



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



**INFLUENCIA DE LA LAGUNA DE OXIDACION ESPINAR EN  
LAS CONDICIONES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS  
DE LOS SUELOS DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. KAREN MAMANI CONDORI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**INFLUENCIA DE LA LAGUNA DE OXIDACION ESPINAR EN LAS CONDICIONES FISIQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE**

AUTOR

**KAREN MAMANI CONDORI**

RECuento DE PALABRAS

**27404 Words**

RECuento DE CARACTERES

**134047 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**118 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**1.7MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jan 8, 2024 2:45 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jan 8, 2024 2:46 PM GMT-5**

● **18% de similitud general**

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

- 17% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 12% Base de datos de trabajos entregados
- 5% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO

Alfredo Loza Del Carpio, D. Sc.  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



Dr. Belisario Mantilla Mendoza  
DECANO  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS - UNA



## DEDICATORIA

A Dios por guiar mi camino, cuidar mis pasos, darme fuerza y voluntad para continuar con mis estudios a pesar de las circunstancias vividas durante mi etapa universitaria.

A mis queridos padres que fueron mi principal guía, apoyo y motivación durante el desarrollo de mi vida y carrera quienes me mostraron el camino correcto a través de sus enseñanzas y consejos para lograr mis metas y sueños para así tener un futuro agradable.

A mis hermanos que me dieron su apoyo incondicional durante mis estudios universitarios motivándome a no rendirme ante cualquier adversidad y brindándome sus conocimientos los cuales coadyuvaron a mi crecimiento personal y profesional.

A mis amigos que me impulsaron a seguir adelante motivándome a lograr mis metas y no rendirme en el camino.

**Karen Mamani Condori**



## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad por ser mi segundo hogar, brindarme los medios y el espacio para cumplir mis metas y objetivos.

A mis queridos padres por su gran apoyo moral e incondicional durante todo el tiempo que me tomó llegar al final de mi carrera, ya que con todo su amor paciencia y comprensión ellos me brindaron día a día el impulso de superación necesario para tener un futuro brillante.

A todos los docentes, quienes con su conocimiento me apoyaron y encaminaron compartiendo sus experiencias e ideas y por exigirnos día a día para superarnos más y ser competitivos en un mercado laboral.

A mi asesor por guiarme en esta investigación y ayudar en la realización de mi tesis con sus conocimientos y experiencias.

**Karen Mamani Condori**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 12**

**ABSTRACT..... 13**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 OBJETIVO GENERAL..... 16**

**1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 16**

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 ANTECEDENTES ..... 17**

**2.2 MARCO TEÓRICO..... 26**

2.2.1 Suelo ..... 26

2.2.2 Contaminación del suelo ..... 26

2.2.3 Principales contaminantes del suelo ..... 27

2.2.4 Estudio biológico del suelo ..... 28



2.2.5	Nutrientes del suelo .....	29
2.2.6	Propiedades físico químicas del suelo .....	31
2.2.7	Propiedades microbiológicas del suelo .....	37
2.2.8	Agua .....	37
2.2.9	Propiedades fisicoquímicas del agua .....	38
2.2.10	Propiedades microbiológicas del agua .....	41
2.2.11	Contaminación del agua .....	42
2.2.12	Laguna de oxidación.....	42
2.2.13	Características fisicoquímicas para medir en una laguna de oxidación ....	43
2.2.14	Impactos de una laguna de oxidación en suelos agrícolas.....	43
<b>2.3</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>44</b>

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1</b>	<b>ÁMBITO DE ESTUDIO .....</b>	<b>48</b>
<b>3.2</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>	<b>48</b>
<b>3.3</b>	<b>DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>50</b>
3.3.1	Tipo de investigación .....	50
3.3.2	Diseño de investigación.....	50
<b>3.4</b>	<b>ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS SUELOS ADYACENTES A LA LAGUNA DE OXIDACION ESPINAR DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO.....</b>	<b>50</b>



<b>3.5 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN ESPINAR DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, ADYACENTES A LOS SUELOS EVALUADOS. ....</b>	<b>52</b>
--	-----------

#### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>4.1 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS SUELOS ADYACENTES A LA LAGUNA DE OXIDACIÓN ESPINAR DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO. ....</b>	<b>55</b>
<b>4.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN ESPINAR DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, ADYACENTES A LOS SUELOS EVALUADOS. ....</b>	<b>78</b>
<b>V. CONCLUSIONES. ....</b>	<b>83</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>84</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS. ....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS. ....</b>	<b>97</b>

**ÁREA:** Ciencias Biomédicas

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Calidad ambiental

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 11 de enero del 2024



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribución de los puntos de muestreo en tres zonas en la bahía interior de Puno.....	49
<b>Figura 2.</b> Composición porcentual de las tres zonas de estudio del suelo adyacente a la laguna de oxidación Espinar Puno, 2022. ....	57
<b>Figura 3.</b> Niveles de pH de las tres zonas de suelos, adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno ,2022 (USDA 1999, Jaramillo 2002). .	59
<b>Figura 4.</b> Valores de la conductividad eléctrica CE $\mu\text{S}/\text{cm}$ encontrada en suelos de las tres zonas evaluadas, adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, 2022. ....	61
<b>Figura 5.</b> Niveles de contenido de Carbonatos de los suelos adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, 2022.....	63
<b>Figura 6.</b> Contenido de materia orgánica (M.O) en suelos de las tres zonas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno ,2022. ....	65
<b>Figura 7.</b> Nitrógeno total en suelos de las tres zonas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, 2022.....	67
<b>Figura 8.</b> Contenido de Fosforo P (ppm) en suelos de las tres zonas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno ,2022. ....	70
<b>Figura 9.</b> Contenido de Potasio K (ppm) en suelos de las tres zonas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno ,2022. ....	72
<b>Figura 10.</b> Capacidad de intercambio catiónico ( <i>meq/100g</i> ) en suelos de las tres zonas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, 2022.....	73
<b>Figura 11.</b> Saturación de Bases SB% en suelos de las tres zonas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno ,2022.....	75



<b>Figura 12.</b> Análisis microbiológico de Coliformes totales y fecales (termotolerantes) en suelos de las tres zonas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno ,2022. ....	76
<b>Figura 13.</b> Equipos para toma de muestras de agua: A. GPS B y C Equipos para análisis de calidad de agua D. Cooler para transporte de muestras de agua. ....	113
<b>Figura 14.</b> Proceso de recolección de muestras de suelos: A. Excavación de hoyo B. Embolsado de muestra C. Secado de muestras a T° ambiente.....	114
<b>Figura 15.</b> Análisis microbiológico de suelos y agua: A. Aza de siembra B y C. Muestra de suelos a analizar D.E y F. Caldos de cultivo y agar G. Análisis de muestras H. Cultivo de muestras de suelo y I. Cultivo de muestra de agua. ....	115



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Tabla de análisis del nitrógeno del suelo .....	30
<b>Tabla 2.</b>	Tabla de interpretación del análisis del fósforo y potasio en el suelo. ....	30
<b>Tabla 3.</b>	Tabla de interpretación de C.I.C TOTAL (meq/100g). ....	32
<b>Tabla 4.</b>	Clasificación de salinidad en función de la C.E. del suelo (USDA). ....	33
<b>Tabla 5.</b>	Calificación del pH del suelo (USDA). ....	34
<b>Tabla 6.</b>	Clasificación de carbonato de calcio en los suelos. ....	35
<b>Tabla 7.</b>	Calificación de materia orgánica. ....	36
<b>Tabla 8.</b>	Calificación por saturación por bases. ....	36
<b>Tabla 9.</b>	Referencia de las tres zonas de muestreo para el estudio de suelos y la zona de muestreo de agua. ....	49
<b>Tabla 10.</b>	Tabla de correlación r de Pearson .....	54
<b>Tabla 11.</b>	Análisis de caracterización de los suelos adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno. ....	56
<b>Tabla 12.</b>	Promedios del análisis de datos del pH y CE de los suelos adyacentes a la laguna de oxidación Espinar Puno, 2022. ....	58
<b>Tabla 13.</b>	Promedios obtenidos del contenido de carbonatos, Materia orgánica y Nitrógeno total de los suelos adyacentes a la laguna de oxidación Espinar Puno, 2022. ....	62
<b>Tabla 14.</b>	Promedios del contenido de fósforo, Potasio, Cationes intercambiables y saturación de base de las tres zonas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, 2022. ....	69
<b>Tabla 15.</b>	Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas evaluadas en las aguas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, 2022. ....	79



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Da	: Densidad aparente
pH	: Potencial de hidrógeno
CE	: Conductividad eléctrica
CIC	: Capacidad de intercambio catiónico
SEMARNAT	: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
ECA	: Estándares de calidad ambiental
OD	: Oxígeno Disuelto
DQO	: Demanda Química de Oxígeno
SDT	: Sólidos Disueltos Totales
MINAM	: Ministerio del Ambiente
INIA	: Instituto Nacional de Innovación Agraria
UNA	: Universidad Nacional del Altiplano
ANA	: Autoridad Nacional del Agua
OEFA	: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
PTAR	: Planta de tratamiento de aguas residuales
NMP	: Número más probable



## RESUMEN

El inadecuado tratamiento de las aguas residuales que recibe la laguna de oxidación Espinar podría estar alterando las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de los suelos adyacentes de la bahía interior de Puno, por lo que se plantea como objetivos: a) Analizar las propiedades fisicoquímicas de los suelos adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, y b) Analizar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas de la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, adyacentes a los suelos evaluados. Se utilizó la técnica de zigzag para la toma de muestras de suelos agrícolas a una profundidad de 30 cm con tres repeticiones por cada zona agrícola (cercana, intermedia y lejana, según distancia a la laguna de oxidación) durante los meses de enero, marzo y abril del 2022, tomando una muestra de agua por cada repetición de muestreo de suelo, las cuales fueron llevadas y analizadas en los laboratorios de la UNA PUNO. Respecto a las características fisicoquímicas del suelo el pH está entre neutro a moderadamente alcalino, la CE muestra que son suelos no salinos, la concentración de carbonatos evidencia que son moderadamente y fuertemente calcáreos, la MO encontrada es media alta, N.T de 0.13-0.34 %, P de 9.99-23.20 ppm, K de 385-560 ppm, C.tot 4.60NMP/g y C.term <3 NMP/g. Las características fisicoquímicas del agua presentaron un pH promedio de 6.67, una temperatura promedio de 13 °C, conductividad eléctrica promedio de 1804  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , TDS promedio de 901.3 ppm, O.D promedio de 0.27 mg/l y C.tot hasta  $29 \times 10^3$  NMP/100ml y C.term hasta  $19 \times 10^3$  NMP/100ml. Concluyendo que las aguas adyacentes a los cultivos no influyen significativamente en la calidad fisicoquímica de los suelos, no obstante las propiedades microbiológicas del agua si aportan microorganismos Coliformes al suelo.

**Palabras Clave:** Calidad, laguna de oxidación, parámetros y suelo.



## ABSTRACT

The inadequate treatment of wastewater received by the Espinar oxidation pond is could be altering the physicochemical and microbiological conditions of the adjacent soils of the inner bay of Puno, so the objectives are as follows: a) To analyze the physicochemical properties of the soils adjacent to the Espinar oxidation pond of the inner bay of Puno, and b) To analyze the physicochemical and microbiological properties of the waters of the Espinar oxidation pond of the inner bay of Puno, adjacent to the evaluated soils. The zigzag technique was used to take samples of agricultural soils at a depth of 30 cm with three replicates for each agricultural zone (near, intermediate and far according to the distance to the oxidation lagoon) during the months of January, March and April 2022, taking a water sample for each soil sampling replicate, which were taken and analyzed in the laboratories of the UNA PUNO. Regarding the physicochemical characteristics of the soil the pH is between neutral and moderately alkaline, the EC showed that the soils are not saline, the concentration of carbonate showed that they are moderately and strongly calcareous, the MO found is medium high, N.T of 0.13-0.34 %, P of 9.99-23.20 ppm, K de 385-560 ppm C.tot 4.60NMP/g and C.term <3 NMP/g. The physicochemical characteristics of the water showed an average pH of 6.67, an average temperature of 13 °C, average electrical conductivity of 1804  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , average TDS of 901.3 ppm, O.D of 0.27 mg/l and C.tot up to  $29 \times 10^3$  NMP/100ml and C.term up to  $19 \times 10^3$  NMP/100ml. It is concluded that the water adjacent to the crops does not have a significant influence on the physicochemical quality of the soil, but the microbiological properties of the water do contribute Coliform microorganisms to the soil.

**Key words:** Quality, oxidation pond, parameters and soil.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Las lagunas de oxidación son reservorios de aguas residuales de una ciudad que carece de una planta de tratamiento donde se estima que la producción global de aguas residuales es de aproximadamente  $1.500 \text{ km}^3$ , por lo que a nivel mundial la contaminación de agua dulce es de  $12.000 \text{ km}^3$ , debido que un litro de agua residual contamina 8 litros de agua dulce, en la cual las poblaciones que se dedican a actividades agrícolas son afectadas considerablemente (Cedeño, 2019).

En América latina, según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), de los  $52.000.000 \text{ m}^3/\text{día}$  de aguas residuales que se producen al día, solo el 6% son tratados de manera adecuada, convirtiéndose en un problema que aqueja a la población que va en aumento, a ello se suma que los países latinoamericanos utilizan las aguas residuales para riego de vegetales pese a que no son tratadas, por lo que se estima que más de 981.445 hectáreas son regadas con agua residual cruda o diluida (OEFA, 2014).

Nuestro país no es la excepción, debido a que se reporta aproximadamente  $2.217.946 \text{ m}^3$  de aguas residuales por día que son descargadas en la red de alcantarillado de las EPS, sin embargo, a nivel nacional se cuenta con un total de 143 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), existiendo de esta manera pocos proyectos que puedan llamarse exitosos (MINAM, 2019). Esta situación pone en evidencia las deficiencias de sistemas de tratamiento de aguas residuales, asimismo a nivel regional se observa la carencia de plantas de tratamiento donde Puno es un claro ejemplo de ello debido a que existe una sola laguna de oxidación en la que claramente se evidencia que no abastece a



todo la ciudad vertiendo lo excedente en el lago Titicaca lo que conlleva a la contaminación de este ecosistema natural y a la pérdida del bienestar de la población, pese a que esta situación es visible y preocupante aun no contamos con otra planta de tratamiento adecuada a pesar de los intentos y esfuerzos fallidos de las autoridades y líderes que aún no lo logran concretar (Apaza & Quenaya, 2017). Dicha laguna fue construida en 1972 con el propósito de procesar aguas residuales domesticas estimados para 35 mil personas, sin embargo a la fecha el incremento poblacional provoca el colapso de este especialmente en las épocas de lluvia donde existe mayor volumen de aguas residuales, no obstante la necesidad de una planta de tratamiento motiva a seguir utilizando esta laguna de oxidación vertiendo así 0,05 litros diarios de arsénico, plomo y fosfato en el lago titica y lugares aledañas (Fernández, 2016).

Por lo descrito en párrafos anteriores este estudio toma importancia en conocer la influencia de la laguna de oxidación en los suelos adyacentes, asimismo sirve para que la población conozca sobre la contaminación y los riesgos que genera esta laguna de oxidación en zonas agrícolas de la bahía interior, por lo que es importante contar con un adecuado tratamiento. Cabe recalcar que el contacto de las zonas agrícolas con la Laguna de oxidación se da con mayor frecuentemente en las épocas de lluvia donde el nivel freático disminuye considerablemente muchas veces afectando directamente a los campos de cultivo de las zonas adyacentes de la bahía interior del lago Titicaca.

Con la presente investigación se pretende demostrar el grado de contaminación que tienen los suelos adyacentes a la Laguna de Espinar utilizados como áreas agrícolas y por ende en posteriores investigaciones se opte por el diseño de una planta de tratamiento para aguas residuales, poniendo énfasis en el tratamiento microbiológico ya que las aguas del lago son utilizadas para irrigar campos de cultivos de alimentos y así disminuir esta problemática que aqueja a la bahía interior del Titicaca y a la población



debido a que también es uno de los atractivos turísticos de la ciudad de Puno.

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la influencia de la laguna de oxidación Espinar en los suelos adyacentes de la bahía interior de la ciudad de Puno.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar las propiedades fisicoquímicas de los suelos adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno.
- Analizar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas de la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, adyacentes a los suelos evaluados.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES

Leal et al., (2022) en su estudio sobre el análisis multivariado de suelos irrigados con aguas residuales de la acuicultura tuvo como objetivo evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos con irrigación continua de aguas residuales de la acuicultura, y también identificar las variables con relación a su comportamiento por la irrigación cuyos tratamientos fueron: tres suelos agrícolas localizados al sur del estado de Tlaxcala, México realizando el muestreo de suelos a una profundidad de 0-30 cm con nueve repeticiones para determinar el pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, nitrato, amonio, N. total, fósforo, potasio, calcio, magnesio, textura, densidad aparente, y la actividad microbiana a través del análisis de correlación lineal y el ACP, obteniendo como resultados que la irrigación con aguas residuales de la acuicultura incrementó la concentración de fósforo, potasio, calcio, amonio y nitratos; a través del análisis de correlación lineal y el ACP, obteniéndose que el primer componente principal explicó el 76 % de la varianza total, asociado al pH, materia orgánica, arena, N. total, potasio, magnesio y amonio; mientras que, el segundo componente explicó el 23 % de la varianza total, enlazado al fósforo y a la adsorción por el complejo de cambio que contribuye la arcilla llegando a la conclusión de que la irrigación con aguas residuales de la acuicultura mejoró la fertilidad del suelo, y con el análisis de componentes principales (ACP) se lograron identificar como variables indicadoras al fósforo, la partícula arcilla y el magnesio, para la toma de decisiones sobre, el manejo de los suelos irrigados con aguas residuales de la acuicultura.



García et al., (2020) en su artículo de investigación acerca del impacto de aguas residuales sobre algunas propiedades, y acumulación de metales pesados en el suelo, determino el efecto del uso de agua residual cruda, tratada y mezclada , sobre la densidad aparente (Da), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica (MO), sodio intercambiable (PSI), concentración de cobre (Cu), plomo (Pb), y cadmio (Cd) a tres profundidades del suelo, los resultados indicaron que existe diferencias altamente significativas para el pH con 8.04 y 8.60 para las propiedades regadas con agua residual cruda y tratada; el PSI del suelo con 1.64 %, 4.64 % y 6.44 % para el agua residual cruda, tratada y mezclada, respectivamente. Los más altos valores de Da se observaron a una profundidad 60 a 90 cm, para el agua residual cruda y tratada con valores de 1.32 y 1.42 g.cm<sup>-3</sup> respectivamente; en la concentración de Pb y Cu, los valores más altos se observaron en la profundidad de 0 a 30 cm con valores de 2.26 y 1.44 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente concluyéndose así que la utilización de agua residual cruda modifica negativamente las propiedades fisicoquímicas e incrementa metales pesados en los primeros estratos del suelo.

Sánchez et al., (2013) desarrollaron un estudio titulado caracterización de suelos regados con aguas residuales para establecer un sistema agroforestal cuya finalidad fue caracterizar fisicoquímicamente los territorios de esa zona (dos ejidos), para instaurar un sistema agroforestal con una especie maderable y una agrícola, adecuadas a las condiciones presentes encontrándose que los suelos no presentan deficiencias para K, P, Ca, Mg y Zn, sin embargo; los porcentajes de MO y contenido de nitrógeno inorgánico fueron pobres, la textura fue franca, y la concentración de metales pesados fue baja concluyéndose que caracterizar los suelos de aguas residuales facilito la obtención de la Coquia y Mezquite como especies del sistema agroforestal, convirtiéndose esta en una de



las alternativas de solución económicas para los productores que facilitará la producción de manera rotativa conforme a los ciclos de producción agrícola.

Sarabia et al., (2011) desarrollaron un artículo de investigación acerca de la calidad de agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del valle San Luis de Potosí, México, tuvo como finalidad analizar la calidad del agua de riego del Valle de San Luis Potosí, proveniente del acuífero somero y su impacto en suelos agrícolas, y en algunos cultivos, el estudio fue desarrollado bajo el método analítico, mediante el muestreo de agua, suelos y cultivos, para el caso del agua, se analizaron también sus características microbiológicas, detectándose que algunas muestras de agua sobrepasaron el límite máximo permisible de las normas oficiales mexicanas (DOF 1996) para uso agrícola en la concentración de sulfatos, y la conductividad eléctrica (CE), el cual representa un exceso de sales en el agua, y en algunos casos en las concentraciones de coliformes fecales y los sólidos disueltos totales (SDT), a la vez los nitratos muestran altas concentraciones en el agua de riego concluyendo que estas pueden ser usados para los cultivos forrajeros u hortícolas pero bajo condiciones de manejo de riego.

Zamora et al., (2008) encontraron en su artículo denominado efectos del riesgo con aguas residuales sobre propiedades químicas de los suelos de la planicie de Coro estado Falcón cuya intención fue establecer la potencialidad del uso de aguas residuales como opción para riego en las zonas semiáridas del estado Falcón, que fue desarrollado bajo la metodología de tipo analítico descriptivo experimental con la irrigación permanente del pasto, otra con irrigación intermitente de hortalizas, y un área de suelo virgen sin uso de aguas residuales encontrándose que la introducción constante de aguas residuales en los suelos cultivados con pastos incrementó significativamente los niveles de MO, P, K y Mg encontrando que hubo un efecto promisorio con el uso de las aguas residuales ya que éstas contribuyeron a optimizar la fertilidad del suelo; no obstante, su



uso prolongado acrecentó los contenidos de metales pesados en el suelo a niveles que pudieran implicar peligros a la salud.

Umaña (2011) en su estudio sobre el reúso de aguas para el riego de una parcela de cultivo de maíz *Zea mays L.* que realizó en la comunidad de El Aguacate municipio de Jinotepe aprovechando los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jinotepe, tuvo como objetivo evaluar los efectos sobre las características físicas y químicas del suelo, y su rendimiento con respecto a una parcela de referencia donde el manejo que se dio al cultivo fue el que tradicionalmente realizan los agricultores de la zona con excepción que no se aplicó ningún fertilizante para aprovechar los nutrientes contenidos en el agua residual tratada, el monitoreo para las características del suelo los realizo en la etapa inicial, la etapa intermedia y la etapa final del ciclo del cultivo; los resultados que obtuvo indican que estadísticamente las variaciones experimentadas en las características del suelo de la parcela en estudio fueron no significativas. Por otro lado, la calidad del efluente de acuerdo al contenido de nutrientes, suple el no uso de fertilizantes por lo tanto el rendimiento obtenido en el estudio supero hasta en un 60 por ciento la media de productos de maíz en la zona.

