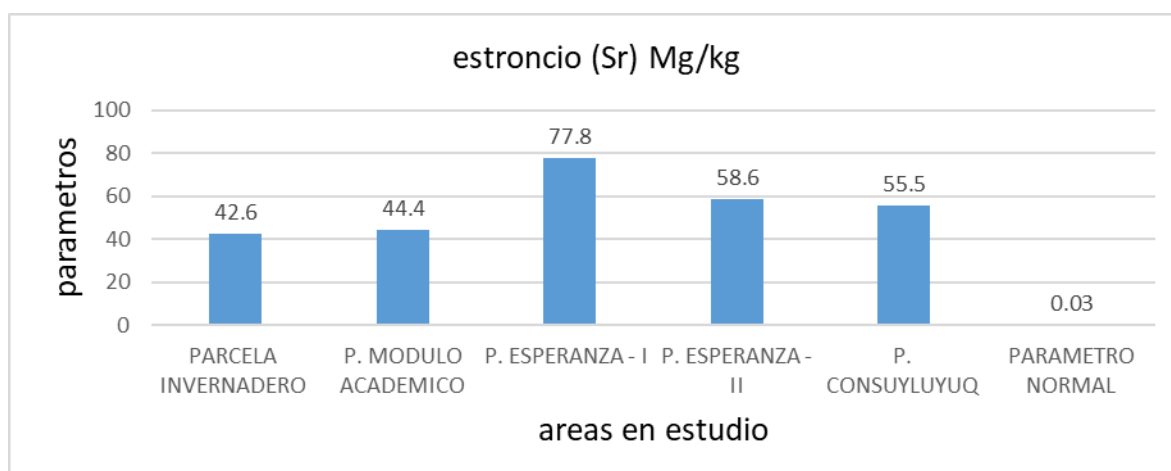
Nota. Elaboración propia para el estudio

k) (*) Estroncio (Sr) mg/kg.

El número atómico del estroncio es 38, lo que significa que cada átomo de estroncio contiene 38 protones. Esto lo convierte en un elemento químico con esencialmente no más de un electrón por punto orbital. Pertenece al grupo 2 y al período 5 de la **Tabla** periódica, está clasificado como metal alcalinotérreo y se le denomina con el símbolo (Sr). La concentración de este metal en los terrenos en estudio tiene la alta concentración en el lugar denominado pampa esperanzo – I tiene 77.80 mg/kg de tierra y el parámetro permitido es de 0.03 mg/kg de suelo para uso agrícola.

Figura 57

Contenido de estroncio



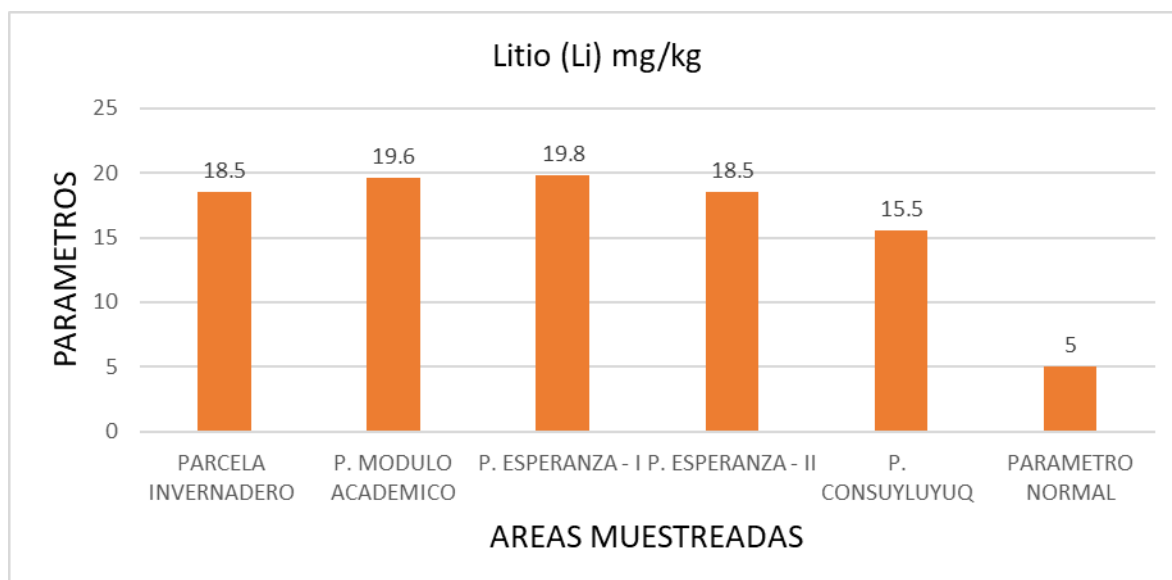
Nota. Elaboración propia para el estudio

l) (*) Litio (Li) mg/kg.

El litio está presente en la corteza terrestre con una concentración de 65 ppm y se considera relativamente común. Casi todos los minerales contienen Litio, existiendo aproximadamente 145 especies mineralógicas que poseen este elemento, pero sólo unas pocas tienen valor económico. En los suelos muestreados también existe la presencia de litio con parámetros más altos de lo normal que es 5 mg/gk de suelo, el litio en los suelos tiene la más alta de 19.80 mg/gk. De suelo del lugar denominado en el lugar de pampa esperanza – II, y la más baja 15.50 mg/kg de áreas en estudio.

Figura 58

Contenido de litio



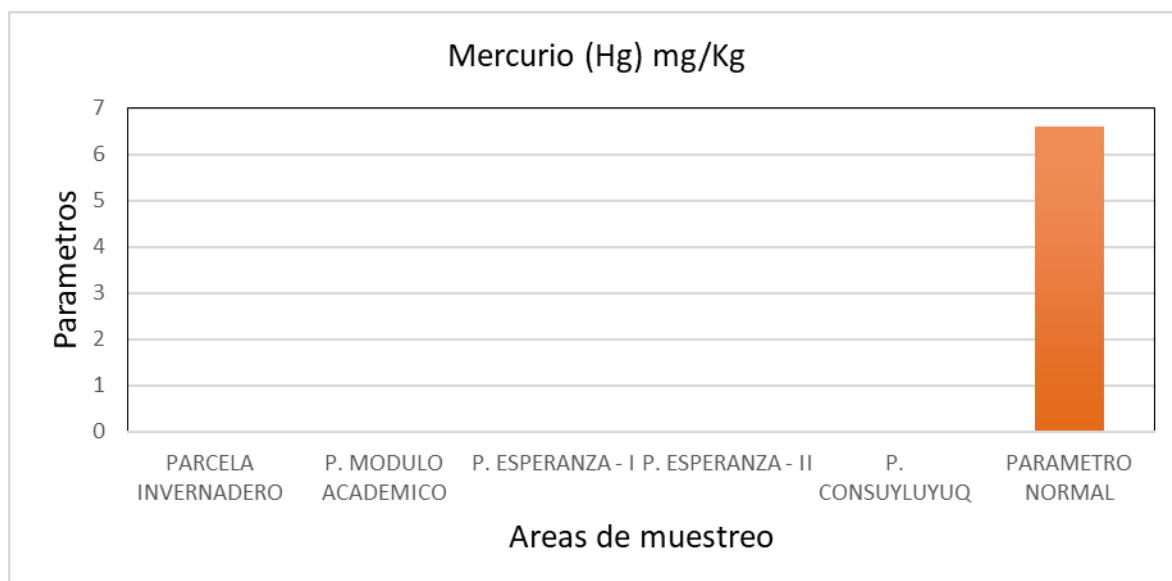
Nota. Elaboración propia para el estudio

m) Mercurio (Hg) mg/kg.