Aguilar & Cubas (2021) en su estudio sobre la contaminación agrícola por el uso de aguas residuales, tuvieron como objetivo revelar el índice de contaminación de la producción agrícola debido al uso de las aguas residuales a través de una investigación experimental, de campo documental y descriptiva, tomando muestras de agua residual de las cuencas conformadas por las quebradas San Mateo, Colpamayo, San Juan y Río Chotano, observando que las aguas residuales no cumplen los requisitos adecuados para ser usado para riego. Se tomaron además muestras de verduras y hortalizas regadas con esas aguas y se les descubrió contaminación por presencia de Coliformes, estreptococos y salmonella , se identificó los parámetros físicos y de agregación para las aguas



residuales sin tratamiento provenientes de la ciudad de Chota, donde solo el pH y los sólidos en suspensión total están entre los valores adecuados, la temperatura y la turbidez están afuera del rango por exceso en sus valores y el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales no están en el rango por no alcanzar el mínimo valor. Los parámetros inorgánicos no metálicos que están dentro de los valores aceptables están la alcalinidad, los cloruros, la dureza, los nitratos, los nitritos, los sulfatos y la DQO, quienes no están en los valores correctos son: los fosfatos, el amonio, y la demanda química de oxígeno.

Siguayro & Franco (2022) en su estudio sobre los aspectos fisicoquímicos del lago Titicaca realizaron la evaluación limnológica del lago Titicaca, con el objetivo de caracterizar las variables físicas, químicas, biológicas y su relación con la biomasa íctica en la bahía de Puno, donde se establecieron 71 estaciones de muestreo en 8 perfiles según la morfología del lago. Obteniendo como resultados que el Lago Mayor presento gradiente de temperatura con mezcla incompleta, altos contenidos de oxígeno disuelto que estaban por encima de 50 m de profundidad, no mostró anoxia a más de 250 m de profundidad, pH con tendencia básica; así mismo, se encontraron concentraciones elevadas de fosfatos y nitratos en el hipolimnion, sin embargo, para el silicato y nitritos fue fluctuante. La máxima de clorofila-a se presentó entre 10 a 50 m de profundidad. En la bahía de Puno, Lago Menor y zonas someras, estos parámetros fisicoquímicos mostraron fluctuaciones, concentraciones elevadas de fosfatos, nitratos y clorofila-a frente a la desembocadura del río Coata y Suches y frente a Desaguadero en el Lago Menor. También se apreciaron niveles altos de variabilidad especialmente con los fosfatos y nitratos en columna de agua.

Huamaní (2018) menciona que en Chancay, Lima, Perú, no está bien identificado los problemas que existen en la utilización de agua para el riego en la zona de las Salinas



Bajo debido a que el agua de riego no solo es proveniente del río Chancay, sino que en su recorrido se añaden aguas servidas que no han recibido tratamiento, por lo que se consideró importante determinar el resultado contaminante de las aguas servidas sobre el suelo y cultivos agrícolas en la salida del canal de regadío, a través de los análisis fisicoquímicos, contenido de metales pesados y microbiológicos del agua, suelo y cultivos de la zona, debido a ello se tomó muestras de agua al inicio y final del canal en tres horarios 8:00 am, 01:00 pm y 06:00 pm horas, constituyendo un total de 12 muestras; para el suelo se consideraron 10 muestras y para los cultivos 6 muestras, los resultados obtenidos indicaron que las aguas se catalogaron como muy duras, alcalinas y de acuerdo con la R.A.S. son de C3-S1 que lo califica de media salinidad. Además, las aguas presentan gran carga contaminante de sólidos suspendidos que incitan la turbidez y las otras variables químicas como los metales pesados están por debajo de los ECAs establecidos; sin embargo, en la mayoría de las muestras dejó ver que para Coliformes fecales, totales y *Escherichia coli* excedieron los ECAs, cuya mayor tendencia fue el final del canal de regadío. En cuanto a los resultados de la identificación, estos indicaron que los suelos son básicos, salinos y calcáreos, con bajo contenido de M.O, alto contenido de P y medio en K, en cuanto a los metales pesados se encontraron en el siguiente orden: Fe>Mn>Zn>Cr>Cu>Pb>Cd, sin problemas de exceso; con referencia a los coliformes totales, Coliformes fecales y *Escherichia coli* estos se han encontrado en cantidades medias en el suelo mientras que en los cultivos hay una presencia aceptable. Concluyéndose que el mayor inconveniente de contaminación se encuentra en el agua, provocando la contaminación del suelo y de los cultivos, por lo consiguiente, debe ser tratada para impedir que en un futuro sea fuente de difusión de enfermedades y de bioacumulación de metales.

Jiménez (2014) en su tesis titulada calidad del agua de las lagunas de oxidación



de Covicorti, Trujillo – La Libertad, de la Universidad Nacional del Trujillo, tuvo como propósito establecer la calidad de agua que procede de las lagunas de oxidación de Covicorti en Trujillo, que se realizó mediante el análisis de parámetros físicos, químicos e indicadores bacteriológicos, los parámetros físicos, la temperatura del agua oscilaron entre 20.1 y 26.6 °C y el promedio de la conductividad eléctrica fue 1712  $\mu$ S, los promedios de salinidad, oxígeno disuelto, DBO, Sólidos totales y pH fueron de 0.85 ppt, 2.72 mg/L, 294.76 mg/L, 1140.08 ppm y 7.9 correspondientemente. En cuanto a los indicadores bacteriológicos obtuvieron valores de  $1.6 \times 10^8$  NMP/100 ml, también se observó la presencia de parásitos como *Giardia lamblia*, *Balantidium sp.*, *Entamoeba sp.* y *Blastocystis sp.* . Concluyendo que no es aceptable la calidad de agua que procede de las lagunas de oxidación, asimismo no admisibles para la utilización en actividades agrícolas ni pecuarios debido que supera los estándares de calidad de agua.

Garay & Ochoa (2010) en su trabajo “Primera aproximación para la identificación de los diferentes tipos de suelo agrícola en el valle del río Mantaro” realizaron el análisis físico-químico de los suelos agrícolas (materia orgánica, acidez y textura) en el ámbito de su influencia, concretamente en los distritos de las provincias de Concepción, Chupaca, Huancayo y Jauja en el período 1985 – 2009, donde solo se consideró la textura, acidez (pH) y materia orgánica de los suelos, debido a que la actividad de la agricultura en el valle del río Mantaro y principalmente en la sierra y selva del país, encontrándose que los suelos revelaron tendencias a ser franco-arcillo-arenosos y franco arenosos, los suelos en su mayoría muestran ser bien provistos con M.O, su pH muestra rangos de 4.5 a 6.5 lo que favorece en la absorción de nutrientes en la mayoría de los cultivos.

Cano (2021) en su estudio sobre metales pesados y fertilidad de los suelos de la irrigación Canal N, Puno, Perú tuvo como objetivo realizar análisis de suelos con irrigación y sin irrigación de las aguas de la cuenca LLallimayo donde se recolectaron



metódicamente muestras de suelos en dos zonas, A (bajo riego) con cultivos forrajeros Rye gras y avena, y B (no irrigada) con pastos naturales y avena; analizando las muestras mediante el método EPA Method 200.8 Rev.5.4 1994 Suelo Agrícola y el análisis de caracterización Methods of análisis for soils, plants and Waters of California, División of agricultural sciences E.U.A.; encontrando que los resultados de los análisis indican al Mercurio con 259 y 249 mg/kg correspondientes a ambas zona los cuales superan los estándares de calidad ambiental (ECA) 6.6 mg/kg D.S. N° 011-2017-MINAM y a la vez se realizó el análisis de caracterización : Textura franca y franco limosa, Materia Orgánica, Nitrógeno Total y Carbonatos bajos, pH moderadamente alcalinos en suelos irrigados y pastos naturales, ligeramente ácidos en suelos de avena bajo secano, Conductividad Eléctrica no salinos, Fósforo método Olsen medio, Potasio y Calcio altos, Magnesio medio, Sodio normal, Capacidad de Intercambio Catiónico alto en suelos irrigados bajo cultivo perenne , medio en cultivo irrigado anual y en los no irrigados; concluyendo así que el Mercurio Supera los ECA constituyendo un riesgo para el ambiente y la salud, los suelos tienen fertilidad media, y a la vez los productores perciben que las actividades mineras contaminan los recursos agua y suelos.

Andrade et al., (2020) explicaron en su artículo titulado determinación de metales pesados en suelos agrícolas y suelos para cultivo de *Solanum Tuberosum* de la bahía interior de Puno cuya finalidad fue determinar la presencia de metales pesados (Pb, Cd y As) en suelos agrícolas y suelos para cultivo de *Solanum tuberosum* de la Bahía Interior de Puno, este estudio se realizó en 6 puntos de muestreo para los suelos agrícolas y suelos para cultivos de *Solanum Tuberosum*, concluyendo que los suelos estudiados demuestran una contaminación mayor de plomo y arsénico ya que sus valores superaron los parámetros establecidos, fenómeno que requiere intervención y remediación pronta, ya que se evidencia la acumulación de plomo, arsénico y cadmio que se localiza alrededor



de la laguna de oxidación convirtiéndose en un área de mayor contaminación.

López (2019) en su estudio acerca de la evaluación de la calidad de agua para uso agrícola de río Challamayo, Tiquillaca – Puno, cuyo objetivo fue evaluar la calidad de agua y comparar con los parámetros de calidad ambiental para la categoría tres, para demostrar si es apto para el uso agrícola utilizando los parámetros de pH y CE para compararlos con los parámetros establecidos de la calidad ambiental con la finalidad de uso agrícola llegó a la conclusión que los parámetros de pH y CE en los 10 puntos de muestreo del río Challamayo, durante los meses enero y febrero superan los ECA con fines de uso agrícola, por lo tanto, no son aptos para el riego. Del mismo modo, en el mes de marzo el 80 % no cumplen con el ECA y en el mes de abril el 70% no cumplieron con los ECA. En relación con la CE los únicos puntos que superaron los ECA para aguas de riego fueron en los PM-4 con 2.72mS/cm y PM-5 con 3.23mS/cm, ambos ubicados en el afluente Coltamayo, consecuentemente en el PM-10 con 2.61mS/cm, ubicado en la parte baja de la subcuenta.

Pari (2017) para su investigación sobre la determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Ilave y la presencia de microorganismos biológicos realizó muestreos tomando cuatro puntos con una distancia de 1500 metros entre cada punto con mediciones in situ y para el análisis en laboratorio en el que se determinó y concluyó que el estado fisicoquímico del río Ilave sufrió cambios durante el estudio encontrando que en la época seca las concentraciones de contaminación son bajas, agravándose en época de transición y considerándose como contaminada, en el segundo muestreo obtuvo resultados muy significativos presentando mayor presencia de contaminantes como: fosfato (1.75, 2.1, 1.56 y 1.45 mg/L), DBO5 (84,96,76 y 72 mg/L), DQO (183, 218, 173 y 165 mg/L), también se determinó que la presencia de Coliformes fecales fueron más altas en el segundo muestreo con concentraciones de hasta (3200 NMP/100 ml).



## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 Suelo**

Es la porción de capa delgada más superficial que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales debido a la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua; la corteza terrestre está constituida en su mayoría por residuos de roca provenientes de procesos erosivos, así como de materia orgánica fruto de la actividad biológica que se desarrolla en la superficie (UNLP, 2019).

### **2.2.2 Contaminación del suelo**

Todos los suelos, contaminados o no, incluyen una variedad de sustancias naturales, como metales, no metales, iones inorgánicos y sales (fosfatos, carbonatos, sulfatos y nitratos), así como diversas sustancias orgánicas (lípidos, ácidos grasos, hidrocarburos, alcoholes, etc.). Este grupo de sustancias químicas se produce principalmente por muchos mecanismos relacionados con la actividad microbiana del suelo, y la degradación de los organismos (principalmente plantas y animales). Se habla de suelo contaminado cuando las cantidades de algunos de estos compuestos latentemente contaminantes en el suelo superan los niveles naturales. Por otro lado, la contaminación del suelo se produce cuando muchas sustancias procedentes de numerosas fuentes como la quema de combustibles, los vertidos, las operaciones agrícolas, etc, penetran en el suelo en cantidades significativas; por lo tanto, los factores humanos suelen ser las primordiales causas de la contaminación del suelo (Jiménez, 2017).

La acumulación de contaminantes hasta niveles perjudiciales para la vida y el crecimiento de los seres vivos es lo que provoca la contaminación del suelo; en otras



palabras, tienen un impacto en la vida humana, animal e incluso vegetal, algunos ejemplos son la minería, los plaguicidas y los hidrocarburos; esta presencia de sustancias peligrosas, tanto los materiales orgánicos como los inorgánicos en cualquier sector ecológico contribuye a la contaminación (Estela, 2021).

Cuando hablamos de la polución del suelo, nos referimos al efecto que determinadas sustancias químicas tienen sobre el suelo, contaminándolo y haciéndolo estéril e incluso peligroso. El resultado terminable de la contaminación del suelo es que amenaza tanto la existencia del ecosistema como el bienestar de las criaturas que lo habitan (Cardona, 2019).

### **2.2.3 Principales contaminantes del suelo**

Las principales causas de contaminación están relacionadas con los procesos socioeconómicos que producen basura contaminante. Es importante recordar que también hay causas naturales de contaminación o endógenos como los metales que se encuentran en las rocas o las cenizas creadas por la contaminación volcánica mientras que los exógenos, a menudo conocidos como contaminantes antropogénicos, provienen de las actividades humanas. La frecuencia de cada sustancia química en la contaminación del suelo está influida por una serie de variables, según como la naturaleza de la sustancia, las circunstancias climáticas y las propiedades del suelo; además, los metales pesados, los microbios patógenos, los hidrocarburos, los pesticidas, la basura, los ácidos y la minería son algunos de los principales contaminantes del suelo (Estela, 2021).

“En el momento en el que depositamos en el suelo, ya sea de forma accidental o voluntaria, desechos como: plástico, vidrio, materia fecal u orgánica, sustancias radioactivas, químicas o plaguicidas y actividad minera, estamos afectando de forma directa las características del suelo, causando efectos nocivos” (Cardona, 2019).



#### 2.2.4 Estudio biológico del suelo

En el suelo, que es un recurso vivo, se puede encontrar una variedad de tipos de microorganismos morfológica y fisiológicamente diversos. Los indicadores biológicos del suelo incluyen los macro y microorganismos, como bacterias, hongos, nematodos, gusanos, anélidos y artrópodos, que existen en gran cantidad (Montalvo, 2013).

El hecho de que el suelo es un recurso vivo, ya que un gramo de suelo puede contener miles de millones de individuos y miles de tipos diferentes de microorganismos que forman parte de comunidades complejas y son sensibles a los cambios del microambiente (Uribe, 1999).

Arequipa (2017) menciona a los siguientes indicadores biológicos:

- Poblaciones: lombrices, artrópodos, termitas, nematodos, aves y plantas.
- Productos: ATP, ergosterol y quitina.
- Actividad: descomposición de residuos, respiración microbiana y actividad enzimática.

Se trata de una agrupación biótica formada por partículas del suelo, cianobacterias, algas, hongos, líquenes, hepáticas y briofitas que viven en estrecha proximidad aunque predomina en las regiones secas, semiáridas, alpinas y polares, está ampliamente dispersa en todos los tipos de suelo y en casi todas las comunidades vegetales donde la luz llega a la superficie del suelo. Este conjunto de organismos favorece la estabilidad del suelo, contribuye significativamente a su contenido de carbono y nitrógeno y lo protege de los efectos erosivos del viento y la lluvia. Además, controla la infiltración y tiene un impacto inmediato en las plantas vasculares y otros seres (Castillo & Maestre, 2011).



## 2.2.5 Nutrientes del suelo

Los elementos que componen las bases del suelo, el nitrógeno, el fósforo y el potasio son nutrientes primordiales junto con el azufre y las bases de cambio las cuales forman los llamados macronutrientes, que son taxativos del crecimiento y desarrollo de las plantas. A la vez su valoración permite conocer la necesidad de aplicar abonos en las áreas agrícolas así como la toxicidad para las plantas. Sin embargo, estos tres elementos se hallan en diferentes formas o especies químicas en el suelo, no siendo todas ellas aprovechables; de otro lado se encuentran los micronutrientes, sustancias que también son imperiosos para el desarrollo de las plantas pero en cantidades muy inferiores a los elementos macronutrientes (González et al., 2012).

### 2.2.5.1 Nitrógeno

Fomenta el proceso del crecimiento de las hojas y el de los brotes; está presente en el protoplasma celular constituyendo las proteínas, clorofila, nucleótidos, alcaloides, enzimas, hormonas y vitaminas. Del mismo modo, el nitrógeno es alimento de los microorganismos del suelo, favoreciendo la descomposición de la materia orgánica en el transcurso de desnitrificación. Este macronutriente es aprovechado por las plantas solo en su forma aniónica de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y catiónica de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Perdomo et al, 1998) (FAO, 2014).

**Tabla 1.**Tabla de análisis del nitrógeno del suelo

N %	CALIFICACION
<0,032	Extremadamente pobre
0,032-0,063	Pobre
0,064-0,095	Medianamente pobre
0,096-0,126	Medio
0,127-0,158	Medianamente rico
0,159-0,221	Rico
>0,221	Extremadamente rico

**Fuente:** Moreno, 1978; citado por Fernández, 2006: 40

### 2.2.5.2 Fosforo

Coadyuva al crecimiento de las raíces, frutos y semillas y a la floración formando parte de la célula viva, nucleótidos, lecitinas y enzimas y participando en las transmisiones de energía; está presente en la solución del suelo como ion ortofosfato: H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> en condiciones ácidas, y HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en condiciones alcalinas (Busman et al., 2002).

### 2.2.5.3 Potasio

Beneficia en el soporte de la planta frente a las enfermedades y eventos climáticos extremos como la sequía y las heladas participando en la fotosíntesis, en la síntesis de las proteínas y en la activación de las enzimas; mejorando también las características del fruto. El potasio disponible es el que se halla disuelto en la solución del suelo, y en los sitios de intercambio en la superficie de las partículas de arcilla (Rehm & Schmitt, 2002).

**Tabla 2.**Tabla de interpretación del análisis del fosforo y potasio en el suelo.

P (ppm)	K(ppm)	CALIFICACION
<7	<100	Bajo
7-14	100-200	Medio
>14	>200	Alto

**Fuente:** UNALM – LASPAF



## **2.2.6 Propiedades físico químicas del suelo**

La capacidad de los suelos para muchas de las funciones a las que los destina el hombre viene determinada en gran medida por sus características físicas; la rigidez y la resistencia a la carga, la facilidad de invasión de las raíces, la aireación, el drenaje y la facultad de retención de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes son aspectos en los que influye el estado físico del suelo, se dice que las personas interesadas en el uso de la tierra deben estar familiarizadas con las características físicas del suelo para comprender cómo y en qué medida afectan al desarrollo de las plantas, a la vez conocer cómo y en qué medida la actividad humana puede cambiarlas y lo crucial que es preservar las condiciones físicas óptimas del suelo (Rucks et al., 2004). Las principales características físicas del suelo son su textura, porosidad, estructura, consistencia y color. Por otro lado las particularidades químicas se relacionan con la calidad, disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas, entre ellas, cabe resaltar: el pH, la materia orgánica, la conductividad eléctrica y P, N y, K extractables (Calderón et al., 2018).

### **2.2.6.1 Textura**

El porcentaje de arena gruesa, arena media, arena fina, limo y arcilla que componen el suelo está representado por la textura. Cuando las proporciones de los componentes de un suelo permiten que sea una columna capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de una planta y su alimentación, se considera que dicho suelo tiene una buena textura (Rucks et al., 2004).

Las variedades texturales están simbolizadas en el triángulo textural, y la nomenclatura es la establecida por el USDA (SSDS, 1993), el orden de los términos muestra la fracción o las fracciones predominantes de los suelos. Los porcentajes de las tres partículas se establecen en laboratorio a través del estudio granulométrico, el cual

consiste en el desarrollo de segregación de las tres fracciones principales (Porta, 2003).

### 2.2.6.2 Capacidad de intercambio iónico

“La cantidad de iones que pueden adsorber los coloides del suelo depende de la cantidad de carga superficial que ellos tengan y la fuerza con que son retenidos depende de la densidad de carga del coloide” (Zhang & Zhao, 1997). “Los procesos de intercambio iónico se ven afectados, tanto por las propiedades del cambiador, como por las del ion”. La afinidad entre una superficie cargada y un ion es contrariamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la superficie adsorbente y el centro del ion y directamente proporcional a la carga del ion. Además, destacan el hecho de que los iones del suelo están hidratados y, en consecuencia, la cantidad de moléculas de agua en el entorno inmediato del ion podría afectar a la forma en que éste responde a la fuerza de adsorción impuesta por la superficie cargada (Jaramillo, 2002).

**Tabla 3.**Tabla de interpretación de C.I.C TOTAL (meq/100g).

C.I.C TOTAL meq/100g	NIVEL	OBSERVACION
<10	Bajo	Suelo pobre
10-15	Medio	Suelo medio
15-20	Medio alto	Suelo rico
>20	Alto	Suelo muy rico

**Fuente:** IGAC (1995) y Ortega (1987), Serrano y Vargas (2005).

### 2.2.6.3 Conductividad

La conductividad hidráulica del suelo es la característica que se evalúa para valorar este potencial. Por definición, es una cualidad que está directamente asociada al drenaje del suelo. Esta cualidad determina las probabilidades que tiene el agua de fluir adentro del suelo. La conductividad hidráulica del suelo puede disminuir en muchos órdenes de magnitud a medida que se pasa de la saturación a un umbral de marchitez

permanente y está muy correlacionada con el contenido de humedad del suelo (Hanks & Ashcroft, 1980). A medida que el suelo este completamente saturado, tiene la máxima conductividad hidráulica porque todos sus poros están llenos de agua y actúan como conductores. Además, cuando la conductividad aumenta, el tamaño de los poros también aumenta, y esta característica depende cada vez más de la estructura, la textura y la constitución mineralógica de las arcillas (Jaramillo, 2002).

**Tabla 4.** Clasificación de salinidad en función de la C.E. del suelo (USDA).

C.E (ds/m)	CALIFICACION
0 -2	No salino
2-4	Muy ligeramente salino
4-8	Ligeramente salino
8-16	Moderadamente salino
>16	fuertemente salino

**Fuente:** Adaptado de USDA, (Soil Quality indicator – Soil Electrical Conductivity)

#### 2.2.6.4 Potencia de hidrogeno (pH)

Es la característica que determina lo ácida o alcalina que es una sustancia o solución y afecta en gran medida a varias de sus características físicas, químicas y biológicas por ello, es uno de sus atributos más cruciales. En general, se considera que una sustancia es ácida cuando tiene la capacidad de producir protones al disociarse en hidronio ( $H_3O^+$ ). De forma similar a lo que ocurre con el agua como ácido, un material se considera base cuando acepta protones del ácido y se disocia en iones hidróxido ( $OH^-$ ). Para determinar el pH del suelo en una suspensión de suelo en agua o en soluciones salinas pueden utilizarse métodos colorimétricos o potenciométricos (Jaramillo, 2002).