La amalgama se compone de mercurio mezclado con partículas de oro y luego se quema para eliminar el oro, lo que produce la emisión de vapor de mercurio. El Hg siempre está presente en exceso durante el proceso de amalgamación. La presencia de este elemento en las áreas de terreno en estudio son muy bajas en comparación con el parámetro normal o permitido de 6.5 mg/kg de suelo en estudio.

Figura 59

Contenido de mercurio



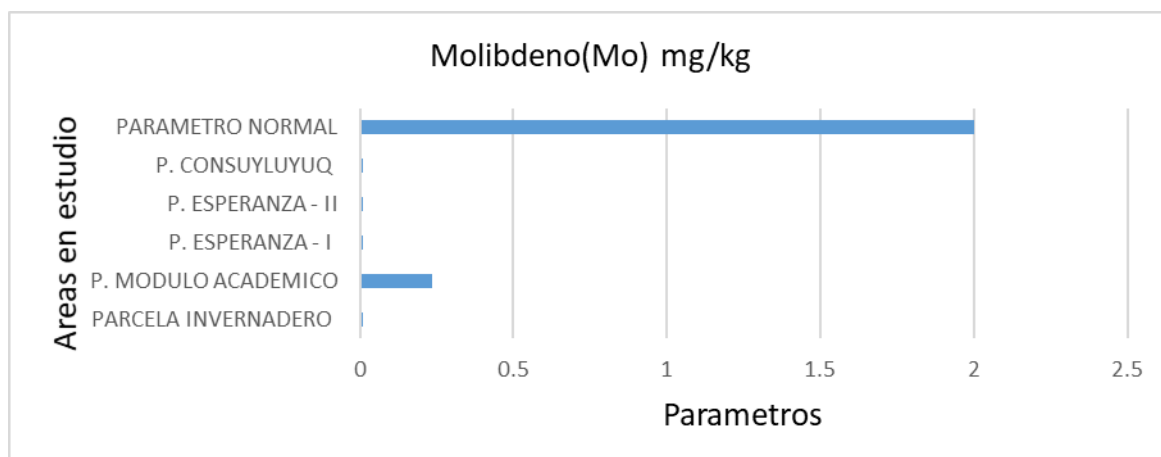
Nota. Elaboración propia para el estudio

n) (*) Molibdeno (Mo) mg/kg.

Nuestros cuerpos necesitan molibdeno para funcionar correctamente. El molibdeno desempeña un papel crucial en la digestión de proteínas y material genético, incluido el ADN. El molibdeno también facilita la descomposición de medicamentos y toxinas que ingresan al cuerpo. La presencia de este importante metal en los suelos muestreados es muy baja en comparación con el parámetro permitido que es 0.2 mg/kg de suelo, en fundo Santo Tomas se observa 0.03 mg/kg de suelo en el lugar denominado área cercana al módulo académico.

Figura 60

Contenido de Molibdeno



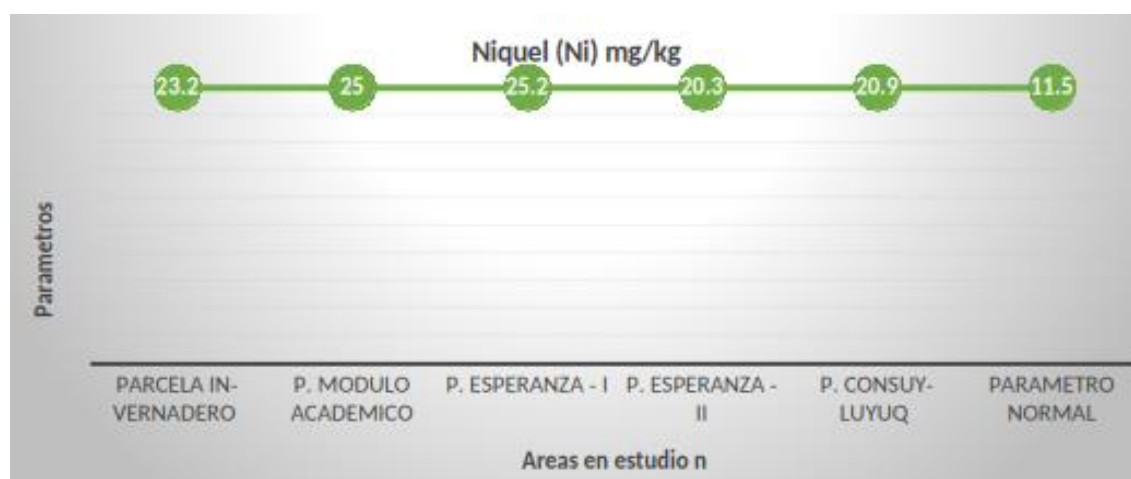
Nota. Elaboración propia para el estudio

o) Níquel (Ni) mg/kg.

Los compuestos de níquel se utilizan para aplicaciones como niquelado, coloración de cerámica, fabricación de baterías y catalizadores que pueden acelerar reacciones químicas en electrónica. La corteza terrestre contiene naturalmente elementos que incluyen el níquel. Este elemento (Ni) en los suelos muestreados tiene la presencia de 23.22 mg/kg de suelo en el lugar denominado área o parcela del invernadero, un poco más alto de lo normal que es 11.50 mg/kg de suelo para uso agrícola.

Figura 61

Contenido de níquel (Ni).