“El pH es una medida de la concentración de hidrógeno expresado en términos logarítmicos. Los valores del pH se reducen a medida que la concentración de los iones de hidrógeno incrementa, variando entre un rango de 0 a 14. Los valores por debajo 7.0

son ácidos, valores superiores a 7.0 son alcalinos y/o básicos, mientras que los que se mantienen en 7.0 son denominados neutrales” (Ibáñez, 2007)

**Tabla 5.** Calificación del pH del suelo (USDA).

VALOR	CLASIFICACION
<3.5	Ultra acido
3.5-4.4	Extremadamente acido
4.5-5.0	Muy fuertemente acido
5.1-5.5	Fuertemente acido
5.6-6.0	Moderadamente acido
6.1-6.5	Ligeramente acido
6.6-7.3	Neutro
7.4-7.8	Ligeramente alcalino
7.9-8.4	Moderadamente alcalino
8.5-9.0	Fuertemente alcalino
>9.0	Muy fuertemente alcalino

**Fuente:** Jaramillo, 2002:352.

#### 2.2.6.5 Contenido de carbonatos

“La presencia de carbonatos en los suelos influye de manera notable sobre la asimilabilidad de determinados elementos como el fósforo, hierro, manganeso y boro” (Montañes & Heras, 1971). Son sustancias que reaccionan con los ácidos, liberando dióxido de carbono y provocando burbujas. Posibilitan identificar ciertas rocas sedimentarias, que pueden ser el origen de los suelos, así como los procesos de acumulación de sales y quizás el uso de agua de riego salina. Los carbonatos de calcio son los más frecuentes, mientras que los carbonatos de sodio o magnesio son los siguientes. Los carbonatos son frecuentes en muchos hábitats costeros, cuencas confinadas y regiones desérticas. Al restringir la respuesta a la fertilización, los carbonatos son un componente que, en algunos suelos, puede disminuir (reducir) el rendimiento de los cultivos e incluso impedir la aparición de algunas especies de importancia agrícola (Ibáñez, 2007).

**Tabla 6.** Clasificación de carbonato de calcio en los suelos.

<b>PORCENTAJE %</b>	<b>CLASIFICACION</b>
<1	No calcáreo
1-2	Ligeramente calcáreo
2-5	Moderadamente calcáreo
>5	Fuertemente calcáreo

**Fuente:** Calla, 2012.

#### **2.2.6.6 Contenido de materia orgánica**

Alrededor del 5% del nitrógeno total del suelo procede de la materia orgánica, pero también incluye otros minerales vitales para las plantas, como el fósforo, el magnesio, el calcio, el azufre y los micronutrientes. La humificación y la mineralización son las dos etapas distintas del desarrollo de la materia orgánica en el suelo. Tan pronto como la materia orgánica se entierra en el suelo, los microorganismos del suelo comienzan a trabajar en ella durante la fase relativamente rápida conocida como humificación (Julca et al., 2006).

Aunque la materia orgánica constituye entre el 95 y el 99 por ciento del peso seco de los seres vivos, rara vez se encuentra en los suelos y muy raramente alcanza el 2 por ciento (Mustin, 1987). “El nivel deseable de materia orgánica en los suelos arcillosos medios es del 2%, pudiendo descender a 1.65% en suelos pesados y llegar a un 2.5% en los arenosos” (Gros & Domínguez, 1992).

**Tabla 7.** Calificación de materia orgánica.

RANGO	CALIFICACION
<0.5	Muy pobre
0.5-1.0	Pobre
1.0-1.5	Moderadamente provisto
1.5-2.0	Normal
2.0-3.5	Bien provisto
3.5-5.0	Rico
>5.0	Muy rico

**Fuente:** Garay & Ochoa, 2010

### 2.2.6.7 Saturación de bases

En los suelos se encuentran los cationes ácidos (hidrógeno y aluminio) y los cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio). La porción de los cationes básicos que ocupan posiciones en los coloides del suelo alude al porcentaje de saturación de bases; cuando el pH del suelo indica 7, su saturación de bases llega a un 100 por ciento y representa que no se encuentran iones de hidrógeno en los coloides. La saturación de bases se vincula con el pH del suelo y se emplea únicamente para calcular la cantidad de limo requerida en un suelo ácido para neutralizarlo (FAO, 2023).

**Tabla 8.** Calificación por saturación por bases.

SB %	OBSERVACIONES
<50	Suelo muy ácido; presentará dificultades en la nutrición de los cultivos; se aconseja añadir una enmienda de caliza.
50-90	Suelo medio; su riqueza dependerá del valor de la C.I.C total.
>90	Suelo saturado en bases; sus sedes de intercambio están siendo utilizadas. Su pH es casi neutro o básico.

**Fuente:** Garrido, 1971

### 2.2.6.8 Contenido de metales pesados

Los metales pesados pueden introducirse en el suelo de forma natural, es decir, a partir de la roca madre, o de forma artificial, es decir, a través del uso de fertilizantes y,



más recientemente, a través de adiciones orgánicas producidas a partir de materiales orgánicos de nueva generación, especialmente los lodos de depuradora. Por sus efectos nocivos y duraderos, los metales pesados son los que se consideran contaminantes ambientales (García et al., 2002).

### **2.2.7 Propiedades microbiológicas del suelo**

La valoración de la calidad del suelo es una parte crucial del estudio de los suelos, y se ha descubierto que sus características microbiológicas son especialmente importantes porque afectan directamente a las diversas funciones del suelo. En consecuencia, la modificación de estas características puede tener un efecto significativo en las características físicas y químicas del suelo (Orozco et al., 2016).

### **2.2.8 Agua**

Es un recurso natural renovable, imprescindible para la vida, trascendental para el desarrollo sostenible y el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales. El agua es la sustancia que más predomina en la Tierra y es la única que se localiza en la atmósfera en estado líquido, sólido y gaseoso, se compone por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno ( $H_2O$ ). Las propiedades físicas y químicas del agua son muy importantes para la conservación de los ecosistemas (Valdivieso, 2022). La mayor provisión de agua está en los océanos, ya que contienen el 97% del agua que consta en la Tierra, tratándose de agua salada, que sólo admite la vida de la flora y fauna marina; el resto es agua dulce, pero no toda es aprovechable debido a que gran parte continúa siempre helada, formando los casquetes polares y los glaciales y las otras son aguas subterráneas.

Por lo que la agricultura afronta a retos complicados de aquí al 2050 para sostener a una población que alcanzará 9 000 millones de personas. Una certeza, no obstante, se necesitará más agua para producir el 60% de los alimentos adicionales que se calcula



serán necesarios (FAO, 2023). Por consiguiente la agricultura de regadío ejerce un papel clave en la elaboración de alimentos; trabajar con los gobiernos, gestores del agua, y pobladores para modernizar los sistemas de riego y que sean más fructíferos y menos perjudiciales para el medio ambiente. Para muchas personas del medio rural, el agua es con frecuencia el principal factor de elaboración que debe ser garantizado.

## **2.2.9 Propiedades fisicoquímicas del agua**

Se refieren a los compuestos, elementos, sustancias, indicadores y propiedades físicas, químicas y biológicas de utilidad para la determinación de la propiedad del agua.

### **2.2.9.1 Conductividad eléctrica (CE)**

Mide la resistencia eléctrica que existe en el agua principalmente para medir la asociación de sales solubles, es decir, mide la cantidad total de iones existentes en el agua; cuanto mayor sea la CE mayor es la salinidad del agua, cambiando en función a la temperatura; su unidad de medida es deciSiemens por metro ( $\text{dS.m}^{-1}$ ) o microSiemens por centímetro ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) (Roldán, 2003).

### **2.2.9.2 Potencial de hidrógeno (pH)**

Es una medida del grado de acidez, basicidad y alcalinidad del agua, calcula el balance de los iones de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) y los iones hidroxilo negativo ( $\text{OH}^-$ ) en el agua. El pH tiene un valor variable entre 0 a 14 que exterioriza la acidez, neutralidad o la alcalinidad; un pH elevado muestra una baja concentración de iones  $\text{H}^+$  y alta en iones  $\text{OH}^-$ , y desde luego una alcalinización del medio. Ahora bien, un pH bajo indica acidificación (Abarca, 2007).



### **2.2.9.3 Sólidos suspendidos**

Se refieren a la materia particulada, que pueden ser orgánicas o inorgánicas. Como partículas orgánicas se asumen las fibras de plantas, células de algas, bacterias y sólidos de origen biológico, no obstante, la arcilla y sales son elementos considerados como partículas inorgánicas (Huamaní, 2018), los efectos que causan es la poca estética (aparición del agua); también proveen superficies de adsorción para agentes químicos y biológicos, los cuales pueden degradarse ocasionando la aparición de productos secundarios nocivos; más aún aquellos elementos biológicamente activos pueden ser agentes tóxicos o los que ocasionen enfermedades, como las bacterias que transfieren la enfermedad del cólera (Campos, 2000).

### **2.2.9.4 Temperatura**

Forma parte de las variables más significativas en las formaciones de agua, sirve como indicativo de la permanencia ecológica del sistema. Aparte de ello, las variaciones de este parámetro provocan un cambio en el ambiente y en el desarrollo de la fauna y flora existente en los cuerpos de agua; más aún eleva el potencial tóxico de ciertas sustancias disueltas en el agua (Pérez & Restrepo, 2008).

### **2.2.9.5 Oxígeno disuelto(OD)**

Este parámetro nos da un indicativo de la contaminación del agua y también del soporte que está puede dar al crecimiento y reproducción animal y vegetal. Generalmente, cuando existen altos niveles de oxígeno en el agua indican una alta tasa fotosintética, especialmente de las plantas acuáticas. Los factores como: la alta intensidad lumínica, así como el aumento de la turbulencia del cuerpo de agua tienden a aumentar los niveles de oxígeno disuelto (Valencia, 2011).



### **2.2.9.6 Fosfato**

Es un indicativo de la proporción de detergentes sintéticos vertidos a una corriente, debido a que estos poseen entre 12 y 13% de fósforo en sus composiciones de fabricación. Además, este parámetro es fundamental en la contribución de los procesos de eutrofización de los cuerpos de agua (Sierra, 2011).

### **2.2.9.7 Nitrato**

Es un aspecto que indica la desintegración de la materia orgánica animal y/o vegetal, generando metahemoglobina (color azul de la piel) en los infantes alimentados con leche preparada, debido a que los nitratos se convierten a nitritos dentro del sistema digestivo de los niños (Pérez & Restrepo, 2008).

### **2.2.9.8 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Es la totalidad de oxígeno en mg/l necesaria que necesitan los microorganismos aerobios para poder desintegrar la materia orgánica que está presente en el agua. Normalmente la DBO<sub>5</sub>, se emplea para que se mida el oxígeno consumido por los microorganismos en cinco días (Domenech, 1998). Esta evaluación está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica, a la vez que expresa la cantidad de miligramos de oxígeno disuelto por cada litro de agua, que se usa conforme se consumen los desechos orgánicos por la operación de las bacterias en el agua (Pari, 2017). La demanda bioquímica de oxígeno también se expresa en partes por millón (ppm) de oxígeno y se evalúa midiendo el proceso de reducción del oxígeno disuelto en la muestra de agua conservando la temperatura a 20°C en un periodo de 5 días; una DBO<sub>5</sub> mayor indica que se requiere una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua (Martínez, 2006).



### **2.2.9.9 Demanda química de oxígeno (DQO)**

Establece la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica actual en una muestra de agua, bajo condiciones determinadas de un agente oxidante, temperatura y tiempo (Sierra, 2011). Se hace para medir el contenido de la materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. En muchos casos en aguas excedentes es posible establecer una relación entre DBO y DQO, el cual puede ser de gran utilidad puesto que, la primera necesita 5 días para ser concluyente frente a las tres horas que necesita la DQO para ser definitiva. Una vez establecida la correlación entre ambos parámetros, pueden recurrirse a las medidas de la DQO para el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento (Martínez, 2006).

### **2.2.10 Propiedades microbiológicas del agua**

#### **2.2.10.1 Coliformes totales**

Se recurrir a su análisis para identificar posibles cambios en la localidad biológica del agua (Letterman, 2002), los cuales revelan si el cuerpo de agua ha sido contaminado con materia orgánica, tanto animal como humana, viéndose precipitada la productividad primaria de los cuerpos loticos (Sierra, 2011).

#### **2.2.10.2 Coliformes termotolerantes o fecales**

Son un grupo de bacterias constituido por las familias de las enterobacterias que han sido utilizadas como indicadores idóneos para el agua potable (Valencia, 2011). Los Coliformes termotolerantes son llamados así porque llegan a soportar temperaturas de hasta 45 °C, conformando un grupo muy limitado de microorganismos los cuales son indicadores de calidad de un agua, ya que son de origen fecal. En su mayoría están representados por microorganismo de *E. Coli* pero se pueden encontrar, otros menos frecuentes como el *Citrobacter Freundii* y *Klebsiella Pneumoniae* estos últimos forman



parte de los Coliformes termotolerantes pero, su origen se relaciona normalmente con la vegetación y los que esporádicamente aparecen en el intestino (Hayes, 1993).

### **2.2.11 Contaminación del agua**

La contaminación del agua es la introducción de componentes físicos, químicos, biológicos o de otra naturaleza en un cuerpo de agua natural, de modo que altere los entornos para el uso que se le hubiera consignado en su estado natural, esta alteración en la calidad del agua, se traduce en la presencia de sustancias como los microbios, los metales pesados o los sedimentos, que conciben que su consumo tenga efectos dañinos sobre la salud y el medio especialmente si se usan para irrigaciones agrícolas. La contaminación incitada por las actividades mineras también pueden originar efectos negativos sobre la agricultura en un mismo espacio terrestre, ya que ambas actividades necesitan de los recursos de tierra y agua (Del Pozo & Paucarmayta, 2014).

La contaminación de productos agrícolas como verduras y hortalizas por acción de la irrigación con aguas residuales en su producción se debe en gran parte por la omisión de políticas públicas de los gobernantes, que tienen la obligación de velar que se utilicen solo aguas aptas para el riego, aparte de ello deben de dotar la infraestructura para el adecuado tratamiento y manejo de las aguas excedentes (Aguilar & Cubas, 2021).

### **2.2.12 Laguna de oxidación**

Son pequeñas excavaciones poco profundas en las que una población microbiana formada por bacterias, algas y protozoos coexiste armoniosamente y se deshace de forma natural de los patógenos asociados a la materia orgánica, los sólidos en suspensión y los excrementos humanos que causan enfermedades gastrointestinales como el cólera, las enfermedades parasitarias y la hepatitis asevera (Mogollón, 2009). Es un proceso sencillo y eficaz para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la red de saneamiento. “Es



una excavación de poca profundidad en la cual se desarrolla una población microbiana compuesta por bacterias, algas y protozoos que conviven en forma simbiótica y eliminan en forma natural los patógenos relacionados con la materia orgánica” (SIDE, 2020).

La utilización de las aguas excedentes una vez tratadas, constituye una alternativa viable para la agricultura ya que no solo favorecería a asegurar las cosechas en algunas zonas ante la incertidumbre climática, también se tendría un destino beneficioso para los efluentes evitando con ello la contaminación de las nacimientos de agua.

El utilizar el agua residual tratada puede ser una táctica para el riego de cultivos agrícolas y reducir el impacto del efecto climático, a la vez amenorar la desertificación principalmente en zonas áridas y semiáridas (García et al., 2020) no obstante, es una información necesaria sobre la generación, tratamiento y uso del agua residual (Sato et al., 2013) .

### **2.2.13 Características fisicoquímicas para medir en una laguna de oxidación**

Dado que el tamaño, la forma y el flujo distribuido de la laguna son los que más influyen en la duración de la retención hidráulica, se aconseja que la profundidad sea de 2.5 m en lugar de 1.5 m para satisfacer este requisito. De este modo se conseguirá la eliminación efectiva tanto de la DBO como de los Coliformes fecales. Además de contar con el mejor diseño posible, es fundamental realizar un mantenimiento regular de la laguna de oxidación para evitar problemas como la eutrofización, el estancamiento, la rotura de membranas y los vectores para conseguir resultados positivos en el tratamiento de las aguas residuales (Luna, 2018).

### **2.2.14 Impactos de una laguna de oxidación en suelos agrícolas**

El tratamiento de las aguas residuales es fundamental para la protección del medio ambiente y la salud pública ya que el vertido de aguas residuales no tratadas en una masa



de agua receptora es una fuente de contaminación que plantea una serie de amenazas para ambos. La gravedad de los problemas de contaminación de las aguas residuales viene determinada, por un lado, por el volumen de las aguas residuales vertidas, el tiempo de residencia, los tipos y las cargas de contaminantes y, por otro, por la capacidad de recuperación de la masa receptora, es decir, la capacidad de diluir y asimilar tanto los nutrientes alóctonos como los autóctonos en situación de su hidrodinámica y de la estratificación del sistema, que presenta a su vez una versatilidad regional, espacial y estacional (Cedeño, 2019).

## **2.3 MARCO CONCEPTUAL**

### **Calidad de suelos**

La capacidad del suelo para desempeñarse dentro de los límites de un entorno natural o manejado donde abundan los microorganismos, particularmente las bacterias hongos y levaduras, que constituyen gran parte de las comunidades complejas de gran diversidad biológica, así como la reciprocidad de la misma en la acumulación de los metales pesados de los suelos (Andrade et al., 2020).

### **Agricultura**

Es el escenario de la seguridad alimentaria, los ingresos de exportación y el progreso rural de casi todos los países en desarrollo, se proyecta que la agricultura sigue siendo la única fuente de ingresos de alrededor del 70 por ciento de la población rural que tiene menores ingresos a nivel mundial, de los cuales para la mayoría son sus medios de subsistencia ya que ellos dependen de la agricultura, directa o indirectamente (FAO, 2023).



## **Lagos**

Depósitos de agua más o menos considerables de agua dulce o salada cuya profundidad es mayor de 10 metros. Depósitos de agua, dulce, salobres o saladas, de tamaño y profundidad considerable (ANA, 2019).

## **Contaminación**

La contaminación es la presencia o agregación al ambiente de sustancias o elementos tóxicos que son nocivos para el hombre, flora y fauna que componen los ecosistemas. Existiendo diferentes tipos de contaminación que perturban a los recursos naturales básicos como: el aire, los suelos y el agua. Algunas de estas transformaciones medioambientales más peligrosas están vinculadas con la contaminación producida por los escapes radiactivos, el smog, el efecto invernadero, la lluvia ácida, la destrucción de la capa de ozono, la eutrofización de las aguas o las mareas negras (Bermúdez, 2010).

## **Microbiología**

“La Microbiología es la ciencia que estudia los microorganismos, bacterias, hongos, protistas y parásitos y otros agentes como virus, viroides y priones” (Ciencias biológicas, 2020) .

## **Microorganismos patógenos**

Se refieren a los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transfieren enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. Especialmente en los países en vías de desarrollo; las enfermedades derivadas por estos patógenos son una de las causas más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños. Habitualmente estos microorganismos llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que provocan las personas infectadas (Macias, 2019)



## **Aguas residuales**

Aquellas cuyas particularidades originales han sido transformadas por actividades antropogénicas y que por sus características de calidad demandan de un tratamiento previo. Excluyéndose a aquellas que por sus características de calidad no demandan de un tratamiento previo en función a los Límites Máximos Permisibles de la actividad, según lo instituido expresamente en el instrumento de gestión ambiental aprobado (ANA, 2019)

## **ECA agua**

Estándar de Calidad Ambiental (ECA) instauro el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, existentes en el aire, agua o suelo, en su estado de cuerpo receptor, que no representan peligro significativo para la salud de los individuos ni del ambiente (MINAM, 2017).

## **LMP**

Límite Máximo Permissible (LMP), se expresa como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que describen a un efluente o una emisión, que al ser excedida provoca o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (MINAM, 2010).

## **Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas manejadas para el riego de los cultivos vegetales, los cuales, requieren de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los probables procesos industriales o de transformación a los que puedan ser subordinados los productos agrícolas (MINAM, 2017); las cuales pueden ser : aguas para riego no restringido, utilizado para cultivos



alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares) y el agua para riego exclusivo aplicado en el riego de cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en lo que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); productos a ser transformados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa) (Winpenny et al., 2013)



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

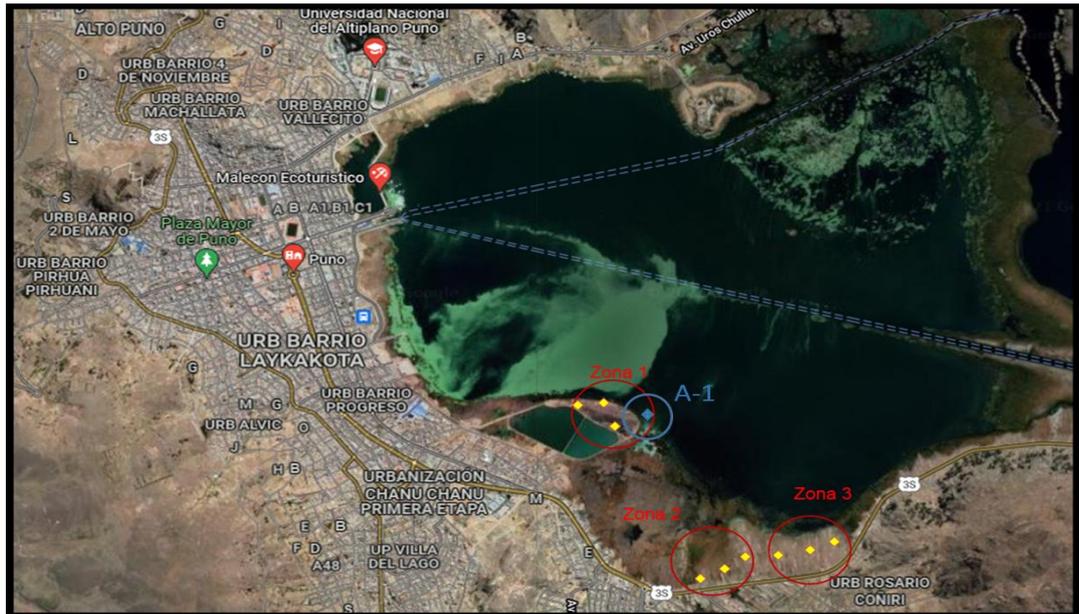
#### 3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO

El presente proyecto se ejecutó al sureste del Perú en una pequeña sección del departamento de Puno alrededor de la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior del lago Titicaca, entre la isla Espinar, sector Salcedo y el sector Aziruni ubicados frente a la localidad de Puno.

#### 3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población está compuesta por las áreas de suelos que se encuentran alrededor de la laguna de oxidación de la bahía interior del lago Titicaca en la ciudad de Puno, en las cuales se realizaron muestreos probabilísticos sistemáticos considerando la toma de tres muestras por cada zona de las áreas agrícolas circundantes adyacentes a la laguna de oxidación Espinar, sector Salcedo y sector Aziruni acompañado con su respectiva georreferenciación. Además, se realizó la toma de una muestra de agua colindante con la zona de estudio de los suelos adyacentes a la laguna de oxidación.