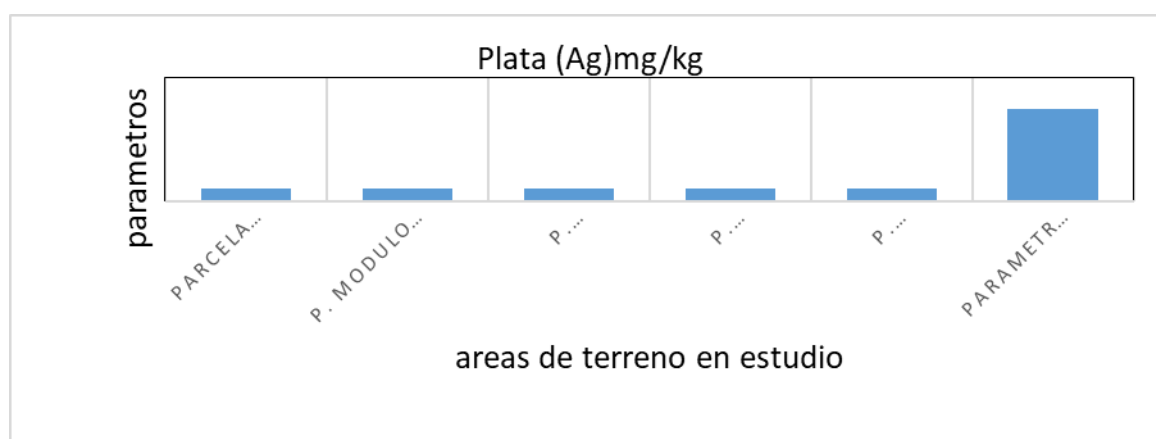
Nota. Elaboración propia para el estudio

p) Plata (Ag) mg/kg.

Las joyas, los cubiertos y la vajilla de plata (además de los equipos electrónicos) y los empastes dentales están hechos de plata. Aleaciones de alta temperatura, soldaduras y fotografías lo utilizan como desinfectante del agua potable o de piscinas y preventivo de bacterias. También se utiliza como antibiótico. La presencia de este metal en los suelos en estudio es muy bajas en comparación con el parámetro normal que es 0.03 mg/kg de suelo agrícola.

Figura 62

Contenido de plata (Ag)



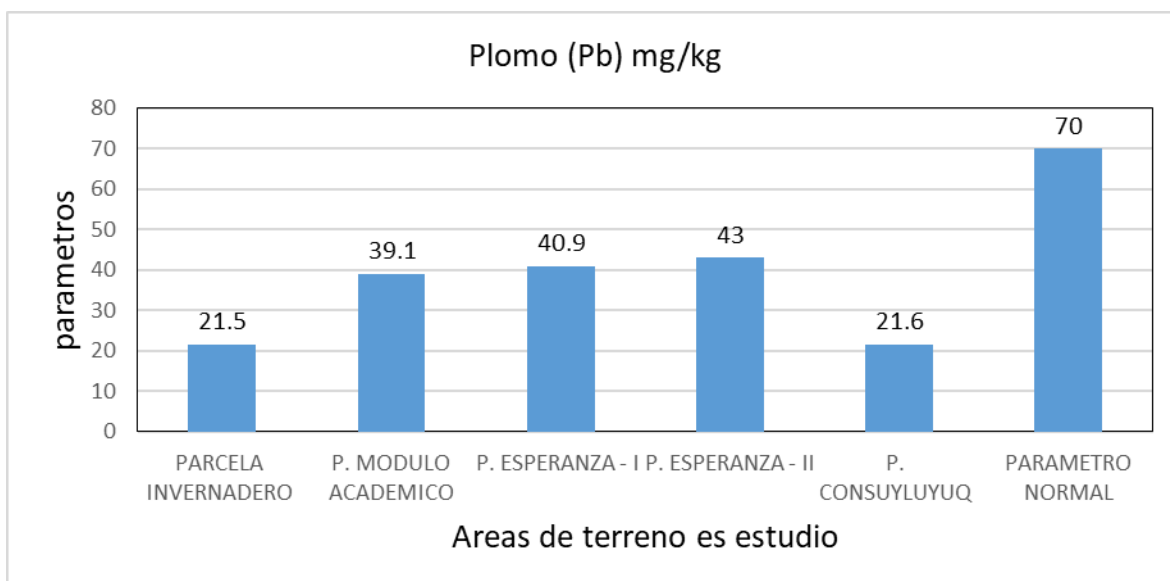
Nota. Elaboración propia para el estudio

q) Plomo (Pb) mg/kg.

Las aleaciones hechas de plomo se usan comúnmente en plomería, baterías, pesas, proyectiles y municiones, revestimientos de cables (particularmente para explosiones árticas) y láminas para protegernos de la radiación. El plomo se utiliza principalmente en baterías que se encuentran en automóviles y otros vehículos. El contenido de este material es muy bajo en los terrenos en estudio.

Figura 63

Contenido de plomo (Pb).



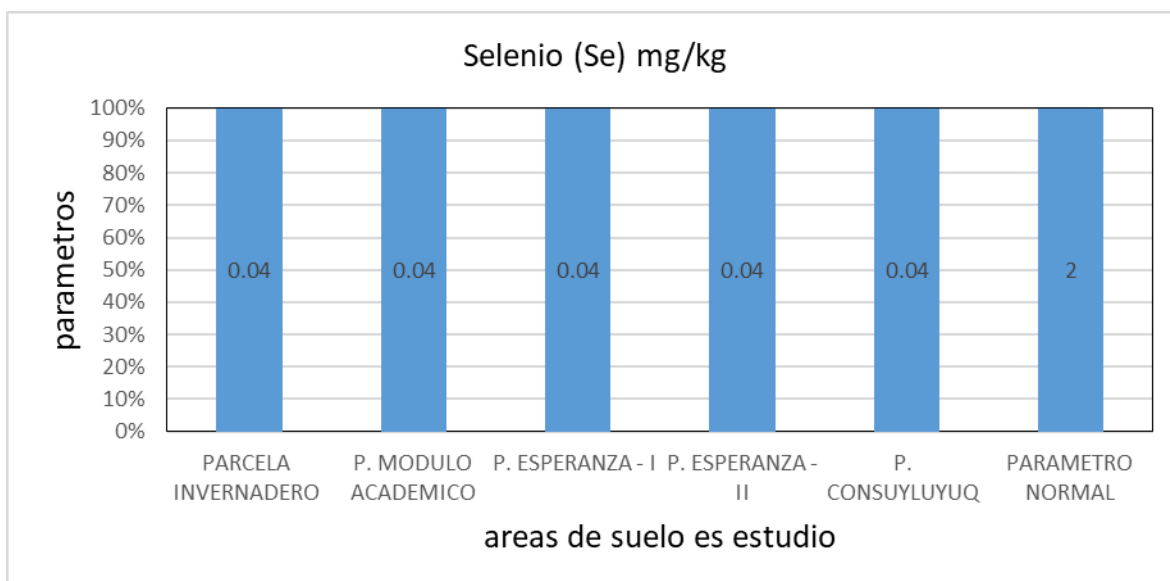
Nota. Elaboración propia para el estudio

r) Selenio (Se) mg/kg.

El selenio es un elemento vital para el buen funcionamiento del organismo. El selenio es esencial para la preservación de la vida, la reproducción, la función tiroidea y la producción de ADN, así como para la protección contra infecciones y el daño de la radiación. En el fundo Santo Tomas se tiene la presencia de este elemento en parámetros muy bajos de 0.04 mg/kg de suelo agrícola, de las cinco áreas muestreadas son igual.

Figura 64

Contenido de selenio (Se)



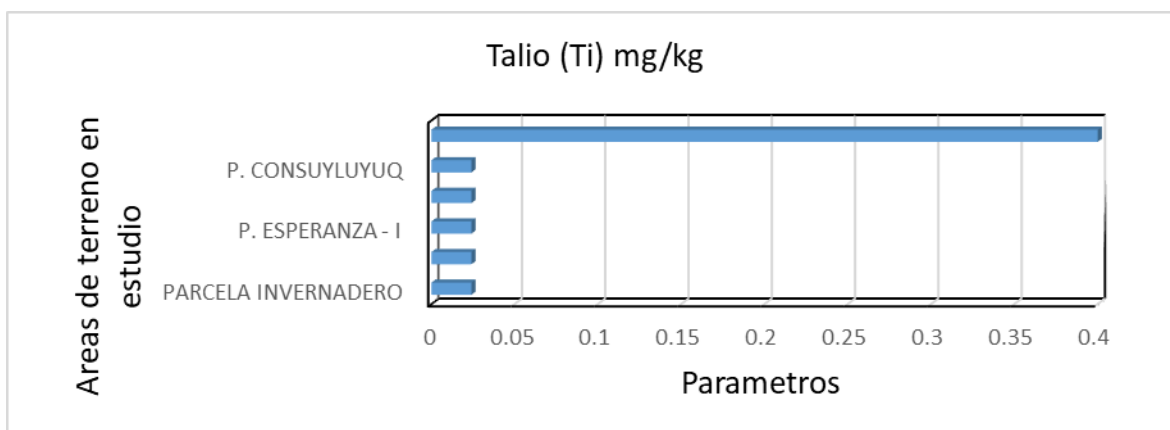
Nota. Elaboración propia para el estudio

s) Talio (Tl) mg/kg.

El talio se emplea predominantemente en la fabricación de dispositivos, interruptores y cierres electrónicos. Su aplicación se limita a la producción de gafas especiales y procedimientos de detección de enfermedades cardíacas. La presencia de este material en el fundo Santo Tomas es muy bajo en comparación con el parámetro permitido que es de 0.4 mg/kg de suelo agrícola.

Figura 65

Contenido de talio (Ti).



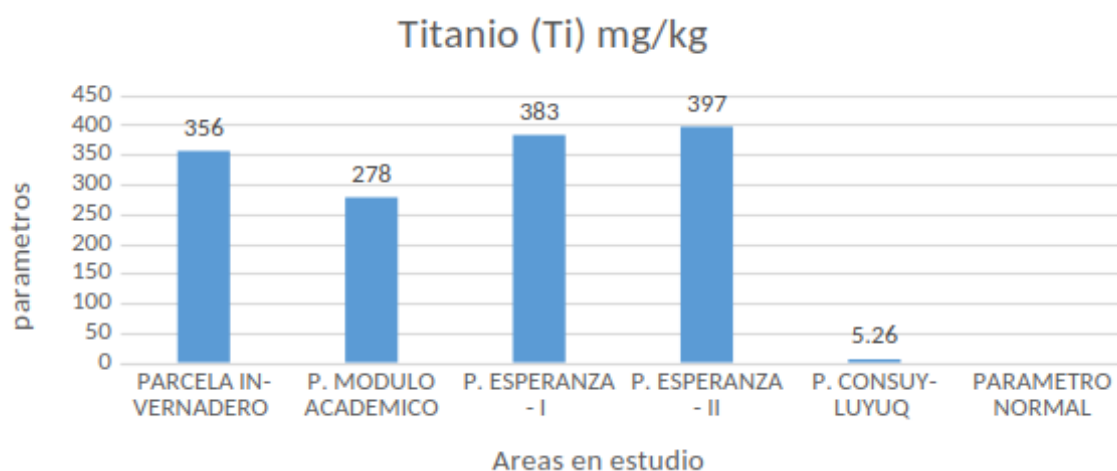
Nota. Elaboración propia para el estudio

t) (*) Titanio (Ti) mg/kg.

La alta relación resistencia-peso del titanio lo hace altamente dúctil, además de tener la capacidad de resistir la corrosión y la biocompatibilidad. Se utiliza comúnmente en las industrias aeronáutica, química y médica, donde la seguridad y el control de calidad son cruciales. La presencia de este elemento se registra sobre 397 mg/kg se suelo en el lugar denominado pampa esperanza – II y en seguida en la pampa esperanza – I, tal como muestra en la **Figura 70** del estudio.

Figura 66

Contenido de Titanio (Ti).



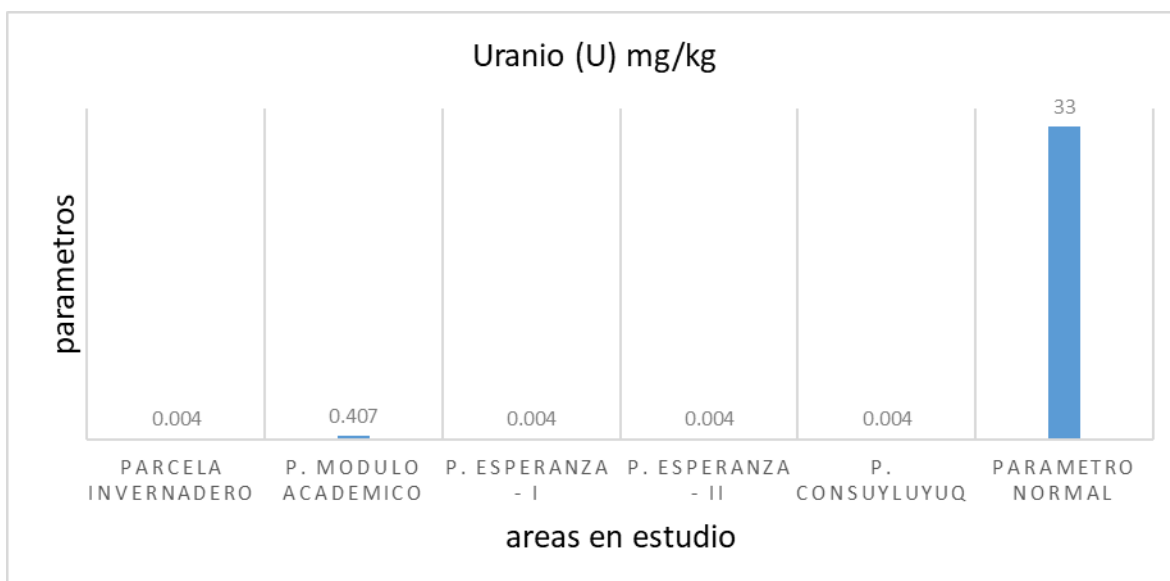
Nota. Elaboración propia para el estudio

u) (*) Uranio (U) mg/kg.