El número de muestras de suelos recolectadas fueron 9 entre los tres sectores y 1 muestra adicional de las aguas adyacentes a la laguna de oxidación contando con tres repeticiones por cada zona evaluada, teniendo así con un total de 27 muestras de suelos y 3 de aguas, mismas que se llevaron a cabo en los meses de enero, marzo y abril del año 2022. La distribución de los puntos de muestreo se detalla en la Figura 1.



**Figura 1.** Distribución de los puntos de muestreo en tres zonas en la bahía interior de Puno.

Las coordenadas geográficas de los puntos de evaluación se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 9.** Referencia de las tres zonas de muestreo para el estudio de suelos y la zona de muestreo de agua.

Zona de Muestreo	Muestras	E	N	Altitud	Referencia
<b>Agua</b>	Agua	0393127	8247128	3817	Isla Espinar
<b>Zona 1</b>	M1	0393127	8247128	3817	Sector isla Espinar
	M2	0393127	8241125	3817	
	M3	0393127	8247135	3817	
<b>Zona 2</b>	M1	0393632	8245886	3821	Sector Salcedo
	M2	0393636	8245981	3819	
	M3	0393715	8245856	3821	
<b>Zona 3</b>	M1	0394138	8246237	3822	Sector Aziruni
	M2	0394227	8246238	3820	
	M3	0394321	8246 209	3821	



### **3.3 DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.3.1 Tipo de investigación**

El tipo de investigación es analítico con la cual pretendemos llegar a la profundidad del problema ya que con un estudio descriptivo no sería factible, el proceso analítico en las investigaciones determina de una manera más precisa los indicadores con los que pretendemos analizar las propiedades fisicoquímicas del suelo para que sean datos precisos, veraces y que garanticen una confiabilidad certera. Además, se refiere a la proposición de hipótesis que el investigador trata de probar o invalidar (Ñaupas et al., 2014).

#### **3.3.2 Diseño de investigación**

La presente investigación es de diseño no experimental de corte longitudinal, puesto que no se manipulan las variables de estudio, así mismo el recojo de datos se realiza en tres tiempos y diferentes momentos.

### **3.4 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS SUELOS ADYACENTES A LA LAGUNA DE OXIDACION ESPINAR DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO.**

Siendo el primer objetivo específico el analizar las propiedades fisicoquímicas de los suelos adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno.

#### **Metodología de Campo:**

Se realizó la toma de tres muestras por tres zonas de áreas agrícolas circundantes, realizando una excavación de una profundidad de 30 cm indicados para suelos agrícolas utilizando la técnica de zigzag y cumpliendo los protocolos e indicadores de evaluación referente en la guía de muestreo de suelos dado por el Ministerio del ambiente (MINAM,



2014).

### **Metodología de Laboratorio**

El análisis de suelos es un instrumento de gran utilidad para diagnosticar problemas nutricionales y establecer recomendaciones de fertilización. Con el estudio de suelos se pretende determinar el grado de suficiencia o deficiencia de los nutrientes del suelo así como las condiciones desfavorables que pueden perjudicar a los cultivos tales como la acidez excesiva, la salinidad y la toxicidad de algunos elementos ; así también el análisis de suelo posibilita determinar el grado de fertilidad del suelo el cual es vital para que un suelo sea productivo no obstante un suelo fértil no necesariamente es productivo, debido a que existen otros factores de tipo físico como el mal drenaje, escasa profundidad, piedra superficial, déficit de humedad, etc (INIA,2016).

El análisis de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de suelo que se realizaron son: Textura, Capacidad de intercambio iónico, conductividad, pH, Contenido de Nitrógeno, fósforo y potasio, Carbonatos y Materia Orgánica.

Los análisis se realizaron en los laboratorios de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA) en la Facultad de Ciencias Agrarias y el análisis de los indicadores biológicos como: Coliformes totales y termotolerantes se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Biología en la Universidad Nacional del Altiplano Puno.

### **Diseño Estadístico**

Se utilizó el SPSS versión 27 para el análisis de cada parámetro fisicoquímico y microbiológico, considerando las tres zonas de muestreo como tratamientos, los meses de muestreo como bloques y las 9 repeticiones por zona teniendo un total de 27 unidades experimentales. Previamente se realizó la prueba de Levene para comprobar el supuesto



de homogeneidad de varianzas y la prueba de Shapiro-Wilk para el supuesto de normalidad, siendo transformados a la raíz cuadrada +1, los datos que no cumplieron los supuestos.

### **3.5 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN ESPINAR DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, ADYACENTES A LOS SUELOS EVALUADOS.**

Siendo el segundo objetivo específico: Analizar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas de la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, adyacentes a los suelos evaluados.

#### **Metodología de Campo:**

En el proceso de evaluación se recogió una muestra de agua por cada repetición en las áreas agrícolas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar Puno según lo protocolos de monitoreo de Agua.

#### **Metodología de laboratorio**

Para el análisis de los parámetros físicos in situ se hizo uso un multiparámetro portátil marca M&A Instruments, modelo: AZ86031, GPS marca Garmin y medidor de oxígeno disuelto YSI 550A-12: pH, T°, Conductividad eléctrica, Turbiedad.

Para el análisis químico se hizo la toma de las muestras a una profundidad acorde con el parámetro a determinar; se tomó la muestra enjuagando 3 veces el frasco antes de recoger la muestra, los cuáles fueron llevados y analizados en laboratorio para determinar la calidad de las aguas adyacentes de la laguna de oxidación Espinar en la bahía interior del lago (SST (sólidos suspendidos totales), DBO, OD (mg/L) (Oxígeno disuelto), P (L)



(fosforo total), NO<sub>3</sub>(c) (mg/L) (Nitratos).

Para el análisis microbiológico de Coliformes totales y Termotolerantes el recojo de la muestra se hizo en un frasco de vidrio estéril dejando 1/3 de espacio en el envase para la aireación siendo almacenado a una temperatura  $\leq 6^{\circ}\text{C}$  (ANA, 2016).

### **Diseño Estadístico**

Se utilizó pruebas de correlación de Pearson entre los factores fisicoquímicos y microbiológicos de los suelos agrícolas con los factores fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas adyacentes a la laguna de oxidación.

El coeficiente de correlación de Pearson es una prueba que calcula la relación estadística entre dos variables continuas. Si la asociación entre los elementos no es lineal, entonces el coeficiente no se encuentra representado apropiadamente.

El coeficiente de correlación puede tomar un rango de valores de +1 a -1. Un valor de 0 indica que no hay asociación entre las dos variables. Un valor mayor que 0 indica una asociación positiva. En otros términos, a medida que aumenta el valor de una variable, también lo hace el valor de la otra. Un valor menor que 0 indica una asociación negativa; en otras palabras, a medida que aumenta el valor de una variable, el valor de la otra disminuye.

La fórmula del coeficiente de correlación de Pearson es la siguiente:

$$r_{xy} = \frac{\sum z_x z_y}{N}$$



Donde:

“x” es igual a la variable número uno, “y” pertenece a la variable número dos,  
“zx” es la desviación estándar de la variable uno, “zy” es la desviación estándar de la  
variable dos y “N” es número de datos.

**Tabla 10.** Tabla de correlación r de Pearson

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0,9 a -0,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 a -0,89	Correlación negativa alta
-0,4 a -0,69	Correlación negativa moderada
-0,2 a -0,39	Correlación negativa baja
-0,01 a -0,19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0,01 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

**Fuente:** Martínez y Campos, 2015



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

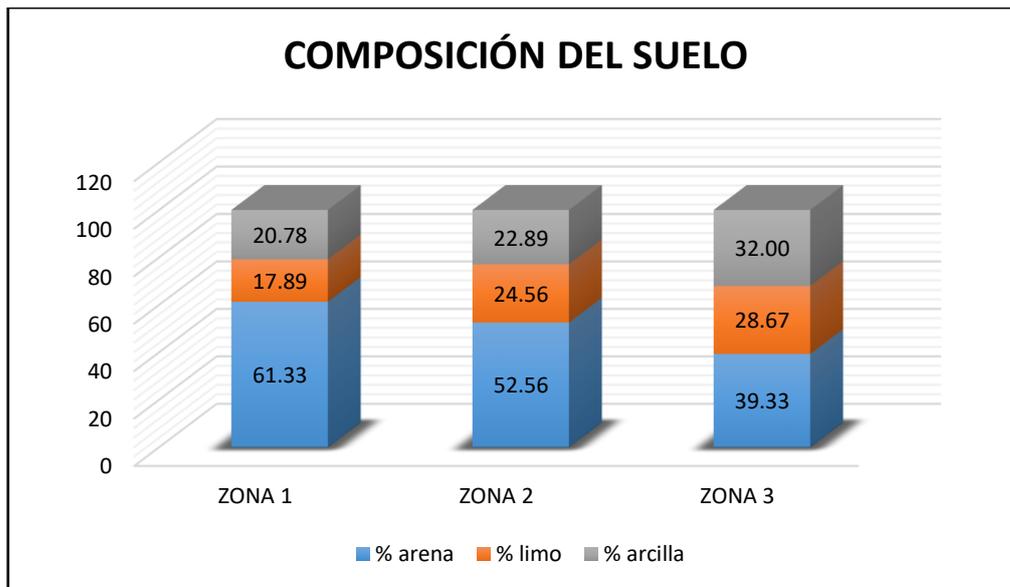
#### 4.1 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS SUELOS ADYACENTES A LA LAGUNA DE OXIDACIÓN ESPINAR DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO.

En la siguiente tabla se muestra el análisis de la composición mecánica de los suelos evaluados en la zona 1, 2 y 3 donde se encontró que la clase textural predominante es el franco arcillo arenoso.

El análisis de las propiedades fisicoquímicas de los suelos adyacentes a la Laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno se muestra en la figura 2 sobre la composición del suelo en el ámbito de las 3 zonas de estudio: la zona 1 compuesta por el 61.33% de arena, 17.89 % de limo y 20.78% de arcilla, cuya zona es la más cercana a la Laguna de oxidación Espinar con una altura de 3817 m sobre el nivel del mar, la zona 2 está compuesta por 52.56 % de arena, 24.56% de limo y 22.89 % de arcilla, cuya zona está ubicada en el sector Salcedo a la distancia intermedia de la Laguna de oxidación Espinar y a una altura de 3821 m sobre el nivel del mar y la zona 3 está compuesta por 39.33% de arena, 28.67% de limo y 32% de arcilla, cuya zona se encuentra en el sector de Aziruni a la referencia de chimú a una altura de 3822 m sobre el nivel del mar como, se detalla en la tabla 11.

**Tabla 11.** Análisis de caracterización de los suelos adyacentes a la laguna de oxidación  
Espinar de la bahía interior de Puno.

ANÁLISIS DE SUELOS					
N° ORD	CLAVE DE CAMPO	ANÁLISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %	
1	Z-1, M-1	64.0	14.0	22.0	Franco arenoso
2	Z-1, M-2	63.0	15.0	22.0	Franco arenoso
3	Z-1, M-3	50.0	25.0	25.0	Franco arcillo arenoso
4	Z-2, M-1	51.0	24.0	25.0	Franco arcillo arenoso
5	Z-2, M-2	52.0	26.0	22.0	Franco arcillo arenoso
6	Z-2, M-3	53.0	27.0	20.0	Franco arcillo arenoso
7	Z-3, M-1	36.0	35.0	29.0	Franco arcillo arenoso
8	Z-3, M-2	12.0	36.0	52.0	Franco arcillo limoso
9	Z-3, M-3	53.0	26.0	21.0	Franco arcillo arenoso
1	Z-1, M-1	62.0	26.0	22.0	Franco arenoso
2	Z-1, M-2	63.0	17.0	20.0	Franco arenoso
3	Z-1, M-3	64.0	15.0	21.0	Franco arenoso
4	Z-2, M-1	65.0	13.0	22.0	Franco arenoso
5	Z-2, M-2	53.0	25.0	22.0	Franco arcillo arenoso
6	Z-2, M-3	52.0	26.0	22.0	Franco arcillo arenoso
7	Z-3, M-1	65.0	17.0	18.0	Franco arenoso
8	Z-3, M-2	13.0	35.0	52.0	Franco arcillo limoso
9	Z-3, M-3	53.0	24.0	23.0	Franco arcillo arenoso
1	Z-1, M-1	66.0	18.0	16.0	Franco arenoso
2	Z-1, M-2	65.0	17.0	18.0	Franco arenoso
3	Z-1, M-3	55.0	24.0	21.0	Franco arcillo arenoso
4	Z-2, M-1	56.0	27.0	17.0	Franco arcillo arenoso
5	Z-2, M-2	58.0	22.0	20.0	Franco arcillo arenoso
6	Z-2, M-3	33.0	31.0	36.0	Franco arcilloso
7	Z-3, M-1	54.0	25.0	21.0	Franco arcillo arenoso
8	Z-3, M-2	57.0	26.0	17.0	Franco arcillo arenoso
9	Z-3, M-3	11.0	34.0	55.0	Franco arcillo limoso



**Figura 2.** Composición porcentual de las tres zonas de estudio del suelo adyacente a la laguna de oxidación Espinar Puno, 2022.

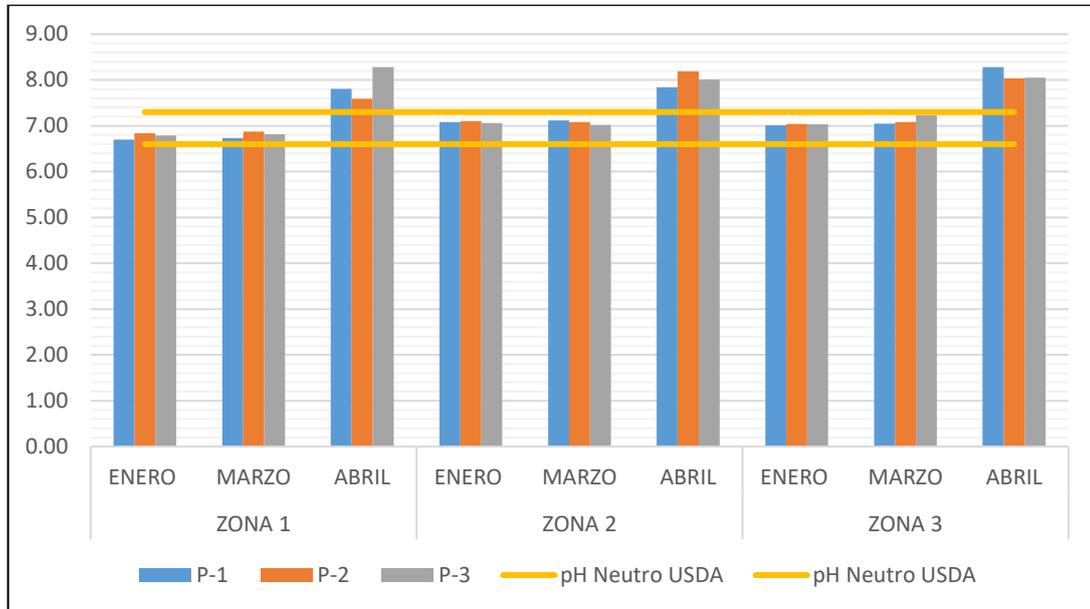
El análisis textural obtenidos en nuestra investigación encontró que los suelos agrícolas corresponden a la clase textural franco arcillo arenosa los cuales son similares a los encontrados por Garay & Ochoa (2010), en el estudio textural de suelos de la provincia de Jauja la cual es popular por sus bondades climáticas y su fertilidad agrícola en el ámbito del valle del río Mantaro donde se investigaron, en total, 241 muestras, de los cuales 89 obtuvieron los porcentajes más altos con tendencia a la clase textural de Franco arcillo-arenoso, correspondiendo estas a los distritos de: Acolla, El Mantaro, Huamali, Huaripampa, Muqui y San Lorenzo; 97 análisis presentan una textura de Franco arenoso en los distritos de Apata, Atura, Huancaní, Masma, Paca, Sincos y Yauli y las otras 55 restantes, indistintamente, se aproximan a las otras clases texturales.

**Tabla 12.** Promedios del análisis de datos del pH y CE de los suelos adyacentes a la laguna de oxidación Espinar Puno, 2022.

	<b>N</b>	<b>pH</b>	<b>C E <math>\mu</math>S/cm</b>
<b>Zona 1</b>	<b>Enero</b>	6.78	0.21
	<b>Marzo</b>	6.81	0.25
	<b>Abril</b>	7.89	0.95
	<b>Promedio</b>	7.16	0.47
<b>Desviación Estándar</b>		0.6324	0.4162
<b>Zona 2</b>	<b>Enero</b>	7.08	1.38
	<b>Marzo</b>	7.07	1.44
	<b>Abril</b>	8.01	1.13
	<b>Promedio</b>	7.39	1.32
<b>Desviación Estándar</b>		0.5398	0.1644
<b>Zona 3</b>	<b>Enero</b>	7.03	2.84
	<b>Marzo</b>	7.12	2.85
	<b>Abril</b>	8.12	1.25
	<b>Promedio</b>	7.42	2.31
<b>Desviación Estándar</b>		0.6050	0.9209

Los valores de pH del suelo resultaron del promedio de los tres puntos por cada zona de muestreo (tabla 12) los cuales son acompañados de su desviación estándar, cuya elevada dispersión refleja que los tratamientos entre meses y zonas son significativos, lo que se corrobora con el ANVA ( $p < 0.05$ ) siendo diferentes estadísticamente entre puntos de muestreo (ver anexo 1). Así, el pH en las zonas de muestreo 2 y 3 alcanzaron valores de 7.39 y 7.42 respectivamente, siendo significativamente menor en la zona 1 con 7.16, de acuerdo a la prueba de Tukey del Anexo 1 ( $p < 0.05$ ). Sin embargo, estos valores en los suelos de todas las zonas, no resultan en valores extremos, ya que los suelos agrícolas normalmente se consideran óptimos si contiene valores de pH entre 6.0 - 7.5 (Romero, Santamaría & Zafra, 2009), adicionalmente se debe tomar en cuenta los niveles óptimos de pH según el tipo de cultivo que se vaya a realizar, como es el caso de los suelos agrícolas de la sierra. Por otro lado, según los meses de evaluación, enero y marzo

presentaron valores de 6.96 y 7.00 en pH, siendo ambos similares estadísticamente y el mes de abril muestra un pH significativamente superior con un valor de 8.01, evidenciando cierta alcalinización de los suelos en este mes, pudiendo verse afectado en este parámetro.



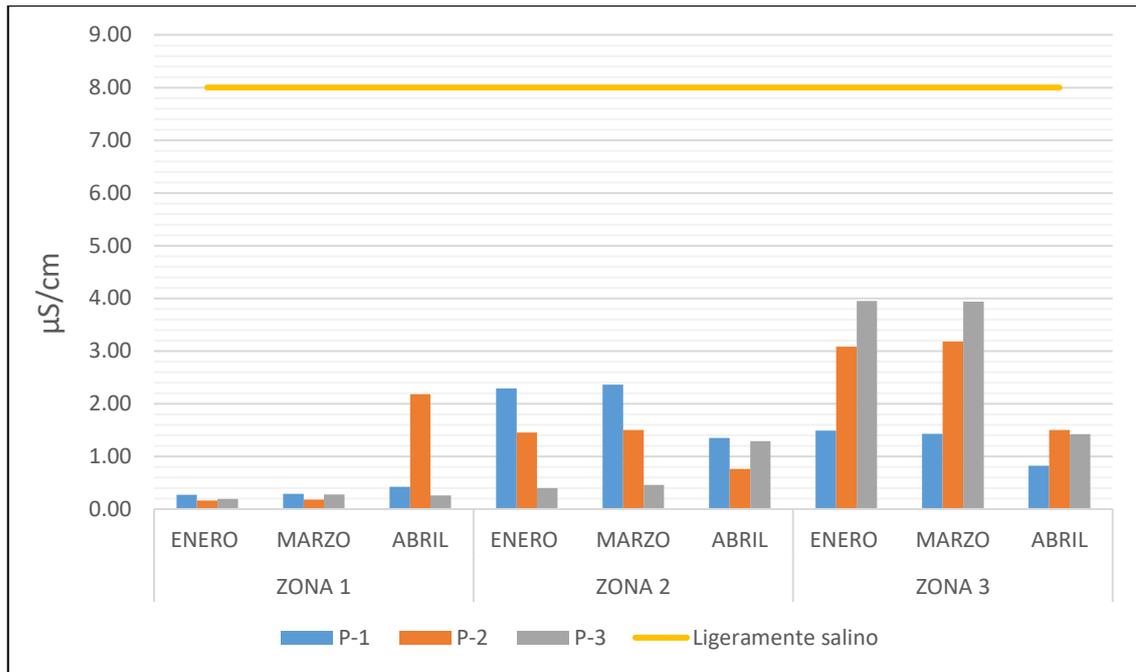
**Figura 3.** Niveles de pH de las tres zonas de suelos, adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno ,2022 (USDA 1999, Jaramillo 2002).

En la figura 3 se muestra los niveles de pH de los suelos adyacentes a la Laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, la zona 1 muestra que el mes de enero obtuvo el valor más bajo con 6.70 en el p-1 y el más alto con 8.28 en el p-3 del mes de abril, en la zona 2, el mes de marzo obtuvo el valor más bajo con 7.02 en el p-3 y el más alto con 8.19 en el p-2 para la mes de abril, en la zona 3, el mes de enero obtuvo el valor más bajo con 7.01 en el p-1 y el más alto con 8.28 en el p-1 para el mes de abril encontrándose estos valores entre neutros y moderadamente alcalinos (6.70 a 8.28) los cuales coinciden con Leal et al., (2022) quienes encontraron que, en los suelos de las parcelas bajo estudio irrigados con aguas residuales acuícolas, dentro de sus propiedades químicas, los suelos presentaron un pH neutro con valores de entre 6.76 a 6.92, a su vez



Sarabia et al., (2011) observaron que el 95 % de los suelos analizados irrigados con agua de muy baja calidad tienen un nivel tendiente a la alcalinidad, no estando claro el origen de la misma, debido a que el pH del agua oscila entre 6.5-7.5 dicho de otra manera, esta puede estar relacionado a la composición mineral primaria del suelo, ya que la importancia de este valor radica en que por encima del pH 7, la mayoría de los macro y micronutrientes son menores, lo que representaría una disminución en el rendimiento de la producción agrícola.

De acuerdo a los valores obtenidos de la C.E en la tabla 12 se puede observar que los valores tienden a variar de acuerdo al tiempo, asimismo cabe resaltar que el comportamiento de los resultados de la C.E del suelo entre zonas reflejan que los tratamientos son significativas lo que se corrobora con el ANVA ( $p < 0.05$ ) que indica que las zonas tienen diferentes niveles de C.E siendo diferentes estadísticamente (ver anexo 2), de esta manera la C.E en la zona de muestreo 3 presenta mayor nivel de C.E con un valor de 2.3 respecto a los puntos de muestreo 1 y 2 los cuales alcanzaron valores de 0.5 y 1.3 respectivamente de acuerdo a la prueba de Tukey del Anexo 2 ( $p < 0.05$ ). Sin embargo, los tratamientos entre meses fueron no significativos lo que se corrobora con el ANVA ( $p > 0.05$ ) lo que indica que los niveles de C.E en cada mes son iguales estadísticamente durante los tres meses ya que se mantienen de manera constante de acuerdo a la prueba de Tukey del Anexo 2 ( $p > 0.05$ ) donde los valores obtenidos se encuentran entre 1.1 y 1.5 respectivamente.