El uranio natural se utiliza en la producción de uranio enriquecido, pero el material restante se conoce como urania empobrecida. Las centrales nucleares utilizan uranio enriquecido como combustible. Este material registra en poca cantidad en los cinco muestreados son iguales de 0.004 mg/kg de suelo agrícola.

Figura 67

Contenido de Uranio (U).



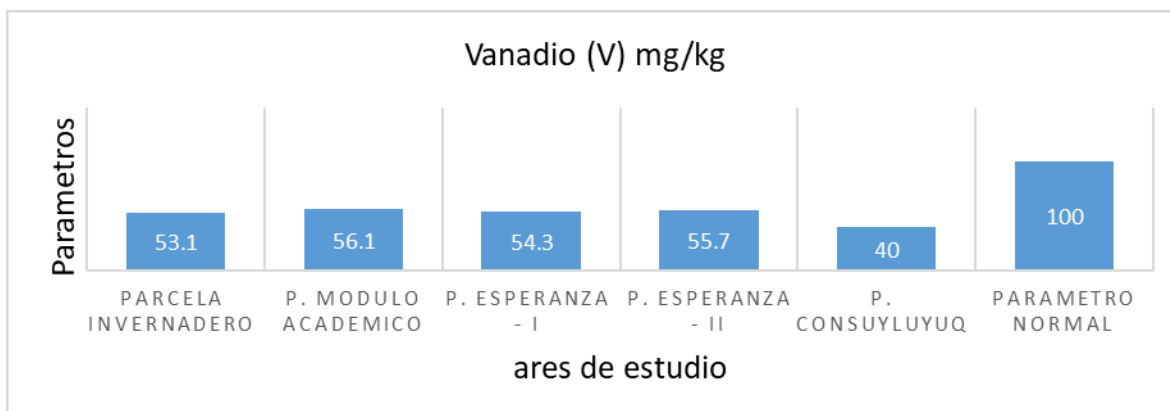
Nota. Elaboración propia para el estudio

v) Vanadio (V) mg/kg

Los resortes de acero de alta velocidad y las herramientas resistentes a la corrosión incorporan el uso de vanadio ya que es uno de los principales elementos estabilizadores de la producción de acero. Está muy extendido el uso del pentóxido de vanadio en cerámica, como material refractario y para crear imanes superconductores. En las áreas muestreadas existe bajo contenido de este metal, donde el parámetro normal es de 100 mg/kg de suelo agrícola.

Figura 68

Contenido de vanadio (V).



Nota. Elaboración propia para el estudio

5.2. Discusión

En esta investigación, se ha identificado variaciones significativas en la calidad del agua en términos de pH, conductividad eléctrica (CE), nitratos y metales pesados. Las fuentes M. Carrizal y M. Higuschayuq presentaron las mejores condiciones para riego agrícola, mientras que M. Cascajal y M. Consuyluyuq mostraron altos niveles de sales y nitratos, lo que podría afectar el suelo a largo plazo. Estos hallazgos coinciden con los resultados de Mancilla-Villa et al. (2021) , quienes evaluaron las características fisicoquímicas de aguas subterráneas en México y encontraron que estas están afectadas por contaminantes como desechos industriales y lixiviados químicos. La presencia de nitratos elevados en algunas fuentes de tu estudio sugiere una posible lixiviación de fertilizantes en la zona, un problema también observado por Mancilla-Villa et al. Además, ambos estudios destacan la necesidad de monitorear constantemente la calidad del agua para evitar problemas de salinización y eutrofización. Por otro lado, Poma Soto et al. (2016) utilizaron métodos colorimétricos para evaluar la calidad del agua en el mismo centro de investigación donde realizaste tu estudio. Sus resultados indicaron que el pH condiciona significativamente la calidad del agua, similar a tus hallazgos sobre la influencia del pH en la idoneidad del agua para riego. Finalmente, el Protocolo Nacional para el Monitoreo de Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016) establece procedimientos estandarizados para el monitoreo de la calidad del agua, lo que refuerza la importancia de metodologías rigurosas como las utilizadas en tu investigación.

Por otro lado este estudio identificó sectores con alta fertilidad (Pampa Esperanza II y Consuyluyuq) y otros con limitaciones (Módulo Académico e Invernadero). La materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y textura fueron factores clave en la evaluación de la fertilidad. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de José Franklin Arcos-Torres (2022) , quien caracterizó suelos asociados con la rizosfera de mortiño y encontró diferencias significativas en propiedades físicas y químicas entre localidades. Por ejemplo, la materia orgánica y el nitrógeno asimilable variaron

considerablemente entre Ganquis y Cubillín, lo que refleja la heterogeneidad espacial de los suelos. Además, Galvín (2008) destacó la importancia de la materia orgánica en el suelo, señalando que incluso pequeñas cantidades (1%) pueden proporcionar nutrientes esenciales y mejorar las características físicas del suelo. Esto coincide con tus hallazgos sobre la importancia de la materia orgánica en Pampa Esperanza II y Consuyluyuq. Sin embargo, mientras que Arcos-Torres se centró en suelos específicos para un cultivo particular (mortiño), tu estudio aborda la fertilidad general del suelo para diversos usos agrícolas. Por otro lado, Rueda et al. (2011) analizaron la acumulación de metales pesados en suelos agrícolas y su impacto en la calidad del suelo. Aunque no mencionas metales pesados en tu estudio, podrías considerar investigar este aspecto en futuros trabajos, especialmente en sectores con alta actividad agrícola.

En esta investigación se propone recomendaciones específicas para mejorar la productividad agrícola, como la incorporación de materia orgánica, corrección del pH y monitoreo constante del agua. Estas estrategias están alineadas con las ideas de Juan Ordoñez (2011) , quien subrayó la necesidad de un mejor conocimiento de las cuencas hidrológicas para gestionar eficientemente los recursos hídricos. También mencionó la importancia de la conservación del agua como patrimonio nacional, un principio respaldado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en su política de gestión integrada de recursos hídricos. Además, la ANA establece procedimientos estandarizados para la gestión sustentable de los recursos hídricos, lo que coincide con tus recomendaciones sobre el monitoreo del agua y la gestión sostenible de los suelos. Por último, FAO (1997) resaltó el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para analizar y gestionar datos sobre el uso del suelo y los recursos hídricos. Aunque no mencionas el uso de SIG en tu estudio, podrías considerar incorporar esta herramienta en futuras investigaciones para mejorar la visualización y análisis espacial de tus datos.