**Figura 4.** Valores de la conductividad eléctrica CE  $\mu\text{S}/\text{cm}$  encontrada en suelos de las tres zonas evaluadas, adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, 2022.

En la figura 4 se muestra los niveles de C.E de los suelos adyacentes a la Laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, donde la zona 1 muestra que el mes de enero se obtuvo el valor más bajo con  $0.16 \mu\text{S}/\text{cm}$  en el p-2 y el más alto con  $2.18 \mu\text{S}/\text{cm}$  en el p-2 del mes de abril, así también en la zona 2, el mes de enero obtuvo el valor más bajo con  $0.40 \mu\text{S}/\text{cm}$  en el p-3 y el más alto con  $2.36 \mu\text{S}/\text{cm}$  en el p-1 para el mes de marzo, en la zona 3, el mes de abril obtuvo el valor más bajo con  $0.82 \mu\text{S}/\text{cm}$  en el p-1 y el más alto con  $3.95 \mu\text{S}/\text{cm}$  en el p-3 para el mes de enero clasificándose como suelos no salinos. Tomando en cuenta la precipitación que tiene la ciudad de Puno puede que se altere la conductividad eléctrica, misma que se evidencia en el mes de marzo donde los valores permanecen casi intactas en relación al mes de enero, sin embargo en el mes de abril todos los valores disminuyen con una desviación estándar mínima tabla 12, en la cual la zona 1 incrementa a 0.95 y en la zona 3 disminuye considerablemente desde el

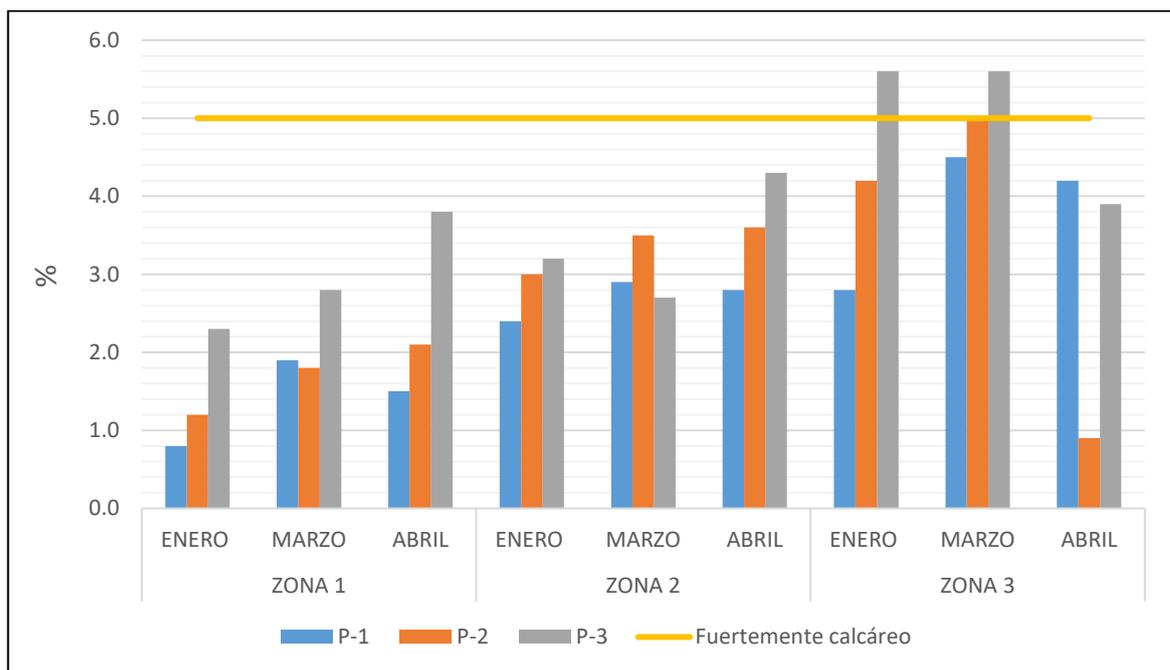
valor de 2.85 registrada en el mes de marzo, hasta 1.25 registrada en el mes de abril, lo cual demuestra que la precipitación afectó significativamente la conductividad eléctrica de acuerdo a la humedad que tiene el suelo, los valores encontrados son menores a los que reportan Leal et al. (2022) con valores de entre 40, 70 y 620  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y Sarabia et al. (2011) quienes encontraron que los suelos analizados no son salinos por más que el agua de riego representa un alto contenido de sales es decir más de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y debido a que los suelos son en su mayoría migajón arenosos teniendo así un buen drenaje interno por lo que la concentración de sales en los suelos analizados no representan un riesgo para que los cultivos se vean condicionados por el exceso de sales.

**Tabla 13.** Promedios obtenidos del contenido de carbonatos, Materia orgánica y Nitrógeno total de los suelos adyacentes a la laguna de oxidación Espinar Puno, 2022.

	N	Carbonatos $\text{CO}_3\%$	Materia orgánica MO	Nitrógeno total
<b>Zona 1</b>	<b>Enero</b>	1.43	3.13	0.16
	<b>Marzo</b>	2.17	3.27	0.16
	<b>Abril</b>	2.47	4.13	0.21
	<b>Promedio</b>	2.02	3.51	0.18
<b>Desviación Estándar</b>		0.5353	0.5415	0.0289
<b>Zona 2</b>	<b>Enero</b>	2.87	3.87	0.19
	<b>Marzo</b>	3.03	3.93	0.2
	<b>Abril</b>	3.57	3.27	0.16
	<b>Promedio</b>	3.16	3.69	0.18
<b>Desviación Estándar</b>		0.3668	0.3650	0.0208
<b>Zona 3</b>	<b>Enero</b>	4.2	6	0.3
	<b>Marzo</b>	5.03	5.47	0.27
	<b>Abril</b>	3	4.13	0.21
	<b>Promedio</b>	4.08	5.2	0.26
<b>Desviación Estándar</b>		1.0206	0.9638	0.0458

Los valores de Carbonatos del suelo resultaron del promedio de los tres puntos por cada zona de muestreo (tabla 13) los cuales son acompañados de su desviación

estándar, asimismo cabe resaltar que el comportamiento de los resultados entre zonas reflejan que los tratamientos son significativas lo que se corrobora con el ANVA ( $p < 0.05$ ) indicando que las zonas estadísticamente tienen diferentes niveles de Carbonatos en el suelo (ver anexo 3), siendo que la zona 3 presenta mayor nivel de carbonatos en el suelo con un valor de 4.1 % respecto a la zona 1 con un valor de 2.0% y la zona 2 con un valor de 3.2 % de acuerdo a la prueba de Tukey del Anexo 3 ( $p < 0.05$ ), sin embargo los tratamientos entre meses no son significativos lo que se corrobora con el ANVA ( $p > 0.05$ ) que indica que el nivel de Carbonatos en los tres diferentes meses son iguales estadísticamente debido a que se mantienen de manera constante de acuerdo a la prueba de Tukey del Anexo 3 ( $p > 0.05$ ) donde los valores encontrados son de 2.8, 3.0 y 3.4 respectivamente.



**Figura 5.** Niveles de contenido de Carbonatos de los suelos adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, 2022.

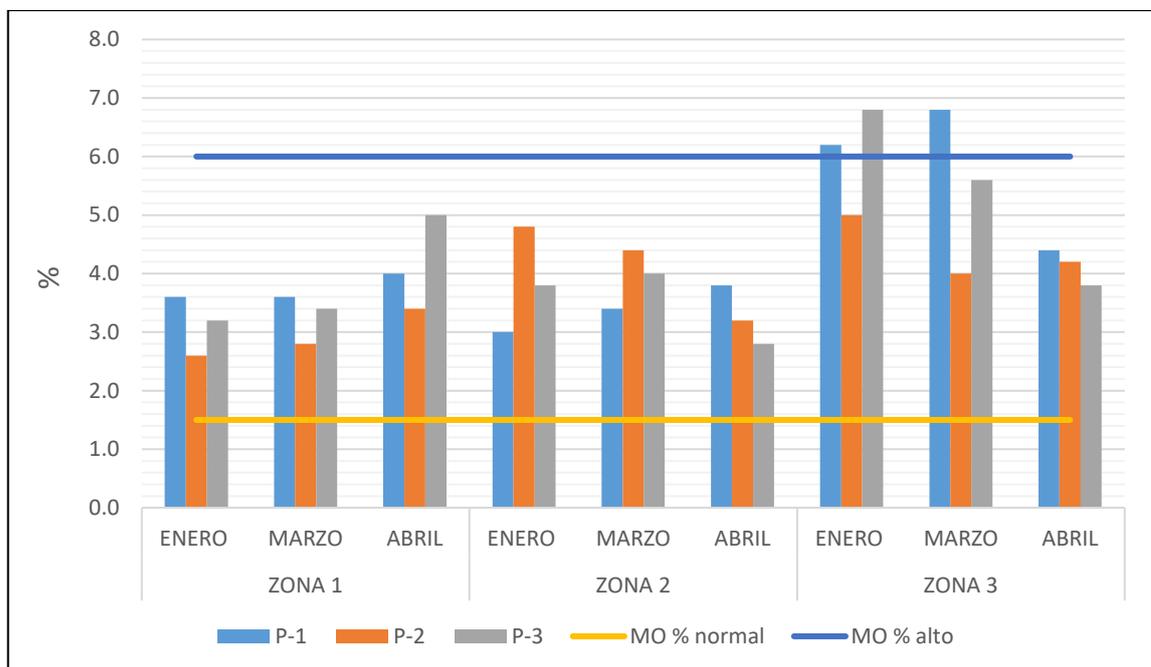
En la figura 5 se muestra el contenido de carbonatos que tienen los suelos adyacentes de la Laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de la ciudad de Puno,



donde, la zona 1 muestra que en el mes de enero registra valores mínimos de 0.8 % en el p-1 y el valor máximo de 3.80 % en el p-3 del mes de abril, para la zona 2 se registran valores mínimos de 2.4 % en el p-1 del mes de enero y el valor máximo de 4.30 % en el p-3 del mes de abril y para la zona 3, el mes de abril registra valores mínimos de 0.90 % en el p-2 y un valor máximo de 5.60 % en el p-3 del mes de marzo y enero, siendo en menor valor encontrado 0.8% y el mayor valor encontrado 5.6%, clasificándose así los valores de las concentraciones encontradas, para la zona 1 no calcáreos y moderadamente calcáreos, para la zona 2 moderadamente calcáreo y para la zona 3 moderadamente calcáreo y fuertemente calcáreo los cuales coinciden con los resultados obtenidos por Huamaní (2018) quien encontró que los suelos irrigados con agua de río que contenía aguas servidas tenían valores que oscilaban de entre 2.20 a 3.26 por ciento cuyas concentraciones muestran que los suelos son moderadamente calcáreos ya que contienen valores entre 2 a 5 por ciento, expresando que los suelos regados con aguas residuales del canal están almacenando carbonatos en su estructura y pueden ostentar un problema de salinidad si estas concentraciones se acrecentarán con el tiempo, a la vez la falta de carbonatos en el suelo hace que este sea ácido, y al mismo tiempo, la aparición de carbonatos en el suelo perturba significativamente al desarrollo de las plantas, debido a que cuando está en altos niveles fija al P fundamentalmente, limitando su absorción; no obstante, cuando hay escasez favorece la adsorción de muchos elementos menores debido al pH bajo de los suelos.

Los niveles de M.O del suelo resultaron del promedio de los tres puntos por cada zona de muestreo (tabla 13) acompañados de la desviación estándar, asimismo cabe resaltar que el comportamiento de los tratamientos entre zonas son significativas lo que se corrobora con el ANVA ( $p < 0.05$ ) (ver anexo 4) indicando que las zonas estadísticamente tienen diferentes niveles de M.O en el suelo, siendo la zona 3 la que

presenta mayor porcentaje de M.O con 5.2 % respecto a la zona 1 y 2 los cuales contienen 3.5 y 3.7 % respectivamente de acuerdo a la prueba de Tukey del anexo 4 ( $p < 0.05$ ), sin embargo los tratamientos entre los 3 meses no son significativos lo que se corrobora con el ANVA ( $p > 0.05$ ) que indica que tienen el mismo nivel de M.O siendo iguales estadísticamente ya que los valores se mantienen de manera constante de acuerdo a la prueba de Tukey del Anexo 4 ( $p > 0.05$ ) donde los valores encontrados fueron de 4.3, 4.2 y 3.8 respectivamente.



**Figura 6.** Contenido de materia orgánica (M.O) en suelos de las tres zonas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno ,2022.

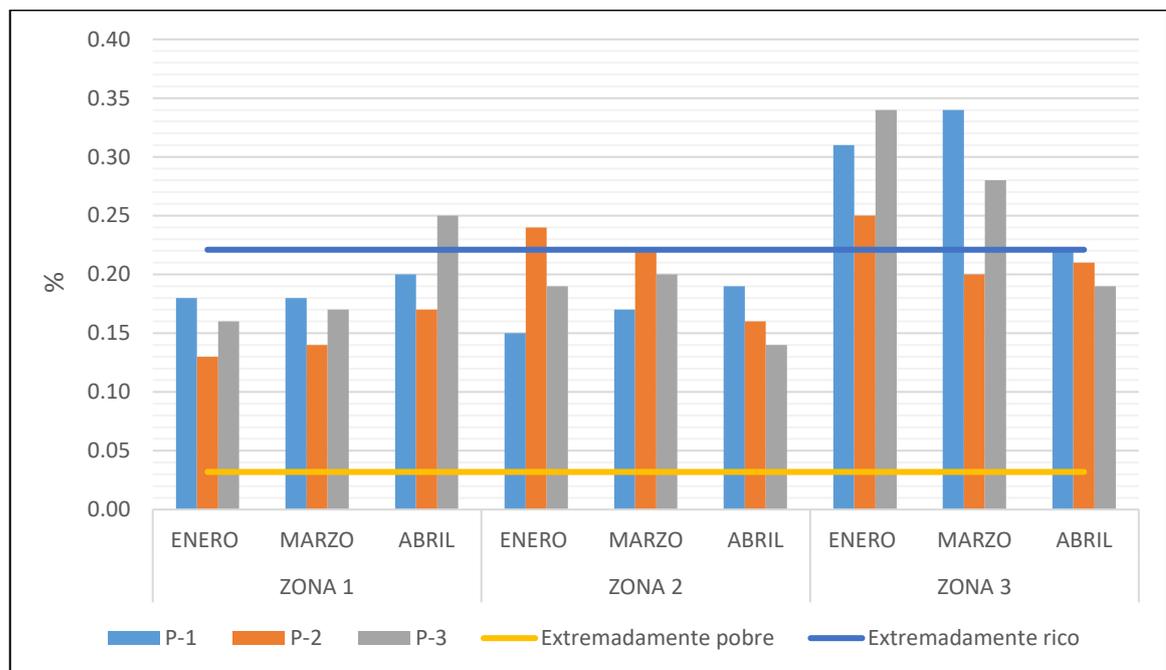
En la figura 6 se muestra valores de M.O que tienen los suelos adyacentes de la Laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de la ciudad de Puno, donde se encontró que en la zona 1 se registra valores mínimos de 2.60 % en el p-2 para el mes de enero y un valor máximo de 5 % en el p-3 del mes de abril, la zona 2 , registra valores mínimos de 2.80 % en el p-3 del mes de abril y un valor máximo de 4.80 % en el p-2 del mes de enero, la zona 3, registra valores mínimos de 3.80 % en el p-3 del mes de abril y un valor



máximo de 6.80 % en el p-1 del mes de marzo, por lo que la clasificación de los suelos para la zona 1 y 2 según el porcentaje encontrado indica que estos son suelos que se encuentran entre bien provistos y ricos en M.O debido a que los valores hallados se encuentran entre 2.6 a 5.0 %, para la zona 3 sus valores indican que estos son suelos que se encuentran entre ricos y muy ricos en M.O ya que los valores encontrados se encuentran entre 3.8 y 6.8 %, estos resultados coinciden con los hallados por Garay & Ochoa (2010) quienes de 238 muestras de suelos analizadas, encontraron que los porcentajes más altos encontrados pertenecen a los distritos de Apata, Huamali, Huaripampa, Paca, Pancán, San Lorenzo, Sincos y Yauli que en conjunto integraron 128 muestras las cuales reflejan que los suelos están bien provistas con materia orgánica, por más que las 34 muestras restantes tienden a tener un contenido normal de M.O donde resaltan las muestras analizadas en el distrito de Masma que se aproxima a ser muy rico en materia orgánica, a su vez Sarabia et al., (2011) quienes en su análisis de suelos que han sido regados con aguas de muy escasa calidad provenientes del acuífero somero cuya salida en algunos casos son aguas procedentes de descargas industriales, encontró que de los niveles de materia orgánica analizada, el 95 % de los suelos están dentro del rango normal de materia orgánica MO destacando que la MO contribuye a que se exterioricen condiciones favorables de humificación en los suelos y que optimice la condición del medio de crecimiento de los cultivos.

Acorde a los valores obtenidos del N.T, en la tabla 13 se puede observar el resultado del promedio de cada zona en los tres puntos de muestreo acompañados de la desviación estándar donde los valores tienden a variar de acuerdo al tiempo, asimismo cabe resaltar que en el comportamiento de los resultados del nitrógeno total de los suelos adyacentes a la Laguna Espinar de la bahía interior de Puno, se encontró que los tratamientos entre zonas son significativas lo que se corrobora con el ANVA ( $p < 0.05$ )

(ver anexo 5) indicando que las zonas estadísticamente tienen diferentes niveles de N.T en el suelo, siendo la zona 3 la que presenta mayor nivel de N.T con 0.26 % respecto a la zona 1 y 2 con 0.18 % respectivamente de acuerdo a la prueba de Tukey del anexo 5 ( $p < 0.05$ ), sin embargo los tratamientos entre los meses no son significativos lo que se corrobora con el ANVA ( $p > 0.05$ ) que indica que tienen el mismo nivel de N.T siendo iguales estadísticamente ya que los valores se mantienen de manera constante de acuerdo a la prueba de Tukey del Anexo 5 ( $p > 0.05$ ) donde los valores encontrados para los meses de enero, marzo y abril fueron de 0.22 %, 0.21 % y 0.19 % respectivamente.



**Figura 7.** Nitrógeno total en suelos de las tres zonas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, 2022.

En la figura 7 se muestra la variación de los valores del N.T cuyos valores registrados muestran que para la zona 1 el mes de enero contiene el valor más mínimo con 0.13 % en el p-2 y el valor máximo de 0.25 % en el p-3 del mes de abril, para la zona 2 se registra un valor mínimo de 0.14 % en el p-3 del mes de abril y un valor máximo



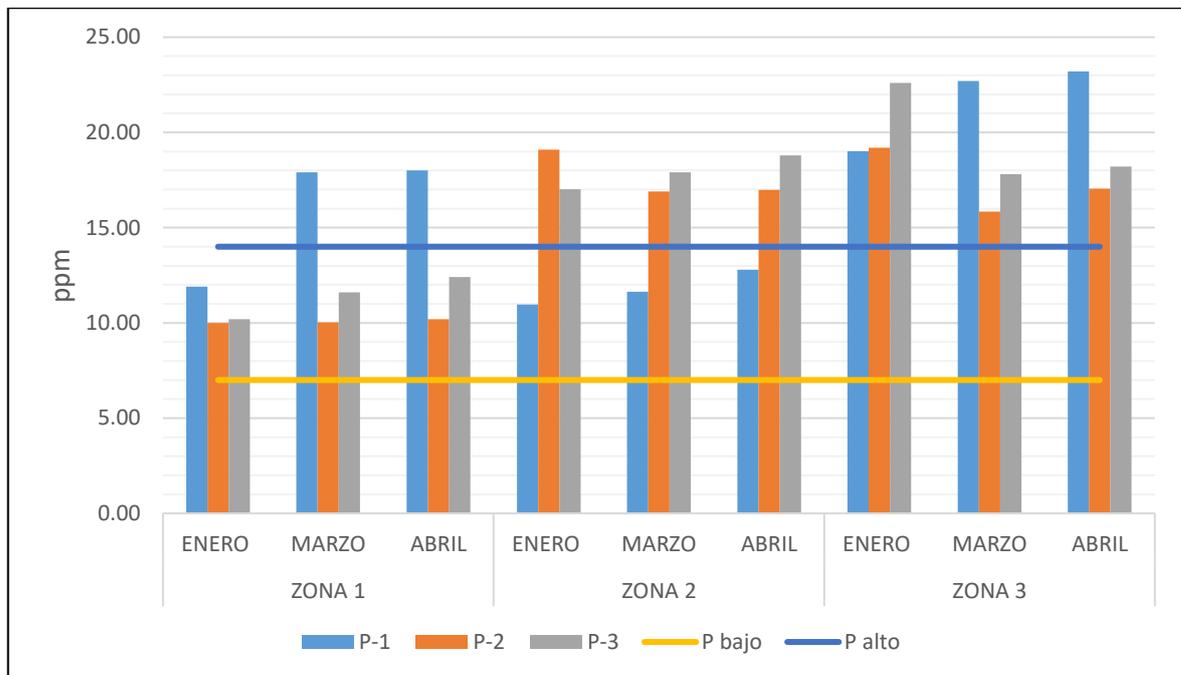
de 0.24 % en el p-2 mes de enero, la zona 3, registra un valor mínimo de 0.19 % en el p-3 del mes de abril y un valor máximo de 0.34 % en el p-1 del mes de marzo y p-3 del mes de enero, por lo que la clasificación de los suelos para la zona 1 y 2 según el porcentaje encontrado indica que estos se encuentran entre medianamente ricos a extremadamente ricos, para la zona 3 según los porcentajes de los valores encontrados nos indican que estos suelos se encuentran entre ricos a extremadamente ricos, estos resultados son superiores a los hallados por (Leal Mendoza et al., 2022) quienes durante el análisis multivariado de suelos irrigados con aguas residuales de la acuicultura encontraron valores de entre 0.06 %, 0.11 % y 0.14 % mencionando que estos datos varían acorde a lo que aporta el agua residual en la producción agrícola y (Zamora et al., 2008) quienes destacan que desde el punto de vista agrícola los incrementos de carbono orgánico, fósforo y nitrógeno pueden mejorar la fertilidad del suelo.

**Tabla 14.** Promedios del contenido de fósforo, Potasio, Cationes intercambiables y saturación de base de las tres zonas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, 2022.