Aunque esta investigación no aborda explícitamente el impacto del cambio climático, este es un tema relevante que podría enriquecer tus hallazgos. Tonconi Quispe (2015) demostró cómo el cambio climático afecta la producción agrícola en Perú, reduciendo los

rendimientos de cultivos sensibles como la papa y el maíz. Este estudio sugiere que el cambio climático podría tener implicaciones significativas para la disponibilidad de agua y la fertilidad del suelo en zonas agrícolas. En este contexto, tus resultados sobre la calidad del agua y la fertilidad del suelo podrían servir como base para investigar cómo el cambio climático podría afectar estos recursos en el futuro. Además, la implementación de prácticas sostenibles, como las propuestas en tu estudio, podría ser crucial para mitigar los impactos negativos del cambio climático en la agricultura.

VI. Conclusiones

- El análisis de las características físico-químicas del agua y del suelo en el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás ha permitido identificar qué sectores presentan mejores condiciones para la producción agrícola. La evaluación consideró aspectos fundamentales como la calidad del agua para riego, la fertilidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes esenciales. Los resultados muestran que, si bien el área estudiada cuenta con recursos adecuados para la agricultura, algunas zonas requieren un manejo especial para optimizar su productividad.
- En cuanto a la Calidad del agua para riego, las fuentes de agua evaluadas en el centro de investigación presentaron variaciones en su calidad, particularmente en la conductividad eléctrica, el contenido de nitratos y la presencia de algunos metales pesados. En general, el pH del agua osciló entre 7.94 y 8.39, lo que indica una ligera alcalinidad favorable para la mayoría de los cultivos. Sin embargo, se encontraron valores elevados de conductividad eléctrica en las fuentes de M. Cascajal (810 $\mu\text{S/cm}$) y M. Consuyluyuq (670 $\mu\text{S/cm}$), lo que sugiere una mayor presencia de sales disueltas, lo que podría afectar la estructura del suelo a largo plazo. Por otro lado, los niveles de nitratos fueron altos en M. Higuschayuq (6.26 mg/L) y M. Cascajal (5.8 mg/L), superando el límite recomendado para riego agrícola (5 mg/L). Esto sugiere una posible lixiviación de fertilizantes en la zona, lo que podría contribuir a problemas de eutrofización en cuerpos de agua cercanos. Además, se detectó una concentración elevada de aluminio en M. Paqpa Pata (1.17 mg/L) y selenio en todas las fuentes (0.09 mg/L), ambos superando los límites permitidos. Por lo tanto, en términos de calidad del agua para riego, las fuentes con mejores condiciones fueron M. Carrizal y M. Higuschayuq, ya que presentaron baja conductividad eléctrica y menor presencia de contaminantes. En contraste, las fuentes de M. Cascajal y M. Consuyluyuq requieren un monitoreo más riguroso, debido a su alta concentración de sales y nitratos, lo que podría afectar el crecimiento de los cultivos y la calidad del suelo con el tiempo.

- En cuanto a la fertilidad del suelo y disponibilidad de nutrientes, los suelos evaluados en el centro de investigación presentan diferencias significativas en cuanto a su fertilidad y capacidad de retención de nutrientes. Los sectores con mejores condiciones para la agricultura fueron Pampa Esperanza II y Consuyluyuq, debido a su contenido de materia orgánica, su capacidad de retención de humedad y su equilibrio de nutrientes esenciales. El sector de Pampa Esperanza II tiene una textura franco arcillo arenosa, lo que le permite retener agua y nutrientes de manera eficiente. Su pH es de 8.11, lo que indica una ligera alcalinidad que podría afectar la disponibilidad de algunos micronutrientes, pero que es manejable con correctores de pH. Además, presenta la mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC) con 17.27 meq/100g, lo que indica una alta capacidad para retener nutrientes esenciales como calcio, magnesio y potasio. Su contenido de materia orgánica (2.46%) es suficiente para mantener una buena actividad biológica en el suelo. Por su parte, el sector de Consuyluyuq mostró el mayor contenido de materia orgánica (3.8%), lo que favorece la fertilidad del suelo y mejora su capacidad de retención de agua. Aunque su textura es franco arenosa, lo que implica un drenaje rápido, la alta presencia de potasio (1215.6 mg/kg) sugiere que este suelo es óptimo para cultivos que requieren altas concentraciones de este nutriente. Su pH de 8.07 indica una ligera alcalinidad, lo que puede corregirse mediante enmiendas adecuadas.
- En cuanto a los sectores con condiciones limitantes para la agricultura se ha encontrado que si bien la mayoría de los suelos evaluados son aptos para la producción agrícola, algunos sectores presentan características que pueden limitar su productividad si no se manejan adecuadamente. El Área del Módulo Académico, por ejemplo, tiene una textura franco arenosa, lo que significa que tiene buen drenaje, pero una baja capacidad de retención de humedad. Su materia orgánica es de 2.35%, lo que es aceptable, pero menor que en Pampa Esperanza II y Consuyluyuq. Sin embargo, presenta altos niveles de sodio y carbonatos, lo que podría afectar la absorción de otros nutrientes esenciales. Para mejorar su

productividad, se recomienda incorporar materia orgánica y corregir el pH mediante la aplicación de azufre elemental o enmiendas orgánicas. Otro sector con limitaciones es Pampa Esperanza I, que aunque presenta una textura similar a la del Módulo Académico, tiene un alto contenido de calcio (5.57 meq/100g), lo que puede generar desequilibrios en la absorción de magnesio y potasio. Aunque su materia orgánica es moderada (2.43%), se recomienda balancear la fertilización para evitar deficiencias inducidas de otros nutrientes. El Área del Invernadero también presenta desafíos, ya que su suelo es franco arenoso y su capacidad de retención de agua es baja. Además, tiene bajo contenido de calcio y magnesio, lo que podría afectar el desarrollo de los cultivos. Para mejorar su fertilidad, se recomienda incorporar materia orgánica y aplicar fertilizantes ricos en calcio y magnesio.

- Por lo tanto, los resultados obtenidos en esta investigación indican que el Centro de Investigación y Producción Santo Tomás cuenta con áreas altamente productivas para la agricultura, pero también con sectores que requieren un manejo especial para optimizar su rendimiento. Los mejores sectores para producción agrícola son Pampa Esperanza II y Consuyluyuq, debido a su alta fertilidad, capacidad de retención de nutrientes y equilibrio de materia orgánica. Pampa Esperanza II es ideal para cultivos que requieren suelos con buena retención de humedad y fertilidad equilibrada, mientras que Consuyluyuq es óptimo para cultivos que demandan altas cantidades de potasio. Por otro lado, los sectores del Módulo Académico e Invernadero requieren estrategias de manejo adecuadas debido a su textura franco arenosa y baja capacidad de retención de agua. En estos casos, la incorporación de materia orgánica y la corrección del pH serán clave para mejorar la disponibilidad de nutrientes y garantizar un crecimiento óptimo de los cultivos.

En cuanto al agua de riego, las fuentes de M. Carrizal y M. Higuschayuq presentan las mejores condiciones para el uso agrícola, mientras que M. Cascajal y M. Consuyluyuq

deben ser monitoreadas constantemente debido a su alta concentración de sales y nitratos.