	<b>N</b>	<b>P ppm</b>	<b>K ppm</b>	<b>CIC me/100g</b>	<b>SB %</b>
<b>Zona 1</b>	<b>Enero</b>	10.70	406.67	10.62	94.22
	<b>Marzo</b>	13.17	410	10.53	91.98
	<b>Abril</b>	13.54	433.33	10.69	94.24
<b>Promedio</b>		12.47	416.67	10.61	93.48
<b>Desviación Estándar</b>		1.5440	14.5266	0.0802	1.2991
<b>Zona 2</b>	<b>Enero</b>	15.693	451.667	11.3533	88.1467
	<b>Marzo</b>	15.48	455.67	10.56	85.79
	<b>Abril</b>	16.19	469.33	10.69	93.15
<b>Promedio</b>		15.79	458.89	10.87	89.03
<b>Desviación Estándar</b>		0.3643	9.2610	0.4255	3.7585
<b>Zona 3</b>	<b>Enero</b>	20.27	526.67	12.16	81.91
	<b>Marzo</b>	18.78	500.67	10.95	81.06
	<b>Abril</b>	19.48	538.33	11.10	89.27
<b>Promedio</b>		19.51	521.89	11.40	84.08
<b>Desviación Estándar</b>		0.7455	19.2797	0.6596	4.5147

Los niveles de fósforo disponible del suelo resultaron del promedio de los tres puntos por cada zona de muestreo (tabla 14) acompañados de la desviación estándar de cada uno de ellos, asimismo se muestra los resultados del fósforo disponible en los suelos adyacentes a la Laguna Espinar de la bahía interior de Puno, donde el comportamiento de los tratamientos entre zonas son significativas lo que se corrobora con el ANVA ( $p < 0.05$ ) (ver anexo 6) indicando que las zonas estadísticamente tienen diferentes niveles de fósforo en el suelo, siendo la zona 3 la que presenta mayor nivel de fósforo con 19.5 respecto a la zona 1 con 12.5 y la zona 2 con 15.8 respectivamente de acuerdo a la prueba de Tukey del anexo 6 ( $p < 0.05$ ), por otro lado los tratamientos entre los meses no son significativos lo que se corrobora con el ANVA ( $p > 0.05$ ) que indica que tienen los

mismos niveles de fosforo siendo iguales estadísticamente ya que los valores se mantienen de manera constante de acuerdo a la prueba de Tukey del Anexo 6 ( $p>0.05$ ) donde los valores encontrados para los meses de enero, marzo y abril fueron de 15.6, 15.8 y 16.4 respectivamente.



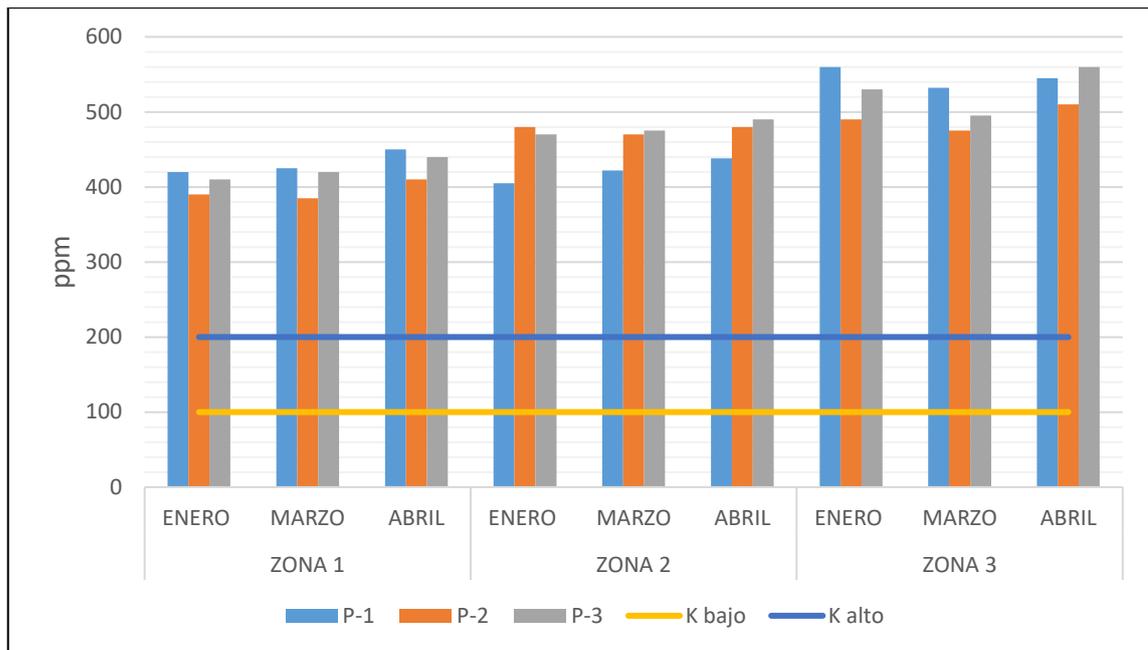
**Figura 8.** Contenido de Fosforo P (ppm) en suelos de las tres zonas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno ,2022.

En la figura 8 se muestra el comportamiento del contenido de fósforo disponible en los suelos adyacentes de la Laguna de Espinar de la bahía interior de la ciudad de Puno donde para para la zona 1 el mes de enero obtuvo como valor mínimo 9.99 ppm en el p-2 y como valor máximo 10.02 ppm en el p-2 del mes de marzo, para la zona 2, el mes de enero obtuvo un valor mínimo de 10.96 ppm en el p-1 y un valor máximo de 19.10 ppm en el p-2, para la zona 3, el mes de marzo obtuvo un valor mínimo de 15.85 ppm en el p-2 y registra un valor máximo de 23.20 en el p-1 para el mes de abril, clasificándose así la zona 1 y la zona 2 como suelos con medianos a altos niveles de P y la zona 3 como suelos con altos niveles de P, coincidiendo así con Leal et al., (2022) quienes obtuvieron



valores de entre 9.31 ppm a 43.45 ppm los cuales califican como suelos con mediana y altos niveles de P además menciono que para el caso del P el incremento significativo en los suelos de El Llano y San Miguel, fue un posible efecto del riego constante con las aguas residuales de la actividad acuícola.

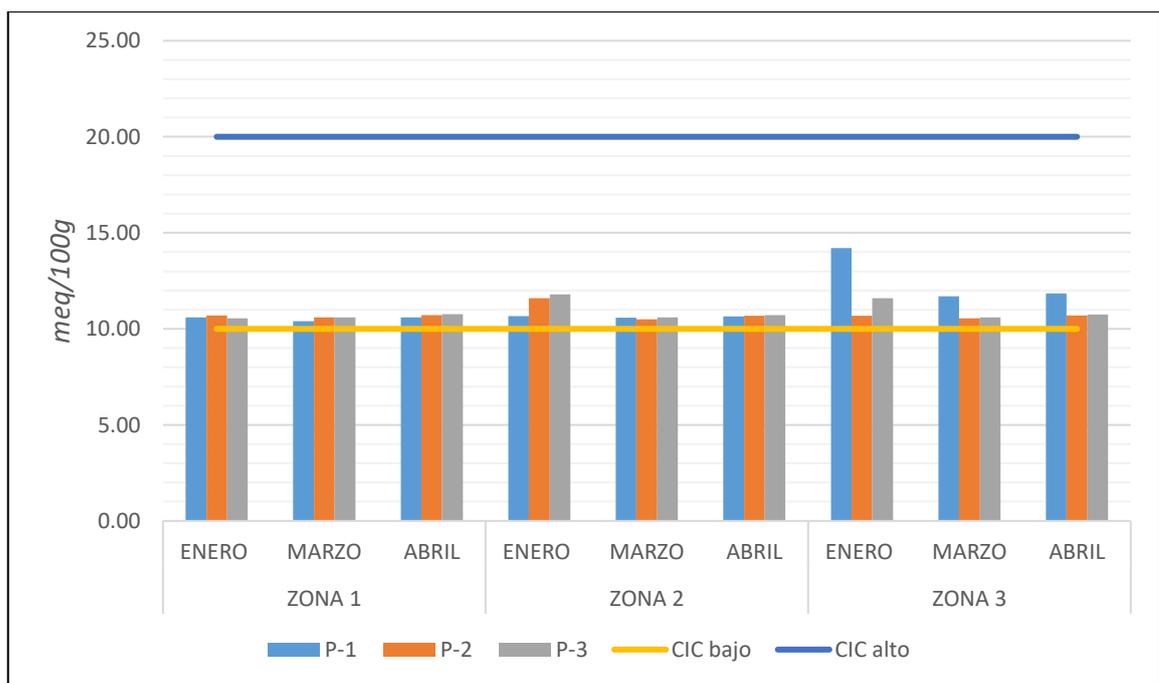
El contenido de potasio del suelo resulto del promedio de los tres puntos por cada zona de muestreo (tabla 14) acompañados de la desviación estándar en cada uno de ellos, el comportamiento de los tratamientos entre zonas son significativas lo que se corrobora con el ANVA ( $p < 0.05$ ) (ver anexo 7) indicando que las zonas estadísticamente contienen diferentes niveles de potasio en el suelo, siendo la zona 3 la que presenta mayor nivel de potasio con 521.9 respecto a la zona 1 con 416.7 y la zona 2 con 458.9 respectivamente de acuerdo a la prueba de Tukey del anexo 7 ( $p < 0.05$ ), por otro lado los tratamientos entre los meses no son significativos lo que se corrobora con el ANVA ( $p > 0.05$ ) que indica que los niveles de potasio en cada mes son iguales estadísticamente ya que los valores se mantienen de manera constante de acuerdo a la prueba de Tukey del Anexo 7 ( $p > 0.05$ ) donde los valores encontrados para los meses de enero, marzo y abril fueron de 455.4, 461.7 y 480.3 respectivamente.



**Figura 9.** Contenido de Potasio K (ppm) en suelos de las tres zonas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno ,2022.

La figura 9 muestra el comportamiento del contenido de potasio disponible en partes por millón de los suelos adyacentes de la Laguna de Espinar de la bahía interior de la ciudad de Puno donde para la zona 1 el mes de marzo obtuvo como valor mínimo 385 ppm en el p-2 y como valor máximo 450 ppm en el p-1 del mes de abril, para la zona 2, el mes de enero obtuvo un valor mínimo de 405 ppm en el p-1 y un valor máximo de 490 ppm en el p-3, para la zona 3, el mes de marzo obtuvo un valor mínimo de 475 ppm en el p-2 y registra un valor máximo de 560 ppm en el p-3 para el mes de abril, obteniendo un comportamiento similar en los análisis de datos de las tres zona, siendo la zona 3 que es el sector lejano a la Laguna de Espinar la que presenta mayores niveles de potasio, clasificándose de esta forma como suelos altos en potasio disponible, los resultados son parecidos a los encontrados por Sánchez et al., (2013) quienes encontraron valores de entre 690 ppm a 1610 ppm siendo los suelos analizados extremadamente ricos en potasio citando que el incremento es positivo, ya que este aumenta la resistencia de la planta a las enfermedades, la sequía y el frío.

El análisis de CIC del suelo resultado del promedio de los tres puntos por cada zona de muestreo tabla 14 acompañados de la desviación estándar en cada uno de ellos, el comportamiento de los tratamientos entre zonas y meses no son significativas lo que se corrobora con el ANVA ( $p > 0.05$ ) (ver anexo 8) que indica que los niveles de CIC en cada mes y en cada zona son iguales estadísticamente ya que los valores se mantienen de manera constante de acuerdo a la prueba de Tukey del Anexo 8 ( $p > 0.05$ ) donde los valores encontrados para los meses de enero, marzo y abril fueron de 10.7, 10.8 y 11.4 respectivamente, para las zona 1 se obtuvo un valor de 10.6, para la zona 2 el valor fue de 10.9 y para la zona 3 el valor fue de 11.4



**Figura 10.** Capacidad de intercambio catiónico (*meq/100g*) en suelos de las tres zonas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, 2022.

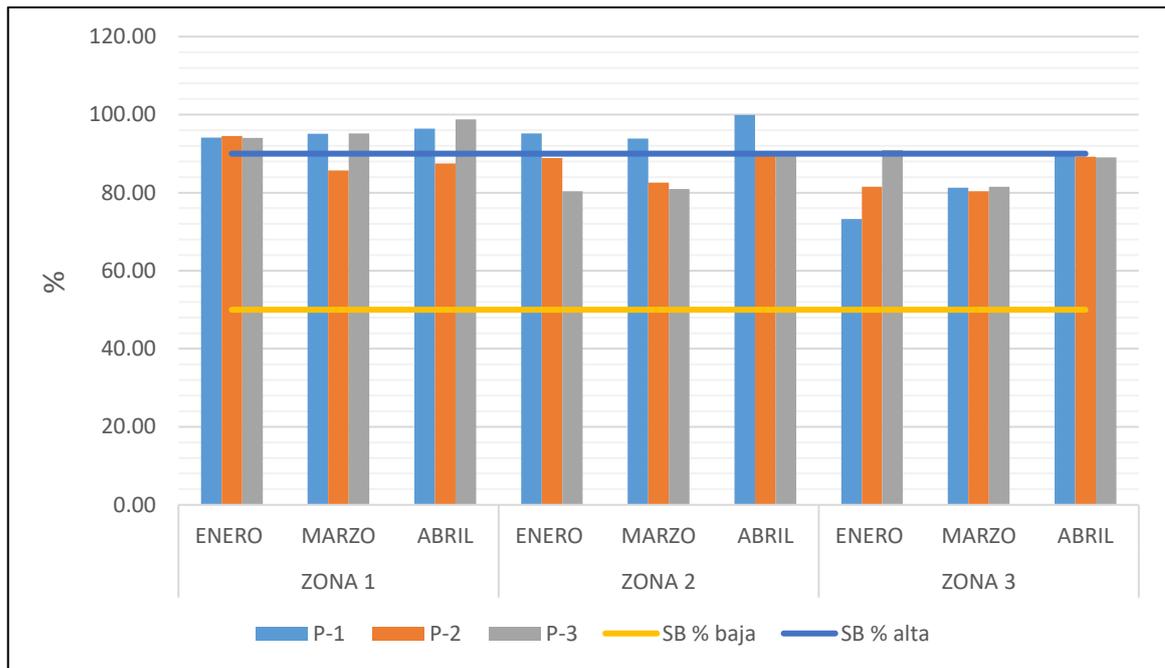
La figura 10 muestra el comportamiento del CIC disponible en *meq/100g* de los suelos adyacentes de la Laguna de Espinar de la bahía interior de la ciudad de Puno donde



para la zona 1 el mes de marzo obtuvo como valor mínimo 10.40 meq/100g en el p-1 y como valor máximo 10.76 meq/100g en el p-3 del mes de abril, para la zona 2, el mes de marzo obtuvo un valor mínimo de 10.50 meq/100g en el p-2 y un valor máximo de 11.80 meq/100g en el p-3, para la zona 3, el mes de marzo obtuvo un valor mínimo de 10.55 meq/100g en el p-2 y registra un valor máximo de 14.20 meq/100g en el p-1 para el mes de enero, manteniendo su comportamiento respecto al análisis de datos en la zona 1, en la zona 2 que es el sector intermedio el comportamiento es ligeramente variado con respecto al mes de enero, la zona 3 que es el sector lejano, presenta mayores niveles de CIC, clasificándose de esta forma como suelos con niveles medios de CIC a pesar de tener niveles altos de nitrógeno total y fosforo lo que significa que estos nutrientes están presentes pero no totalmente disponibles para las plantas, de esta manera los resultados son parecidos a los encontrados por Cano (2021) cuyos análisis presentan valores de 10 a 15 meq/100 g. calificando como suelos medios en niveles de la CIC, por otro lado Umaña (2011) encontró que los valores de la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo irrigado con aguas excedentes tratadas varían de 27.8 meq/100g en la fase inicial a 25.3 meq/100g en la fase final siendo estos valores altos, por lo que desliza que la práctica no altere negativamente las características del suelo.

El análisis del comportamiento de la S.B del suelo resulto del promedio de los tres puntos por cada zona de muestreo (tabla 14) acompañados de la desviación estándar en cada uno de ellos, el comportamiento de los tratamientos entre zonas son significativas lo que se corrobora con el ANVA ( $p < 0.05$ ) (ver anexo 9) indicando que las zonas tienen diferentes niveles de S.B en el suelo siendo diferentes estadísticamente, donde la zona 1 presenta mayores niveles de S.B con 93.5 respecto a la zona 2 con 89.03 y la zona 3 con 84.08 respectivamente de acuerdo a la prueba de Tukey del anexo 9 ( $p < 0.05$ ), por otro lado los tratamientos entre los meses no son significativos lo que se corrobora con el

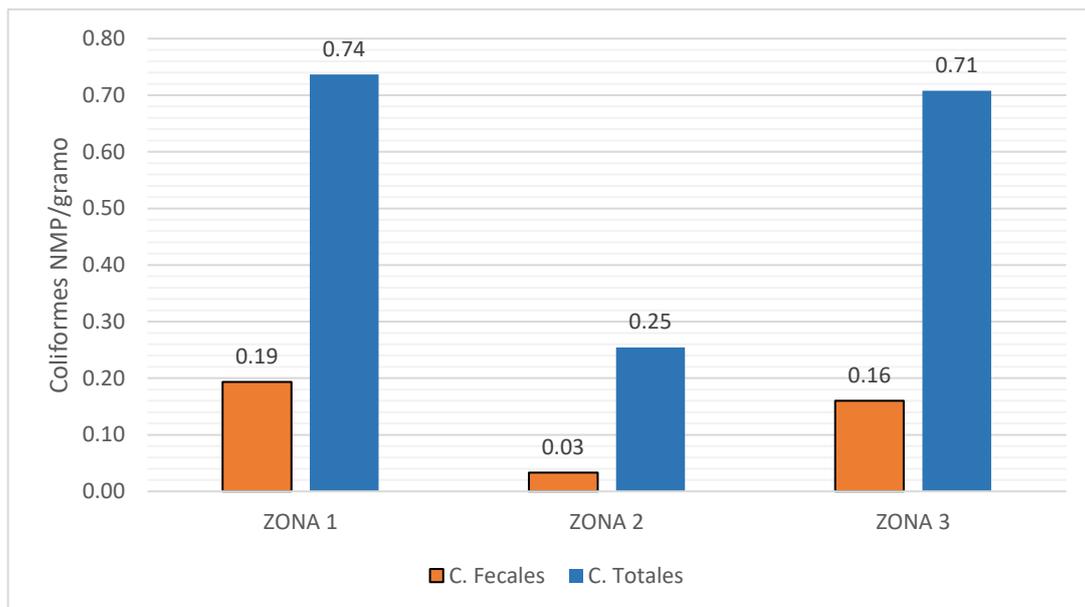
ANVA ( $p>0.05$ ) que indica que los niveles de S.B en cada mes son iguales estadísticamente ya que los valores se mantienen de manera constante de acuerdo a la prueba de Tukey del Anexo 9 ( $p>0.05$ ) donde los valores encontrados para el mes de enero fue de 88.1, para marzo fue de 86.3 y para abril fue de 92.2 siendo este el mes con mayor S.B.



**Figura 11.** Saturación de Bases SB% en suelos de las tres zonas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno ,2022.

La figura 11 muestra el comportamiento del contenido de la S.B de los suelos adyacentes de la Laguna de Espinar de la bahía interior de la ciudad de Puno donde para la zona 1 el mes de marzo obtuvo como valor mínimo 85.66 en el p-2 y como valor máximo 98.79 en el p-3 del mes de abril, para la zona 2, el mes de enero obtuvo un valor mínimo de 80.34 en el p-3 y un valor máximo de 99.91 en el p-1, para la zona 3, el mes de enero obtuvo un valor mínimo de 73.24 en el p-1 y registra un valor máximo de 90.95 en el p-3 para el mes de enero, clasificándose de esta forma la zona 1, la zona 2 y 3 como suelos con media a alta saturación de bases, los resultados son parecidos a los

encontrados por (Cano, 2021) en su estudio sobre la contaminación de los recursos naturales en el ámbito de la cuenca Llallimayo; donde se recolectó muestras de suelos en dos zonas, una bajo riego con cultivos forrajeros Rye gras y avena, y el otro no irrigado con pasturas naturales y avena encontrando que las muestras de suelo presentan un alto nivel de saturación de bases, atribuyéndolos a su composición iónica.



**Figura 12.** Análisis microbiológico de Coliformes totales y fecales (termotolerantes) en suelos de las tres zonas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno ,2022.

En el anexo 10 sobre el análisis microbiológico de los suelos adyacentes a la Laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, para los Coliformes totales se encontró que el comportamiento de los tratamientos entre zonas no son significativas lo que se corrobora con el ANVA ( $p > 0.05$ ) (ver anexo 10) indicando que las zonas son iguales estadísticamente, en la figura 12 se muestra que la zona 1 presenta mayores niveles de Coliformes totales con 0.74 respecto a la zona 2 con 0.25 y la zona 3 con 0.71 respectivamente, por otro lado los tratamientos entre los meses son significativos lo que se corrobora con el ANVA ( $p < 0.05$ ) que indica que los meses tienen diferentes niveles



de Coliformes totales de acuerdo a la prueba de Tukey del Anexo 10 ( $p < 0.05$ ) donde el valor encontrado para el mes de marzo presenta mayores niveles de Coliformes totales con 0.36 respecto al mes de enero y el mes de abril con 0.01. Respecto al análisis microbiológico los valores encontrados en los suelos se encuentran con niveles de entre  $< 3$  NMP/g a 4.60 NMP/g, los cuales son inferiores a los encontrados por Huamaní (2018) quien halló valores de entre 4 a 460 NMP/g y Aguilar & Cubas (2021) quienes a su vez determinaron que la aglomeración de agentes contaminantes en los suelos de producción agrícola por el uso de las aguas excedentes afecta a productos como el repollo, la papa, la racacha, la lechuga, las acelga, la cebolla y la berenjena las cuales presentaron contaminación  $> 1100$  NMP/g por Coliformes totales los cuales mostraron niveles muy por encima de  $10^2$  según lo establecido por la norma Resolución Ministerial N° 591-2008-MINSA.

Para el análisis de Coliformes termotolerantes el comportamiento de los tratamientos entre zonas y meses no son significativas lo que se corrobora con el ANVA ( $p > 0.05$ ) (ver anexo 11) indicando que la presencia de Coliformes termotolerantes son iguales estadísticamente, en la figura 12 se observa que la zona 1 presenta mayores niveles de Coliformes termotolerantes con 0.19 respecto a la zona 2 con 0.03 y zona 3 con 0.16, por otro lado los tratamientos entre meses indican que el mes de marzo tiene mayor presencia de Coliformes termotolerantes con 3.3, el mes de abril y enero con 0.7 de acuerdo a la prueba de Tukey del Anexo 11 ( $p > 0.05$ ), asimismo los análisis microbiológicos mostraron que la presencia de Coliformes termotolerantes fueron  $< 3$  NMP/g los cuales son menores a los hallados por Huamaní (2018) quien encontró valores de hasta 460 NMP/g en el análisis microbiológico realizado a los suelos agrícolas, a la vez encontró presencia de Coliformes termotolerantes en cultivos agrícolas como la lechuga, fresa y beterraga indicando que la integración de abonos en los suelos cultivados



y la calidad del agua con el que se irrigan estos suelos pueden aumentar los niveles de contaminación por Coliformes.

El anexo 12 muestra el análisis de correlación de Pearson de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del suelo donde se muestra tienen una relación significativa con un nivel de 0.05 donde los carbonatos y la conductividad eléctrica reflejan una correlación positiva con un coeficiente de 0.640 el cual significa que es directamente proporcional y que tienen una relación significativa alta, a la vez la MO tiene una relación significativa alta con los carbonatos cuyo valor es igual a 0.560 mostrando que son directamente proporcionales entre ambas variables, a la vez se muestra una correlación positiva con una relación significativa alta entre el nitrógeno y la materia orgánica con un valor de 1.000, así también el P y K muestran correlaciones positivas significativas con el nitrógeno teniendo valores de 0.676 y 0.682 respectivamente y en cuanto a la SB este muestra una correlación inversa moderada entre la MO, N.T con -0.439, el P con -0.448, K con -0.530 y la CIC con -0.488; por otro lado los coliformes totales muestran una relación significativa alta y una correlación directamente proporcional con los coliformes termotolerantes teniendo un valor de 0.859.

#### **4.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN ESPINAR DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, ADYACENTES A LOS SUELOS EVALUADOS.**

La tabla 15 muestra los valores de los parámetros físicos analizados en las aguas adyacentes a la Laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, tales como el pH, temperatura (°C), conductividad eléctrica ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), sólidos totales disueltos (ppm), salinidad (%) y oxígeno total (mg/l), fósforo (mg/l), nitrógeno (mg/l), DBO (mg/l), DQO

(mg/l), coliformes totales y termotolerantes (NMP/100ml).

**Tabla 15.** Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas evaluadas en las aguas adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno, 2022.

Parámetros	Unidad	Enero	Marzo	Abril	Promedio
<b>pH</b>		6.23	6.69	7.08	6.67
<b>Temperatura</b>	°C	13.3	13.6	11.0	12.6
<b>Conductividad eléctrica</b>	µs/cm	1726	1704	1982	1804
<b>Sólidos totales disueltos</b>	ppm	865	852	987	901.3
<b>Salinidad</b>	%	0.08	0.08	0.09	0.083
<b>Oxígeno disuelto</b>	mg/l	0.20	0.40	0.21	0.27
<b>Fosforo Total (como p<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>	mg/l	15.16	14.96	14.71	14.94
<b>Nitrógeno amoniacal (como NH<sup>+</sup><sub>4</sub>)</b>	mg/l	2.98	2.81	2.6	2.80
<b>Demanda química de oxígeno (como DQO)</b>	mg/l	190	184	180	184.7
<b>Demanda bioquímica de oxígeno (como DBO<sub>5</sub>)</b>	mg/l	76	73.6	72	73.9
<b>Coliformes totales</b>	NMP/100ml	11000	15000	29000	18333.3
<b>Coliformes termotolerantes</b>	NMP/100ml	5300	15000	19000	13100

Los resultados encontrados en los análisis nos muestran que en los valores de pH varían de 6.23 en el mes de enero, 6.69 en el mes de marzo a 7.08 para el mes de abril los cuales no sobrepasan los ECA agua (C3) sobre calidad de agua para riego de vegetales y bebida de animales (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM) los cuales tienen un rango de 6.5 a 8.5. Por otro lado, la T ° superficial del agua nos muestra un promedio de 12.6 °C los cuales son similares a los encontrados por (Siguayro & Franco, 2022) quienes obtuvieron valores de entre 12.3 a 13.6 °C en su evaluación de la bahía de Puno; la



conductividad eléctrica encontrada en los meses de enero ,marzo y abril fueron de entre 1726  $\mu\text{s/cm}$ , 1704  $\mu\text{s/cm}$  y 1982  $\mu\text{s/cm}$  los cuales se encuentran dentro de los parámetros establecidos en los ECA agua (C3) para riego de vegetales permitiendo valores de hasta 2500  $\mu\text{S/cm}$  siendo estos similares a los encontrados por García et al., (2020) quienes observaron que el resultado de sus análisis de la CE en el agua residual cruda, tratada y mezclada fue de 1763  $\mu\text{s/cm}$ , 1833  $\mu\text{s/cm}$  y 1570  $\mu\text{s/cm}$  respectivamente mencionando que el uso constante de aguas residuales crudas incrementa los valores de la C.E en el estrato superior del suelo. Los valores de salinidad del agua encontrados en los análisis mostraron que este contiene un promedio de 0.083 % encontrándose dentro de los niveles promedio normales del lago Titicaca según los informes presentados por la PCMPC de Ministros.

Los valores encontrados en el análisis para TDS fueron de 865 ppm en el mes de enero, 852 ppm en el mes de marzo y 987 ppm para el mes de abril los cuales se encuentran dentro rango de los parámetros establecidos en los ECA agua categoría 1, los cuales son inferiores a los hallados por Sarabia et al., (2011) quien encontró en sus análisis valores de hasta 1020 ppm los cuales exceden el límite máximo para uso agrícola, a su vez Aguilar & Cubas (2021) encontraron valores de entre 236.4 a 664.4 ppm considerando que contiene un bajo índice de sólidos disueltos al cotejarlo con la norma nacional mismos que no son aptas para riego ni consumo animal.

El valor promedio del oxígeno disuelto encontrado en nuestros análisis fue de 0.27 mg/l encontrándose por debajo del rango establecido en los estándares de calidad ambiental MINAM categoría 3 para riego de vegetales sin embargo Sarabia et al., (2011) mencionan que en el caso del oxígeno disuelto, este parámetro independientemente de los valores encontrados no influye en aspectos agrícolas por lo que infiere que no es necesario correlacionar los datos con cada uno de los parámetros evaluados.



En las 3 evaluaciones realizadas durante los meses de enero, marzo y abril se observa que el comportamiento de las propiedades químicas del agua para el fosforo total muestra que en el mes de enero alcanzo un valor de 15.16 mg/l, en el mes de marzo disminuye a 14.96 mg/l y para el mes de abril se obtiene un valor de 14.71 mg/l estando estos por encima del rango de los ECA agua (4) sobre la conservación del ambiente acuático así como para ECA agua (1) sobre aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, por su parte Umaña (2011) menciona que los nutrientes contenidos en el agua residual tratada como el fosforo pueden ser aprovechados por los cultivos, asimismo Sánchez et al., (2013) mencionan que los suelos constantemente regados con aguas residuales con el tiempo tienden a tener un mayor incremento en los contenidos de fosforo.

Respecto a los niveles del nitrógeno amoniacal los análisis muestran que en el mes de enero el valor hallado fue de 2.98 mg/l, en marzo disminuye ligeramente a 2.81 mg/l y en abril baja a 2.60 mg/l, este parámetro no se considera restrictivo para uso agrícola visto que el nitrógeno encontrado en cualquiera de sus formas es convertido o absorbido directamente por la vegetación para cumplir con sus funciones fisiológicas sin embargo, se debe considerar un peligro de salud pública cuando el agua es utilizada para consumo humano a causa de la toxicidad de los nitratos (Sarabia et al., 2011).

En el caso del análisis de DQO para el mes de enero se obtuvo un valor de 190 mg/l, en marzo disminuyo a 184 mg/l y en abril bajo a 180 mg/l. En el análisis de la DBO para el mes de enero se obtuvo 76 mg/l, en marzo se obtuvo 73 mg/l y para el mes de abril disminuyo a 72 mg/l, estos valores se encuentran dentro de los LMP para los efluentes de PTAR Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM el cual permite un rango de 200 mg/l para DQO y un rango de 100 mg/l para la DBO, sin embargo los valores encontrados superan



los estándares permitidos en los ECA agua (C3) sobre riego de vegetales, no siendo aptas para riego agrícola ya que estos resultados son superiores 15 mg/l para la DBO y 40 mg/l para la DQO coincidiendo con (Aguilar & Cubas, 2021) quienes encontraron valores de entre  $<0.7$  mg/l y 6.01 mg/l para la DQO y valores de entre 51.30 mg/l a 259 mg/l para la DBO demostrando que los resultados muestran que las aguas no pueden usarse para riego ni para bebida de animales.

El análisis de las propiedades microbiológicas muestran que los niveles de los Coliformes totales en el mes de enero tuvo un valor de 11000 NMP/100ml, en el mes de marzo aumento a 15000 NMP/100ml, y en el mes de abril incremento significativamente hasta 29000 NMP/100ml, de la misma forma (Huamaní, 2018) quien obtuvo resultados con alta carga microbiana siendo estos  $>1600$  NMP/100ml atribuyendo así estos valores a las probables descargas domésticas, mencionando también que estas aguas deberían ser usadas para irrigar cultivos que no sean consumidos directamente, en cuanto al comportamiento de los Coliformes termotolerantes este incrementó significativamente durante los meses de evaluación, registrando en el mes de enero un valor de 5300 NMP/100ml, en el mes de marzo registra un valor de 15000 NMP/100ml y en el mes de abril llega a 19000 NMP/100ml estando estos resultados por encima de los LMP para efluentes de PTAR, los cuales establecen un rango de 10,000 NMP/100ml a la vez estos superan los ECA agua (C3) para el riego de vegetales coincidiendo así con Pari (2017) quien encontró valores  $> 3200$  NMP/100ml y con Aguilar & Cubas (2021) que encontraron que su análisis de Coliformes termotolerantes presentaba valores de  $350 \times 10^5$  a  $1600 \times 10^5$  que representa 35000000 NMP/100ml a 160000000 NMP/100ml mencionando a la vez que sus resultados demuestran que hay una alta concentración en el agua, las cuales no pueden ser utilizadas para el riego de la producción agrícola.



## V. CONCLUSIONES

Las aguas adyacentes a los cultivos no influyen significativamente en la alteración de la calidad fisicoquímica de los suelos, en cambio las propiedades microbiológicas del agua si aportan microorganismos Coliformes, debido al inadecuado tratamiento de las aguas residuales que recibe la laguna de oxidación Espinar en la bahía interior de Puno.

Durante el análisis de los suelos adyacentes a la laguna de oxidación Espinar de la bahía interior de Puno se encontró que estos tienen una clase textural franco arcillo arenosa, los parámetros fisicoquímicos muestran que los valores de pH oscilan entre 6.70 a 8.28, la CE encontrada clasifica los suelos como no salinos, los valores porcentuales de carbonatos se encuentran entre 0.8 a 5.6 %, la MO del suelo es de 2.6 a 6.8 %, el NT encontrado esta entre 0.13 a 0.34 %, el fosforo disponible encontrado es de 9.99 a 23.20 ppm , el contenido de potasio disponible está entre 385 a 560 ppm, la CIC es media con suelos saturados en bases, los niveles microbiológicos en el suelos para coliformes totales y termotolerantes fueron bajos.

El análisis de las propiedades fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas de adyacentes a la laguna de oxidación Espinar en la bahía interior de Puno mostraron que el pH de 6.23 a 7.08 , CE de 1704 a 1982  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , T ° superficial 11.0 a 13.6 ,la salinidad se encuentran dentro de los rangos anuales normales, TDS de 852 a 987 ppm, oxígeno disuelto es de 0.20 a 0.40 mg/l, fosforo total es de 14.71 a 15.16 mg/l , nitrógeno amoniacal de 2.60 a 2.98 mg/l, la DBO de 72 a 76 mg/l y DQO de 180 a 190 mg/l, las propiedades microbiológicas del agua muestran que la carga microbiana es elevada con niveles de Coliformes totales de 11000 NMP/100ml a 29000 NMP/100ml y Coliformes termotolerantes de 5300 NMP/100ml a 19000 MNP/100ml.



## VI. RECOMENDACIONES

- Realizar los análisis de suelos durante el periodo de crecimiento de las plantas, así como después de la cosecha, tomando en cuenta las condiciones meteorológicas por época para obtener mejores resultados.
- Realizar un estudio completo de análisis microbiológicos y parasitológicos para dar a conocer los riesgos de transmisión de enfermedades por microorganismos del agua hacia los productos agrícolas, cultivo de forrajes y animales endémicos especialmente los que pastan en zonas cercanas a las orillas del lago.
- Realizar análisis de suelos tomando en cuenta más puntos de muestreo para una mejor obtención de resultados.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, F. (2007). Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. México: Instituto Nacional de Ecología. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=uWlrkIx-r3oC&dq=potencial+de+hidrogeno+en+el+agua&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.pe/books?id=uWlrkIx-r3oC&dq=potencial+de+hidrogeno+en+el+agua&source=gbs_navlinks_s)
- Aguilar, J. , & Cubas, N. (2021). Contaminación agrícola por uso de aguas residuales. Alfa, 5(13), 65-77. ISSN: 2664 – 0902
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2019). Reglamento de recursos hídricos.D.S.N°001-2010-AG.
- Andrade, K., Castillo, I., & Quispe, R. (2020). Determinación de metales pesados en suelos agrícolas y suelos para cultivo de Solanum Tuberosum de la bahía interior de Puno. Revista Investigación & desarrollo, 20(1), 147-153.
- Apaza, W., & Quenaya, S. (2017). Cartografía de emisiones de malos olores por la laguna de oxidación Puno, Julio - Agosto 2015. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Arequipa, A. (2017). Bioindicadores para la determinación de la calidad del suelo en la microcuenca de la quebrada Jun Jun. [tesis de grado]. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Busman, L.; Lamb, J.; Randall, G.; Rehm, G.; Schmitt, M. (2002). The nature of phosphorus in soils. Universidad de Minnesota. En la web: <http://www.extension.umn.edu/agriculture/nutrient-management/phosphorus/the-nature-of-phosphorus/index.html>.



- Cano, J. (2021). Metales pesados y fertilidad de los suelos de la irrigación Canal N, Puno, Perú. *Manglar*, 18(4), 419–426. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.054>
- Campos, I. (2000). *Saneamiento ambiental* (Primera ed.). Costa Rica: Euned, Editorial Universidad Estatal a Distancia. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=lsgrGBGIGeMC&source=gbs\\_navlink\\_s](https://books.google.com.pe/books?id=lsgrGBGIGeMC&source=gbs_navlink_s)
- Calderon, C., Bautista, G., & Rojas, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.22579/20112629.524>
- Cardona, A. (09 de Enero de 2019). *Ecología verde. Cuáles son los agentes contaminantes del suelo.* <https://www.ecologiaverde.com/cuales-son-los-agentes-contaminantes-del-suelo-1796.html>
- Carpenter, S., Caraco, N., Correll, D., Howarth, R., Sharpley, A. y Smith, V. 1998. Nonpoint pollution of surface water with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3):559- 68.
- Castillo, A., & Maestre, F. (2011). La costra biológica del suelo: Avances recientes en el conocimiento de su estructura y función ecológica. *Revista chilena de historia natural*, 84(1), 1-21. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000100001>
- Cedeño, D. (2019). Impacto ambiental de las lagunas de tratamiento de aguas residuales. Sector Colinas San José, Ciudad de Rocafuerte. *Polo de Conocimiento*, 5(01), 257 - 280. <https://doi.org/DOI: 10.23857/pc.v5i01.1223>



- Del Pozo, C., & Paucarmayta, V. (2014). Cómo impacta la minería en la producción agropecuaria del Perú. *Economía y Sociedad*, 87, 6-12.
- Domenech, X. (1998). *Química del Agua. El impacto de los contaminantes*. Mc Graw Hill International. Madrid.
- Estela, R. (2021). Principales Contaminantes del Suelo.  
<https://www.ejemplos.co/contaminantes-del-suelo/#ixzz51F9MmGTK>
- Fernández, C. (2006). Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados (No. Sirsi) i9684890397).
- Fernández, L. (2016). Los malos olores del la laguna de oxidacion afectan a mas de dos mil familias en Puno.
- Garay, Ó., & Ochoa, Á. (2010). Primera aproximación para la identificación de los diferentes tipos de suelo agrícola en el valle del río Mantaro.
- García, C., Moreno, J., Hernández, M., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. Csic - Centro de Ciencias Medioambientales.
- García, M., Luna, J., Gallegos, M., Preciado, P., Cervantes, M., & González, U. (2020). Impacto de aguas residuales sobre algunas propiedades y acumulación de metales pesados en el suelo. *Revista Terra Latinoamericana*, 38(4), 907-916.
- Garrido, M. (1994). Interpretación de análisis de suelos. Instituto nacional de reforma y desarrollo agrario, Madrid. I.S.B.N 84-341-0810.0
- González, V., Leal, M., Lillo, J., De Bustamante, I., & Palacios, M. P. (2012). Guía de caracterización edáfica para actividades de regeneración de aguas residuales en usos ambientales.



- Gros, A., & Domínguez, A. (1992). Abonos guía práctica de la fertilización. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Hanks, R., & Ashcroft, L. (1980). Applied soil physics: Soil water and temperature applications. Berlin: Springer Verlag.
- Hayes, (1993). Microbiología e higiene de los alimentos. Acribia, Zaragoza España.
- Huamaní, C. (2018). Determinación del efecto de las aguas servidas sobre el suelo y cultivos en la desembocadura del canal de regadío de Las Salinas Bajo-Chancay-Lima. Repositorio Institucional, 1–145. Retrieved from [http://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/135/Cueva\\_Mallqui\\_tesis\\_maestría\\_2014.pdf?sequence=5&isAllowed=y](http://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/135/Cueva_Mallqui_tesis_maestría_2014.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Ibañez, J. (2007). Los suelos y la vida. Carbonatos del Suelo: Curso de Diagnóstico de Suelos en Campo. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/05/01/64693>
- Ibañez, J. (2007). Los suelos y la vida. PH del suelo: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/04/02/62776>
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jímenez, A. (2014). Calidad del agua de las lagunas de oxidación de Covicorti, Trujillo – La Libertad. Trujillo: Tesis de la Universidad Nacional del Trujillo.
- Jimenez, R. (2017). Introducción a la contaminación de suelos. Madrid : Ediciones Mundi-Prensa-Libros. <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=iZg6DwAAQBAJ&oi=fnd&>



pg=PP1&dq=contaminaci%C3%B3n+de+suelos&ots=i5MxOq-  
z5y&sig=\_5ThmaGEkt7gU3sZBqvzrT\_eCL8&redir\_esc=y#v=onepage&q=cont  
aminaci%C3%B3n%20de%20suelos&f=false

Julca, A., Meneses, L., Blas, R., & Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>

Leal, I., García, E., Vázquez, G., & Hernández, E. (2023). Multivariate analysis of soils irrigated with aquaculture wastewater. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1), 50028.

Letterman, R. D. (2002). *Calidad y tratamiento del agua: manual de suministros de agua comunitaria (Quinta edición)*. Madrid, España: Mc Graw Hill.

Lopez, J. (2019). *Evaluación de la calidad de agua para uso agrícola del río Challamayo, Tiquillaca - Puno*. Puno: Tesis de la Universidad Nacional del Altiplano.

Luna, A. (2018). *Evaluación del dimensionamiento de la laguna de oxidación, propuesta para el mejoramiento del sistema de tratamiento de agua residual del puesto de mando adelantado (PMDA) los mangos*. [proyecto de grado]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.

Macias, K. (2019). *Evaluación ex post de los impactos socio-ambientales de la laguna de oxidación de la Ciudad de Portoviejo*. Manabí - Ecuador: Tesis de la Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Martínez O. (2006). *Determinación de la calidad fisicoquímica del agua del Canal de Chiquimulilla en la Reserva de Usos Múltiples, Monterrico*. Tesis. Universidad de San Carlos de Guatemala.



- MINAM. (2014). Guía para el muestreo de suelos: en el marco de la D.S. N° 002-2013-MINAM. Lima: Ministerio del Ambiente.
- MINAM. (2010). Decreto Supremo No 003-2010-Minam. , 415675 Normas Legales Ambiente.
- MINAM. (2017a). Decreto Supremo No 011-2017-Minam. El Peruano, 1–4.
- MINAM. (2017b). Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. El Peruano, 6–9.  
Retrieved from <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-minam.pdf>
- MINAM. (2019). En el Perú solo se recicla el 1.9% del total de residuos sólidos reaprovechables y solo tiene 143 plantas de tratamiento de aguas residuales. SINIA.
- Mogollón, N. (2009). Lagunas de oxidación. <http://nata.mogollon.over-blog.com/article-lagunas-de-oxidacion-39511344.html>
- Montalvo, C. (2013). Efectos de la Contaminación del Suelo en la Productividad del cinco sectores agrícolas de la parroquia de Tumbaco. [tesis de grado]. Universidad Central del Ecuador, Ecuador.
- Montañes, L., & Heras, L. (1971). Montañes García, L., & Heras Cobo, L. (1971). Influencia del contenido de carbonato cálcico sobre la fijación de hierro. CSIC - Estación Experimental de Aula Dei.
- Mustin, M. (1987). Le compost. París: Ed. François Dubusc.
- OEFA. (2014). Environmental Assessment and Control Agency. Environmental control in. Brazil: Ministério do Meio Ambiente Peru.



- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2023). Portal de suelos. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/es/>
- Orozco, A., Valverde, M., Martínez, R., Chávez, C., & Benavides, R. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. México: Terra Latinoamericana.
- Pari, J. (2017). Determinación de la calidad de agua de Río Ilave, zona urbana del distrito de Ilave, Puno- 2016. Puno: Tesis de la Universidad Privada "San Carlos".
- Perdomo, C.; Barnazán, M.; Durán, J. (1998). Nitrógeno. Desarrollo de material didáctico. Montevideo. En la web: <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>.
- Pérez, G. R., & Restrepo, J. J. R. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia.
- PCMPC de Ministros (2014). Estado de la calidad ambiental de la cuenca del Lago Titicaca ámbito peruano. Comisión multisectorial para la prevención ambiental del Lago Titicaca y sus afluentes, DS, (075-2013).
- Porta, J.; López, M.; Roquero, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3era edición. Madrid: Mundi Prensa. 929 pp.
- Rehm, G.; Schmitt, M. (2002). Potassium for crop production. Universidad de Minnesota. En la web: <http://www.extension.umn.edu/agriculture/nutrient-management/potassium/potassium-for-crop-production/index.html>.
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col (Primera ed.). Antioquia, Colombia: Universidad de



Antioquia.

[https://books.google.com.pe/books?id=ZEjgIKZTF2UC&source=gbs\\_navlink\\_s](https://books.google.com.pe/books?id=ZEjgIKZTF2UC&source=gbs_navlink_s)

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponde de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Universidad de las República, Montevideo-Uruguay.  
<http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades%20fisicas%20del%20suelo.pdf>

Aguilar Sánchez, J. de D., & Cubas Irigoin, N. (2021). Contaminación agrícola por uso de aguas residuales. *Revista Alfa*, 5(13), 65–77.

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i13.98>

ANA. (2019). *D.S.N°001-2010-AG / R.J N°300-2019-ANA*. 20.

Andrade Linarez, K., Castillo Coaquira, I., & Quispe Riquelme, R. (2020).

DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS AGRICOLAS Y SUELOS PARA CULTIVO DE *Solanum tuberosum* DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO. *Investigacion & Desarrollo*, 20(1), 147–153.