VII. Recomendaciones

- Se debe realizar análisis periódicos, especialmente en M. Cascajal y M. Consuyluyuq, que presentaron altos niveles de sales y nitratos. Si la conductividad sigue aumentando, se podrían implementar estrategias como la mezcla con agua de mejor calidad o el uso de sistemas de filtración.
- Se recomienda emplear sistemas de riego por goteo para evitar la acumulación de sales en el suelo y reducir la lixiviación de nutrientes. En zonas con alta conductividad eléctrica, el riego debe ser más espaciado para evitar problemas de salinidad.
- La presencia de nitratos elevados sugiere que puede haber una filtración de fertilizantes en la zona. Se recomienda mejorar el manejo de fertilización, aplicando productos de liberación controlada y evitando el exceso de nitrógeno en suelos cercanos a fuentes de agua.
- En el caso de las fuentes con pH elevado (superior a 8.0), se pueden utilizar ácidos húmicos o sulfato de calcio (yeso agrícola) para mejorar la calidad del agua y prevenir problemas de absorción de nutrientes en los cultivos.
- La mayoría de los suelos tienen un pH entre 7.5 y 8.32, lo que puede limitar la disponibilidad de micronutrientes como hierro y manganeso. Para mejorar la absorción de estos elementos, se recomienda aplicar materia orgánica ácida (compost, turba o estiércol) o azufre elemental en dosis controladas.
- Los suelos en las áreas de Módulo Académico y Pampa Esperanza I presentan baja retención de humedad y nutrientes debido a su textura franco arenosa. Para mejorar sus propiedades, se debe incorporar materia orgánica en forma de compost o humus de lombriz, lo que aumentará su capacidad de retención de agua y nutrientes.
- En áreas como Consuyluyuq, donde se detectó una alta concentración de potasio (1215.6 mg/kg), es importante equilibrar la fertilización con aplicaciones de calcio y magnesio para evitar la inhibición en la absorción de otros nutrientes esenciales.

- Para evitar el agotamiento del suelo y mejorar su estructura, se recomienda alternar cultivos con diferentes requerimientos nutricionales. En suelos con alto contenido de nitratos, se pueden sembrar cultivos con alta demanda de nitrógeno, como maíz o leguminosas, para aprovechar los nutrientes disponibles y reducir la acumulación de contaminantes.
- En suelos alcalinos, es recomendable aplicar fertilizantes acidificantes como sulfato de amonio o fosfato monoamónico (MAP) para mejorar la disponibilidad de fósforo y micronutrientes. En suelos con alto contenido de carbonatos (Pampa Esperanza I y Consuyluyuq), se pueden usar fertilizantes quelatados para evitar la inmovilización de nutrientes.
- Los resultados indican que Pampa Esperanza II y Consuyluyuq son las áreas con mayor potencial agrícola, ya que cuentan con una mejor capacidad de retención de humedad y alta fertilidad. Para maximizar su productividad, se sugieren las siguientes estrategias:
 - Para Pampa Esperanza II: Cultivos que requieran alta retención de humedad, como paltos, hortalizas de hoja (lechuga, espinaca), tubérculos (papa, zanahoria) y leguminosas (frijoles, lentejas).
 - Para Consuyluyuq: Debido a su alto contenido de potasio, se pueden sembrar cultivos exigentes en este nutriente, como tomates, pimientos, plátanos y papas.

Algunas áreas presentan desafíos que pueden limitar su productividad si no se manejan adecuadamente.

- Para el Módulo Académico e Invernadero: Se deben implementar prácticas de conservación del suelo, como el uso de acolchados orgánicos para evitar la pérdida de humedad y la erosión. También es recomendable la incorporación de enmiendas orgánicas para mejorar la estructura del suelo y su capacidad de retención de nutrientes.
- Para Pampa Esperanza I: Dado su alto contenido de calcio, es importante equilibrar la fertilización para evitar la inhibición en la absorción de otros nutrientes

como el magnesio y el potasio. Se recomienda aplicar fertilizantes que contengan estos elementos en proporciones balanceadas.

VIII. Referencias

- Alloway, B. J. (2013). Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (3rd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). The nature and properties of soils (15th ed.). Pearson Education.
- FAO. (2015). Status of the world's soil resources . Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/soils-portal/resources/status-of-the-worlds-soil-resources/en/>
- FAO. (2017). Soil organic carbon: The hidden potential . Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/a-i6878e.pdf>
- Hillel, D. (2004). Introduction to environmental soil physics . Academic Press.
- Lal, R. (2016). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623–1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
- Lindsay, W. L. (1979). Chemical equilibria in soils . Wiley.
- Marschner, P. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants (3rd ed.). Academic Press.
- Sparks, D. L. (2003). Environmental soil chemistry (2nd ed.). Academic Press.
- USDA. (2018). Soil quality indicators: Electrical conductivity . United States Department of Agriculture. https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/health/assessment/?cid=nrcs142p2_053887
- Alloway, B. J. (2013). Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (3rd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). The nature and properties of soils (15th ed.). Pearson Education.

- FAO. (2020). Water for sustainable food and agriculture . Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/i7959e/i7959e.pdf>
- Hillel, D. (2004). Introduction to environmental soil physics . Academic Press.
- Lal, R. (2016). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623–1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
- Marschner, P. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants (3rd ed.). Academic Press.
- Sparks, D. L. (2003). Environmental soil chemistry (2nd ed.). Academic Press.
- USDA. (2018). Soil quality indicators: Electrical conductivity . United States Department of Agriculture.
https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/health/assessment/?cid=nrcs142p2_053887
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Sabino, C. A. (1992). El proceso de investigación . Panapo.
- FAO. (2015). Status of the world's soil resources . Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/soils-portal/resources/status-of-the-worlds-soil-resources/en/>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill.
- USDA. (2018). Soil quality indicators: Electrical conductivity . United States Department of Agriculture.
https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/health/assessment/?cid=nrcs142p2_053887

- Arcos-Torres, J. F., Erazo-Sandoval, N. S., & Quishpe-Quishpi, F. E. (2022). Caracterización de Suelos Asociados a la Rizosfera de Mortiño (*Vaccinium Floribundum* Kunth) en los Póramos de Ganquis y Cubillín de la Provincia de Chimborazo. *Domino de las Ciencias*, 8(1), 482-502.
- Avilés-Landívar, H. (2006). El valor del agua en la agricultura. *La Granja*, 5(1), 28-31.
- Choque, D. (2016). Distorsión en el uso del suelo debido al factor antrópico en relación a la capacidad de uso mayor, en la Comunidad de Luricocha, Ayacucho, 2016 [tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
- Cotrina-Cabello, V. R., Alejos-Patiño, I. W., Cotrina-Cabello, G. G., Córdova-Mendoza, P., & Córdova-Barrios, I. C. (2020). Efecto de abonos orgánicos en suelo agrícola de Purupampa Panao, Perú. *Centro Agrícola*, 47(2), 31-40.
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 15-27.
- Díaz, L. E. G., & Vázquez, R. T. (2007). Monitoreo de Fluoruros en Agua en la Ciudad de Aguascalientes. *Conciencia Tecnológica*, (34), 39-40.
- Delgado U. Y. A. (2014). Ley Orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua. Quito-Ecuador: Registro Oficial. Del Cantón Loja, GAD (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial local. Loja. Del Milenio, E. de los E.(2005). Los ecosistemas y el bienestar humano: humedales y agua. Informe de Síntesis World Resources Institute, Washington, DC.
- Garay Canales, Ó., & Ochoa Acevedo, Á. (2010). Primera aproximación para la identificación de los diferentes tipos de suelo agrícola en el valle del río Mantaro.
- Brousett-Minaya, M., Chambi Rodríguez, A., Mollocondo Turpo, M., Aguilar Atamari, L., & Lujano Laura, E. (2018). Evaluación físico-química y microbiológica de agua para

consumo humano Puno-Perú. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 15(15), 47-68.

Chaparro Lujan, J. C., & Najera Huidobro, H. I. (2022). Caracterización de las propiedades físicas, químicas y rango de NPK para establecer el nivel de fertilidad de los suelos agrícolas de la Comunidad Campesina de Chacayan–Provincia Daniel Alcides Carrión–Región.

Farfán Pinedo, A. (2021). Variabilidad de los atributos físicos y químicos del suelo en sistemas de manejo y el impacto del estrés abiótico en la morfología y fisiología de *Theobroma cacao* L.(cacao) en el Perú.

Fuentes Rivas, R. M., Ramos Leal, J. A., Jiménez Moleón, M. D. C., & Esparza Soto, M. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(3), 253-264.

Galvín, R. M. (2008). Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. EMACSA.

Gutiérrez, J. y M. Gould. 2000. SIG: Sistemas de información geográfica. Editorial Síntesis.

Jiménez, M. A., & Vélez, M. V. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. *Avances en recursos hidráulicos*, (14), 53-69.

Herrera, C., Pueyo, J. J., Sáez, A., & Valero-Garcés, B. L. (2006). Relación de aguas superficiales y subterráneas en el área del lago Chungará y lagunas de Cotacotani, norte de Chile: un estudio isotópico. *Revista geológica de Chile*, 33(2), 299-325.

Huiza Advincula, M. S. (2020). Diagnóstico de las propiedades físicas y químicas del suelo con fines de aptitud de sitio para la producción de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) en dos entisols de Pucallpa, Perú.

- Marchese Morales, A. B. (2014). Estudio físico y químico de suelos agrícolas para la estimación del nivel de salinización en el sector bajo de San Pedro de Lloc.
- Martínez de Victoria, E. (2016). El calcio, esencial para la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 33, 26-31.
- Mancilla-Villa, O. R., Anzaldo-Cortes, B. N., Guevara-Gutiérrez, R. D., Hernández-Vargas, O., Palomera-García, C., Figueroa-González, Y., ... & Mendoza-Saldivar, I. (2021). Calidad del agua subterránea para uso agrícola en Zacoalco de Torres y Autlán de Navarro, México. *Terra Latinoamericana*, 39.
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). Cartilla técnica: aguas subterráneas-acuíferos. Sociedad Geográfica de Lima.
- Poma Rojas, W. (2019). Compatibilidad de los sistemas de clasificación de tierras por uso mayor y uso potencial en los suelos de la cuenca del río Cajamarca.
- Poma Soto, G., Cordova Escobar, J., & Sanchez Pilares, O. G. (2016). Evaluación del análisis químico del agua, por método colorimétrico en el centro de investigación y producción Santo Tomas–UTEA Abancay. [tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio Institucional UTEA.
- Resolución Jefatural N.º R.J. 010-2016-ANA [ANA] Por la cual se aprueba el "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales". 11 de enero de 2016.
- Robles, C., Chávez, D., González, J., & JÚNEZ, H. (2016). Evaluación de la contaminación del agua subterránea por metales pesados en un acuífero somero. *Revista de Simulación y Laboratorio*, 3(6), 15-22.
- Rueda Saa, G., Rodríguez Victoria, J. A., & Madriñán Molina, R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta agronómica*, 60(3), 203-217.

- Ruiz, L. F. (2007). Los nitratos y las aguas subterráneas en España. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(3), 257-265.
- Sombroek, W. G., & Antoine, J. (1994). The use of geographic information systems (GIS) in land resources appraisal. *Outlook on agriculture*, 23(4), 249-255.
- Soto-Mora, E. S., Hernández-Vázquez, M., Luna-Zendejas, H. S., Ortiz-Ortiz, E., & García-Gallegos, E. (2016). Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(5), 98-102.
- Tonconi Quispe, J. (2015). Producción agrícola alimentaria y cambio climático: un análisis económico en el departamento de Puno, Perú. *Idesia (Arica)*, 33(2), 119-136.
- Trinidad-Santos, A. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Agro productividad*, 9(8).
- Vinasco, J., Jaramillo, D., & BTANCOURT, R. (2007). Análisis de cloruros. Universidad del Valle. Departamento Tecnología Química. Santiago de Cali (Colombia).
- Zambrano Rojas, J. M. (2023). Características físicas y químicas de las aguas del río Ronquillo influenciadas por factores externos, comparado con los estándares de calidad ambiental para consumo humano (ECA-1A).

Página web

<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-aluminio-y-el-desarrollo-radical-de-los-cultivos> - Esta información es propiedad intelectual de INTAGRI S.C.,

<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-aluminio-y-el-desarrollo-radical-de-los-cultivos> - Esta información es propiedad intelectual de INTAGRI S.C., Intagri se reserva el derecho de su publicación y reproducción total o parcial.

<https://www.europapress.es/andalucia/noticia-temperatura-rios-sierra-nevada-aumentado-cambio-climatico-estudio-20141003122420.html> (c) 2023 Europa Press.

Está expresamente prohibida la redistribución y la redifusión de este contenido sin su previo y expreso consentimiento.

Cirelli, A. F. (2012). El agua: un recurso esencial. *Quimica viva*, 11(3), 147-170.

Döll, P., Hoffmann-Dobrev, H., Portmann, F. T., Siebert, S., Eicker, A., Rodell, M., Strassberg, G., & Scanlon, B. R. (2012). Impact of water withdrawals from groundwater and surface water on continental water storage variations. *Journal of Geodynamics*, 59-60, 143-156.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jog.2011.05.001>

Harvey, A. H., & Friend, D. G. (2004). Physical properties of water. En *Aqueous systems at elevated temperatures and pressures* (pp. 1-27). Elsevier.

Shu, L., Jegatheesan, L., Jegatheesan, V., & Li, C. Q. (2020). The structure of water. *Fluid Phase Equilibria*, 511, 112