<https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-11i>

Cano, J. (2021). Metales pesados y fertilidad de los suelos de la irrigación Canal N, Puno, Perú. *Manglar*, 18(4), 419–426. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.054>

Garay, Ó., & Ochoa, Á. (2010). Primera aproximación para la identificación de los diferentes tipos de suelo agrícola en el valle del río Mantaro. In *Oscar Garay Canales*. Retrieved from

<http://www.met.igp.gob.pe/proyectos/incagro/datos/manual.pdf>

García Carrillo, M., Luna Ortega, J. G., Gallegos Robles, M. Á., Preciado Rangel, P., Cervantes Vázquez, M. G., & González Salas, U. (2020). Impact of wastewater on soil properties and accumulation of heavy metals. *Terra Latinoamericana*, 38(4),



907–916. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.556>

- Garrido Valero, S. (1971). Interpretación y análisis de suelos. In *Investigaciones Geográficas* (Vol. 1). <https://doi.org/10.14350/rig.58865>
- Huamaní, C. (2018). Determinación del efecto de las aguas servidas sobre el suelo y cultivos en la desembocadura del canal de regadío de Las Salinas Bajo-Chancay-Lima. *Repositorio Institucional*, 1–145. Retrieved from [http://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/135/Cueva\\_Mallqui\\_tesis\\_maestría\\_2014.pdf?sequence=5&isAllowed=y](http://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/135/Cueva_Mallqui_tesis_maestría_2014.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Leal Mendoza, A. I., García Gallegos, E., Vázquez Cuecuecha, O. G., & Hernández Acosta, E. (2022). Análisis multivariado de suelos irrigados con aguas residuales de la acuicultura. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1), 50028. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50028>
- Macias Carrillo, K. S. (2019). Evaluación Ex Post de los Impactos Socio-Ambientales de la Laguna de Oxidación de la Ciudad de Portoviejo. *Tesis*, 78. Retrieved from <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2305>
- MINAM. (2017). Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. *El Peruano*, 6–9. Retrieved from <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Pari Condori, J. (2017). *Determinacion de la calidad de aguadel rio Ilave, Zona Urbana del distrito de Ilave, Puno - 2016*. Universidad Privada San Carlos.
- Romero, M., Santamaría, D., & Zafra, C. (2009). Bioingeniería y suelo: Abundancia microbiológica, pH y conductividad electrica bajo tres estratos de erosión. *Umbral Científico*, 15(1), 67–74. Retrieved from



<https://www.redalyc.org/pdf/304/30415144008.pdf>

Sánchez Hernández, M. A., Hernández Acosta, E., & Cristóbal Acevedo, D. (2013).

Caracterización de suelos regados con aguas residuales para establecer un sistema agroforestal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4, 811–817.

Sarabia Meléndez, I. F., Cisneros Almazán, R., Aceves De Alba, J., Durán García, H.

M., & Castro Larragoitia, J. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí, México. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 27(2), 103–113.

Siguayro, H., & Franco, Y. (2022). *Aspectos fisicoquímicos del lago titicaca, julio 2019*. 49(4).

Umaña Gomez, E. (2011). El reuso de aguas residuales para riego en un cultivo de maíz

(*Zea mays* L.) una alternativa ambiental y productiva. *Recursos Naturales*, 7(8),

22–26. Retrieved from <http://lcalera.una.edu.ni/index.php/lcalera/article/view/67>

Zamora, F., Rodriguez, N., Torres, D., & Yendis, H. (2008). EFECTO DEL RIEGO

CON AGUAS RESIDUALES SOBRE PROPIEDADES QUÍMICAS DE

SUELOS DE LA PLANICIE DE CORO, ESTADO FALCÓN. *Bioagro*, 20, 193–199.

Sánchez, M., Hernández, E., & Cristóbal, D. (2013). Caracterización de suelos regados

con aguas residuales para establecer un sistema agroforestal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5), 811-817.

Sarabia, I., Cisneros, R., Aceves, J., Durán, H., & Castro, J. (2011). Calidad del aguade

riego en suelos agrícolas y cultivos del valle San Luis Potosí, México. *Revista Internacional de Cotaminación Ambiental*, 27(2), 103-113.



- Sato, T., M. Qadir, S. Yamamoto, T. Endo, and A. Zahoor. 2013. Global, regional and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agric. Water Manage.* 130: 1-13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007>.
- Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua: Evaluacion y diagnóstico*.
- SPSS. (2012). *SPSS Statistics 22.0 Command Syntax Reference*. SPSS Inc.
- Siguayro, H., & Franco, Y. B. (2022). Aspectos físicoquímicos del lago Titicaca, Julio 2019. *Inf Inst Mar Perú*, Vol. 49
- SSDS (1993). "Examination and Descriptions of Soils". *Soil survey manual. Handbook No. 18*. Washington D.C: USDA.
- Uribe, L. (1999). *Uso de indicadores microbiológicos de suelos: Ventajas y limitantes (Vol. 8)*. III Congreso Nacional de Suelo.
- Umaña, E. (2011). El reuso de aguas residuales para riego en un cultivo de maíz (*Zea mays L.*) una alternativa ambiental y productiva. *La calera*, 7(8), 22-26.
- Valencia E, D. M. (2011). *Macroinvertebrados acuáticos epicontinentales y la calidad biológica del agua del río Jordán, Jamundí (Valle del Cauca)*. Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali.
- Winpenny, J., Heinz, I., Koo-Oshima, S., Salgot, M., Collado, M., Hernández, F., & Torricelli, R. (2013). *Reutilización del agua en la agricultura:¿ Beneficios para todos?. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Informe sobre temas hidricos (FAO)*.
- Yakabi, K. (2014). *Estudio de las propiedades edáficas que determinan la fertilidad del suelo en el sistema de andenería de la comunidad campesina, San Pedro de Laraos, provincia de Huarochirí, Lima*. Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú.



Zamora. (2008). Efecto del riesgo con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro estado Falcón. *Revista Bicagro*, 20(3), 193-199.

Zavaleta, A. (1992). *Edafología: El suelo en relación con la Producción*. Lima: A & B S.A. 223 pp.

Zhang, X., & Zhao, A. (1997). *Chemistry of Variable Charge Soils* (17-63 ed.). New York: Oxford University.



## ANEXOS



## ANEXO 1: Análisis estadístico pH de Suelos

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: pH

Origen	Tipo II de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	1454,927 <sup>a</sup>	5	290,985	14962,886	,000
ZONAS	,372	2	,186	9,566	,001
MESES	6,365	2	3,183	163,658	,000
Error	,428	22	,019		
Total	1455,354	27			

a. R al cuadrado = 1,000 (R al cuadrado ajustada = 1,000)

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

ZONAS	N	Subconjunto	
		1	2
Zona 1	9	7,1589	
Zona 2	9		7,3889
Zona 3	9		7,4233
Sig.		1,000	,861

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,019.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.

MESES	N	Subconjunto	
		1	2
Enero	9	6,9611	
Marzo	9	7,0000	
Abril	9		8,0100
Sig.		,826	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,019.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.

## ANEXO 2: Análisis estadístico CE de Suelos

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: CE

Origen	Tipo II de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	66,622 <sup>a</sup>	5	13,324	16,076	,000
ZONAS	15,304	2	7,652	9,232	,001
MESES	,888	2	,444	,536	,593
Error	18,234	22	,829		
Total	84,857	27			

a. R al cuadrado = ,785 (R al cuadrado ajustada = ,736)

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

ZONAS	N	Subconjunto	
		1	2
Zona 1	9	,4700	
Zona 2	9	1,3178	1,3178
Zona 3	9		2,3122
Sig.		,142	,074

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,829.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.

MESES	N	Subconjunto	
		1	
Abril	9	1,1111	
Enero	9	1,4756	
Marzo	9	1,5133	
Sig.		,623	

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,829.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.

### ANEXO 3: Análisis estadístico CO<sub>3</sub> de Suelos

#### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: CO<sub>3</sub>

Origen	Tipo II de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	277,653 <sup>a</sup>	5	55,531	49,148	,000
ZONAS	19,081	2	9,540	8,444	,002
MESES	1,576	2	,788	,698	,508
Error	24,857	22	1,130		
Total	302,510	27			

a. R al cuadrado = ,918 (R al cuadrado ajustada = ,899)

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

ZONAS	N	Subconjunto	
		1	2
Zona 1	9	2,0222	
Zona 2	9	3,1556	3,1556
Zona 3	9		4,0778
Sig.		,083	,180

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 1,130.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.

MESES	N	Subconjunto	
		1	
Enero	9	2,8333	
Abril	9	3,0111	
Marzo	9	3,4111	
Sig.			,493

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 1,130.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.



## ANEXO 4: Análisis estadístico MO de Suelos

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: MO

Origen	Tipo II de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	477,964 <sup>a</sup>	5	95,593	119,794	,000
ZONAS	15,502	2	7,751	9,713	,001
MESES	1,182	2	,591	,741	,488
Error	17,556	22	,798		
Total	495,520	27			

a. R al cuadrado = ,965 (R al cuadrado ajustada = ,957)

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

ZONAS	N	Subconjunto	
		1	2
Zona 1	9	3,5111	
Zona 2	9	3,6889	
Zona 3	9		5,2000
Sig.		,907	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,798.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.

MESES	N	Subconjunto	
		1	
Abril	9	3,8444	
Marzo	9	4,2222	
Enero	9	4,3333	
Sig.			,488

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,798.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.

## ANEXO 5: Análisis estadístico NT de Suelos

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: NT

Origen	Tipo II de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	1,195 <sup>a</sup>	5	,239	119,794	,000
ZONAS	,039	2	,019	9,713	,001
MESES	,003	2	,001	,741	,488
Error	,044	22	,002		
Total	1,239	27			

a. R al cuadrado = ,965 (R al cuadrado ajustada = ,957)

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

ZONAS	N	Subconjunto	
		1	2
Zona 1	9	,1756	
Zona 2	9	,1844	
Zona 3	9		,2600
Sig.		,907	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,002.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.

MESES	N	Subconjunto	
		1	
Abril	9	,1922	
Marzo	9	,2111	
Enero	9	,2167	
Sig.		,488	

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,002.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.

## ANEXO 6: Análisis estadístico P de Suelos

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: P

Origen	Tipo II de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	7072,514 <sup>a</sup>	5	1414,503	143,889	,000
ZONAS	223,485	2	111,743	11,367	,000
MESES	3,429	2	1,714	,174	,841
Error	216,271	22	9,830		
Total	7288,785	27			

a. R al cuadrado = ,970 (R al cuadrado ajustada = ,964)

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

ZONAS	N	Subconjunto	
		1	2
Zona 1	9	12,4689	
Zona 2	9	15,7878	
Zona 3	9		19,5122
Sig.		,086	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 9,830.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.

MESES	N	Subconjunto	
		1	
Enero	9	15,5533	
Marzo	9	15,8111	
Abril	9	16,4044	
Sig.			,834

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 9,830.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.



## ANEXO 7: Análisis estadístico K de Suelos

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: K

Origen	Tipo II de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	5912043,074 <sup>a</sup>	5	1182408,615	1701,983	,000
ZONAS	50470,296	2	25235,148	36,324	,000
MESES	3019,852	2	1509,926	2,173	,138
Error	15283,926	22	694,724		
Total	5927327,000	27			

a. R al cuadrado = ,997 (R al cuadrado ajustada = ,997)

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

ZONAS	N	Subconjunto		
		1	2	3
Zona 1	9	416,6667		
Zona 2	9		458,8889	
Zona 3	9			521,8889
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 694,724.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.

MESES	N	Subconjunto
		1
Marzo	9	455,4444
Enero	9	461,6667
Abril	9	480,3333
Sig.		,135

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 694,724.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.



## ANEXO 8: Análisis estadístico CIC de Suelos

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: CIC

Origen	Tipo II de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	3181,962 <sup>a</sup>	5	636,392	1271,029	,000
ZONAS	2,640	2	1,320	2,510	,094
MESES	,598	2	,299	,597	,559
Error	11,015	22	,501		
Total	3192,977	27			

a. R al cuadrado = ,997 (R al cuadrado ajustada = ,996)

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

ZONAS	N	Subconjunto
		1
Zona 1	9	10,6144
Zona 2	9	10,8667
Zona 3	9	11,4033
Sig.		,128

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,501.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.

MESES	N	Subconjunto
		1
Marzo	9	10,6811
Abril	9	10,8267
Enero	9	11,3767
Sig.		,533

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,501.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.



## ANEXO 9: Análisis estadístico SB de Suelos

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: SB

Origen	Tipo II de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	213773,896 <sup>a</sup>	5	42754,779	1520,770	,000
ZONAS	398,180	2	199,090	7,082	,004
MESES	166,809	2	83,404	2,967	,072
Error	618,506	22	28,114		
Total	214392,402	27			

a. R al cuadrado = ,997 (R al cuadrado ajustada = ,996)

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

ZONAS	N	Subconjunto	
		1	2
Zona 3	9	84,0789	
Zona 2	9	89,0289	89,0289
Zona 1	9		93,4811
Sig.		,141	,199

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 28,114.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.

MESES	N	Subconjunto	
		1	
Marzo	9	86,2767	
Enero	9	88,0944	
Abril	9	92,2178	
Sig.			,066

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 28,114.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.



## ANEXO 10: Análisis estadístico Coliformes Totales de Suelos

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: C.Totales

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	1,209 <sup>a</sup>	5	,242	14,162	,000
ZONAS	,026	2	,013	,776	,472
MESES	,744	2	,372	21,796	,000
Error	,376	22	,017		
Total	1,585	27			

a. R al cuadrado = ,763 (R al cuadrado ajustada = ,709)

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

MESES	N	Subconjunto	
		1	2
Enero	9	,0100	
Abril	9	,0100	
Marzo	9		,3622
Sig.		1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática

(Error) = ,017.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = .05.



## ANEXO 11: Análisis estadístico Coliformes Termotolerantes de Suelos

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: C.termotolerantes

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	,087 <sup>a</sup>	5	,017	1,998	,119
ZONAS	,009	2	,004	,503	,612
MESES	,041	2	,020	2,326	,121
Error	,192	22	,009		
Total	,279	27			

a. R al cuadrado = ,312 (R al cuadrado ajustada = ,156)

HSD Tukey<sup>a,b</sup>

MESES	N	Subconjunto	
		1	2
Enero	9	,7000	
Abril	9	,7000	
Marzo	9		3,3011
Sig.		1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática

(Error) = 1.730.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9.000.

b. Alfa = .05.

**ANEXO 12:** Análisis de correlación de Pearson entre parámetros de los suelos

	pH	CE	CO3	MO	NT	P	K	CIC	SB	C.termo	C.Tot
pH	1										
CE	-0,037	1									
CO3	0,178	<b>0,640**</b>	1								
MO	-0,037	<b>0,485*</b>	<b>0,560**</b>	1							
NT	-0,037	<b>0,485*</b>	<b>0,560**</b>	<b>1,000**</b>	1						
P	0,236	0,305	<b>0,570**</b>	<b>0,676**</b>	<b>0,676**</b>	1					
K	0,370	0,362	<b>0,579**</b>	<b>0,682**</b>	<b>0,682**</b>	<b>0,869**</b>	1				
CIC	0,036	-0,012	0,080	<b>0,470*</b>	<b>0,470*</b>	0,335	<b>0,529**</b>	1			
SB	0,235	-0,334	-0,375	<b>-0,439*</b>	<b>-0,439*</b>	<b>-0,448*</b>	<b>-0,530**</b>	<b>-0,488**</b>	1		
C.termo	-0,248	-0,132	0,000	0,229	0,229	0,283	0,039	0,054	0,002	1	
C.Tot	-0,399*	-0,032	0,103	0,191	0,191	0,158	-0,056	-0,039	-0,144	<b>0,859**</b>	1

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).



### ANEXO 13. Registro de precipitación enero

DÍA	ENERO			
	TM102	TM103	HR101	PT101
1	18.4	6.8	61.0	0.0
2	19.4	6.0	61.0	0.0
3	19.0	4.6	54.0	0.0
4	18.6	4.8	56.0	0.0
5	16.8	5.0	53.0	3.9
6	15.4	7.0	70.0	18.0
7	16.2	5.4	73.0	0.0
8	16.2	6.0	56.0	8.0
9	15.4	7.0	72.0	0.0
10	16.0	5.4	74.0	20.4
11	15.4	4.2	80.0	24.3
12	13.4	4.8	76.0	2.3
13	14.0	7.0	73.0	4.0
14	15.0	5.0	60.0	2.1
15	15.6	4.4	69.0	11.8
16	14.6	6.2	73.0	0.0
17	17.0	6.6	72.0	3.5
18	15.6	5.4	74.0	0.0
19	15.4	7.0	71.0	25.6
20	15.8	4.4	70.0	13.4
21	15.2	5.4	74.0	0.4
22	16.2	7.0	74.0	4.3
23	15.2	6.2	77.0	5.6
24	12.6	6.0	81.0	1.3
25	15.0	7.0	74.0	13.6
26	15.6	6.2	68.0	6.8
27	15.8	7.4	78.0	10.2
28	14.8	6.4	78.0	1.6
29	15.4	6.8	74.0	7.5
30	16.0	7.0	69.0	16.8
31	16.4	6.6	76.0	5.6

HR 101:	HUMEDAD RELATIVA MEDIA DIARIA (%)
PT 101:	PRECIPITACIÓN TOTAL DIARIA (MM)
TM 102:	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA (° C)
TM 103:	TEMPERATURA MINIMA DIARIA (°C)



#### ANEXO 14. Registro de precipitación marzo

MARZO				
DÍA	TM102	TM103	HR101	PT101
1	15.6	7.2	77.0	9.6
2	15.2	5.4	78.0	3.4
3	15.4	5.8	75.0	7.1
4	14.8	7.0	75.0	0.5
5	16.6	3.6	62.0	0.1
6	14.0	6.6	76.0	1.7
7	15.8	4.0	63.0	0.1
8	15.2	7.0	75.0	0.1
9	16.0	6.8	67.0	0.1
10	17.0	4.0	60.0	0.0
11	16.8	6.2	55.0	0.0
12	14.4	7.2	70.0	1.5
13	14.6	6.4	71.0	20.8
14	16.6	6.2	71.0	3.5
15	14.8	6.6	73.0	4.0
16	13.2	7.0	81.0	13.5
17	15.8	6.2	69.0	0.0
18	14.6	7.2	74.0	0.0
19	16.6	4.4	66.0	0.0
20	17.4	4.2	69.0	1.6
21	16.0	4.8	65.0	10.3
22	15.8	6.2	71.0	0.3
23	15.0	8.0	67.0	8.4
24	16.0	7.0	71.0	4.0
25	15.6	7.0	75.0	1.8
26	14.8	6.4	71.0	2.6
27	17.2	5.4	65.0	0.1
28	16.8	6.8	64.0	0.0
29	16.2	7.0	74.0	4.3
30	15.2	6.2	77.0	5.6
31	12.6	6.0	81.0	1.3

HR 101:	HUMEDAD RELATIVA MEDIA DIARIA (%)
PT 101:	PRECIPITACIÓN TOTAL DIARIA (MM)
TM 102:	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA (° C)
TM 103:	TEMPERATURA MINIMA DIARIA (°C)



### ANEXO 15. Registro de precipitación abril

DÍA	ABRIL			
	TM102	TM103	HR101	PT101
1	15.2	7.2	66.0	4.4
2	15.8	6.8	64.0	10.4
3	16.4	6.0	71.0	12.6
4	15.2	7.4	67.0	4.1
5	14.8	6.8	71.0	0.3
6	17.2	7.0	63.0	0.5
7	17.0	7.6	60.0	0.8
8	14.8	5.6	72.0	1.1
9	15.8	6.0	67.0	4.2
10	15.6	7.2	71.0	0.0
11	17.2	6.8	70.0	19.7
12	16.4	5.2	71.0	0.0
13	15.8	5.0	75.0	9.6
14	14.8	6.8	74.0	6.8
15	13.4	5.2	87.0	7.8
16	14.4	4.6	77.0	1.2
17	15.2	6.0	73.0	0.0
18	15.6	5.6	65.0	0.0
19	16.0	6.6	64.0	17.0
20	14.8	6.4	74.0	4.1
21	16.2	7.0	74.0	1.3
22	16.4	6.4	69.0	2.4
23	17.0	7.4	78.0	4.0
24	17.2	5.4	64.0	0.0
25	16.4	6.6	66.0	0.0
26	14.8	6.6	80.0	1.7
27	15.4	5.8	58.0	1.0
28	15.8	6.6	72.0	2.8
29	16.8	6.2	63.0	0.0
30	16.4	7.0	58.0	0.0
31	15.2	4.8	57.0	0.0

HR 101:	HUMEDAD RELATIVA MEDIA DIARIA (%)
PT 101:	PRECIPITACIÓN TOTAL DIARIA (MM)
TM 102:	TEMPERATURA MAXIMA DIARIA (° C)
TM 103:	TEMPERATURA MINIMA DIARIA (°C)

## ANEXO 16. Fotografías de recolección de muestras de campo



**Figura 13.** Equipos para toma de muestras de agua: A. GPS B y C Equipos para análisis de calidad de agua D. Cooler para transporte de muestras de agua.



**Figura 14.** Proceso de recolección de muestras de suelos: A. Excavación de hoyo  
B. Embolsado de muestra C. Secado de muestras a T° ambiente.



**Figura 15.** Análisis microbiológico de suelos y agua: A. Aza de siembra B y C. Muestra de suelos a analizar D.E y F. Caldos de cultivo y agar G. Análisis de muestras H. Cultivo de muestras de suelo y I. Cultivo de muestra de agua.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA ACUÁTICA**

RESOLUCIÓN N° 2787-2017-R-UNA  
SUNEDU N°101-2017-SUNEDU/CD  
"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"



CONSTANCIA

EL QUE SUSCRIBE, JEFE DEL LABORATORIO DE ECOLOGÍA ACUÁTICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS - UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO.

**HACE CONSTAR:**

Que la Bachiller, **KAREN MAMANI CONDORI**, con DNI N° 72238839, egresada de la Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela Profesional de Biología - Programa de Ecología, de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, con código 140135, ha realizado su trabajo de investigación en el Laboratorio de Ecología Acuática titulado "**INFLUENCIA DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN ESPINAR EN LAS CONDICIONES FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LOS SUELOS DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO**", durante los meses de enero a diciembre del año 2022.

Se emite la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que se estime por conveniente.

Puno, 03 de noviembre del 2023



Alfredo Loza Del Carpio, D.Sc.  
Jefe, Laboratorio de Ecología Acuática



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo KAREN PATARI CONDORI  
identificado con DNI 72238839 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

DE BIOLOGIA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"INFLUENCIA DE LA LAGUNA DE OXIDACION ESPUMANTE EN LAS CONDICIONES FISICOQUIMICAS Y MICROBIOLOGICAS DE LOS SUELOS DE LA BAHIA INTERIOR DE PUNO"

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 08 de ENERO del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo KAREN PATARSI CONDORI  
identificado con DNI 72238839 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

DE BIOLOGIA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

" INFLUENCIA DE LA LAGUNA DE OXIDACION ESPUMAR  
EN LAS CONDICIONES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS  
DE LOS SUELOS DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 08 de ENERO del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella