

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN ECOLOGÍA**



**TESIS**

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS COLIFORMES Y  
PRESENCIA DE CADMIO Y PLOMO EN UN SISTEMA EXPERTO DE  
INFORMACIÓN DE LA LAGUNA ORURILLO, PROVINCIA DE MELGAR,  
REGIÓN PUNO**

**PRESENTADA POR:**

**SIMEÓN CONDORI QUIÑONEZ**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAGISTER SCIENTIAE EN ECOLOGÍA  
MENCION EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL**

**PUNO, PERÚ**

**2020**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN ECOLOGÍA



TESIS

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS COLIFORMES Y  
PRESENCIA DE CADMIO Y PLOMO EN UN SISTEMA EXPERTO DE  
INFORMACIÓN DE LA LAGUNA ORURILLO, PROVINCIA DE MELGAR,  
REGIÓN PUNO

PRESENTADA POR:

SIMEÓN CONDORI QUIÑONEZ

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGÍSTER SCIENTIAE EN ECOLOGÍA

MENCIÓN DE ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE

:

.....  
Dr. Edmundo Gerardo Moreno Terrazas

PRIMER MIEMBRO

:

.....  
M. Sc. Martha Elizabeth Aparicio Saavedra

SEGUNDO MIEMBRO

:

.....  
D. Sc. Martín Choque Yucra

ASESOR DE TESIS

:

.....  
D. Sc. Juan José Pauro Roque

Puno, 31 de enero del 2020

ÁREA: Ecología.

TEMA: Calidad de agua.

LÍNEA: Recursos Naturales y Medio Ambiente.

## DEDICATORIA

A toda mi familia. Para mis padres Honorio y Victoria Quiñonez, a ella que con su identidad maternal me dio a ver su sacrificio inalcanzable para con sus hijos, a mis hermanos cuyas personalidades son ejemplares. Me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.

A todas las personas que incentivan a sus prójimos que hagan esfuerzo, entrega, compromiso y dedicación en contribución con nuestra sociedad.

## AGRADECIMIENTOS

- A La Universidad Nacional del Altiplano de Puno, alma mater de Ciencia y Tecnología.
- Al Dr. Juan José Pauro Roque por disponer su tiempo y capacidad para asesorarme en esta investigación de Línea de Recursos Naturales y Medio Ambiente.
- A mi presidente y miembros del jurado de tesis, por saber encaminarme y darme seguridad para la realización de esta investigación.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
1.1. Marco teórico	2
1.1.1 Laguna Orurillo	2
1.1.2 Calidad de Agua	3
1.1.3 Contaminación por fuentes industriales minerales, agrícolas y domiciliarias en américa latina	7
1.1.4 Gestión Ambiental	8
1.1.5 Monitoreo Ambiental del Agua	8
1.1.6 Sistemas expertos de información	10
1.2 Antecedentes	12
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
2.1 Identificación del problema	19
2.2 Enunciados del problema	20
2.3 Justificación	20
2.4 Objetivos	21
2.4.1 Objetivo general	21
2.4.2 Objetivos específicos	21
2.5 Hipótesis	22
2.5.1 Hipótesis general	22
2.5.2 Hipótesis específicas	22

## CAPÍTULO III

## MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio	23
3.2 Población	24
3.3 Muestra	24
3.4 Método de investigación	25
3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	25

## CAPÍTULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, nitritos, nitratos, cloruros y sulfatos en el agua de la laguna Orurillo.	33
4.2 Niveles de coliformes termotolerantes en agua de la laguna Orurillo	54
4.3 Presencia de cadmio y plomo en agua de la laguna Orurillo.	56
4.4 Implementación de un Sistema Experto de Información para la evaluación de la calidad del agua de la laguna Orurillo.	62
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	77

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Valores de los parámetros fisicoquímicos de la laguna Orurillo	3
2. Efectos de la variación de los parámetros fisicoquímicos en un ecosistema	5
3. Ventajas de la evaluación fisicoquímica y biológica de ecosistemas acuáticos	7
4. ECA de agua para la conservación del ambiente acuático (Categoría 4)	9
5. Valores de pH de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 m y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019	33
6. Valores de conductividad eléctrica (mS/cm) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019	36
7. Valores de alcalinidad (mg/l) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019	39
8. Valores de cloruros (mg/l) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019	42
9. Valores de nitritos (mg/l) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019	45
10. Valores de Nitratos (mg/l) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019	46
11. Valores de sulfatos (mg/l) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019	51
12. Recuento de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019	54
13. Contenido de cadmio – Cd (mg/l) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019	57
14. Contenido de plomo – Pb (mg/l) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Elementos de un sistema experto (López, 2011)	12
2. Puntos de muestreo de agua en la laguna Orurillo (PM-1: a 50 m; PM-2: a 100 m; PM-3: a 200 m del vertimiento de agua; y PM-4: origen de tributarios aguas abajo)	24
3. Valores de pH en agua de la laguna Orurillo en diferentes ubicaciones de muestreo, marzo y julio 2019	34
4. Prueba de Tukey de los valores de pH en agua de la laguna Orurillo en diferentes ubicaciones de muestreo, marzo y julio 2019	35
5. Valores de conductividad en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019	37
6. Prueba de Tukey para los valores de conductividad eléctrica en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019	38
7. Valores de alcalinidad en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019	40
8. Prueba de Tukey para los valores de alcalinidad total en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019	41
9. Valores de cloruros en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019	43
10. Prueba de Tukey para los valores de cloruros en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019	43
11. Valores de nitritos en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo marzo y julio 2019	46
12. Valores de nitratos en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019	47
13. Prueba de Tukey para los valores de nitratos en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019	48
14. Valores de sulfatos en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019	51
15. Prueba de Tukey para los valores de sulfatos en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019	52

<b>16.</b> Recuentos de coliformes termotolerantes en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019	55
<b>17.</b> Prueba de Tukey para los recuentos de coliformes termotolerantes en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019	55
<b>18.</b> Contenido de cadmio en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019	57
<b>19.</b> Contenido de plomo en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019	58
<b>20.</b> Prueba de Tukey para los contenidos de plomo en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019	59

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Análisis de varianza y prueba de Tukey de los valores de pH en cuatro ubicaciones de muestreo en la laguna de Orurillo	77
2. Análisis de varianza y prueba de Tukey de los valores de conductividad eléctrica en cuatro ubicaciones de muestreo en la laguna de Orurillo	77
3. Análisis de varianza y prueba de Tukey de los valores de alcalinidad en cuatro ubicaciones de muestreo en la laguna de Orurillo	77
4. Análisis de varianza y prueba de Tukey de los valores de cloruros en cuatro ubicaciones de muestreo en la laguna de Orurillo	78
5. Análisis de varianza y prueba de Tukey de los valores de nitratos en cuatro ubicaciones de muestreo en la laguna de Orurillo	78
6. Análisis de varianza y prueba de Tukey de los valores de sulfatos en cuatro ubicaciones de muestreo en la laguna de Orurillo	79
7. Análisis de varianza y prueba de Tukey de los recuentos de coliformes termotolerantes en cuatro ubicaciones de muestreo en la laguna de Orurillo	79
8. Análisis de varianza y prueba de Tukey de los contenidos de plomo en cuatro ubicaciones de muestreo en la laguna de Orurillo	80
9. Galería de fotografías del trabajo de investigación	80

## RESUMEN

Los objetivos de la investigación fueron determinar el pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, nitritos, nitratos, cloruros y sulfatos, establecer los niveles de coliformes termotolerantes, comprobar la presencia de cadmio y plomo en el agua de la laguna Orurillo y evaluar la implementación de un Sistema Experto de Información para la evaluación de la calidad del agua de la laguna Orurillo. La metodología se tomaron muestras de agua en cuatro puntos a 50, 100 y 200 m y a la salida de la laguna, según el D. S. No. 031-2010-SA del MINSA, se determinó el pH, conductividad eléctrica, mediante el método electrométrico, alcalinidad y cloruros mediante titulometría, nitritos y nitratos mediante colorimetría, los sulfatos se midieron mediante el método espectrofotométrico, las coliformes termotolerantes mediante el Número Más Probable y Cd y Pb mediante el método espectrofotométrico. Los resultados fueron el agua estudiada tuvo el pH de 7.68 a 8.02, conductividad eléctrica de 2.279 a 4.576 mS/cm, alcalinidad de 92.09 a 136.19 mg/l, cloruros de 91.15 a 224.19 mg/l, nitritos todos con 0.03 mg/l, nitratos de 0.04 a 0.40 mg/l, sulfatos de 1019.91 a 1719.75 mg/l, los niveles de coliformes termotolerantes de 31 a 982.50 NMP/100 ml, cadmio y plomo de 0.002 mg/l y 0.01 a 0.014 mg/l respectivamente. De acuerdo al lenguaje de programación PROLOG resultó que el agua sobrepasa los ECAs. Se concluye que las muestras de agua de la laguna Orurillo no son aptas para la conservación de ambientes acuáticos, según el PROLOG, se insta a mejorar la política acuática ambiental.

**Palabras clave:** cadmio, laguna Orurillo, coliformes termotolerantes, parámetros fisicoquímicos, plomo.

## ABSTRACT

The objectives of the research were to determine the pH, electrical conductivity, alkalinity, nitrites, nitrates, chlorides and sulfato, establish the levels of thermotolerant coliforms, to measure on cadmium and lead in the water of the Orurillo lagoon and to evaluate the implementation of. Expert Information System for the evaluation of the water quality of the Orurillo lagoon. Int the methodology we took water samples at four points: 50, 100 and 200 m and at the exit of the lagoon. According to the DS No. 031-2010-SA of the MINSA, the pH, electrical conductivity were determined, using the electrometric method, alkalinity and chlorides by titulometry, nitrites and nitrates by colorimetry, the sulfates were measured by the spectrophotometric method, the thermotolerant coliforms by the Most Probable Number and Cd and Pb by the spectrophotometric method. The results were the water studied had a pH of 7.68 to 8.02, electrical conductivity of 2.279 to 4.576 mS/cm, alkalinity of 92.09 to 136.19 mg/l, chlorides of 91.15 to 224.19 mg/l, all nitrites with 0.03 mg/l, nitrates of 0.04 to 0.40 mg/l, sulfates of 1019.91 to 1719.75 mg/l, levels of thermotolerant coliforms of 31 to 982.50 NMP/100 ml, cadmium and lead of 0.002 mg/l and 0.01 to 0.014 mg/l respectively. According to the and language PROLOG programming resulted that water exceeding ECAs. It is concluded that the water samples of the Orurillo lagoon are not suitable for the conservation of aquatic environments, according to PROLOG, it is urged to improve the environmental aquatic policy.

**Keywords:** Cadmium, lead, Orurillo lagoon, physicochemical parameters, thermotolerant coliforms.

## INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista ecológico las fuentes de agua tales como los lagos, las lagunas y los ríos del Perú, deberían estar libres de contaminación por algún tipo de residuo, sin embargo toda ciudad produce su agua residual doméstica, producto de las actividades antrópicas cotidianas, las cuales vienen ingresando directamente a las fuentes de agua cercanas a las ciudades o localidades, trayendo consigo la alteración y muchas veces la alteración de su calidad en términos fisicoquímicos, bacteriológicos y metales pesados, en relación a las normas ambientales vigentes tales como Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, que aprueba los “Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias”.

En pueblos alejados como Orurillo, en la provincia de Melgar de la región Puno, los estudios ambientales de sus recursos acuáticos, son desconocidos o muy escasos, por lo que existe la necesidad imperiosa de conocer la situación real y actual con respecto a los parámetros fisicoquímicos, bacterianos y metales pesados, de la laguna Orurillo, donde dicha fuente de agua es utilizada no solo para la conservación de flora y fauna que habita en la zona, sino también ya que se constituye en una fuente de agua para el consumo humano, donde su calidad se pone en duda debido a la presencia de agua residual doméstica.

En tal sentido, se considera de vital importancia el conocer el estado actual de las características fisicoquímicas como: potencial de hidrogeniones - pH, conductividad eléctrica - C. E., temperatura - T°, alcalinidad - CaCO<sub>3</sub>, nitritos - NO<sub>2</sub>, nitratos - NO<sub>3</sub>, cloruros - Cl<sup>-</sup> y sulfatos - SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) y metales pesados (cadmio y plomo) de la laguna Orurillo. Con esta información se puede verificar si la calidad del agua cumple con la del agua establecido en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, en la categoría 4, conservación del medio acuático, y así las autoridades competentes tomen las medidas preventivas para el control de la contaminación, en ésta zona de la región Puno.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1. Marco teórico

##### 1.1.1 Laguna Orurillo

El distrito de Orurillo, está situado en la provincia de Melgar, Región Puno, siendo su fecha de creación como Villa el 3 de enero de 1879 y como Distrito el 14 de octubre de 1901. Se ubica entre las coordenadas: 14° 42' 51" Latitud Sur, 70° 30' 33" Longitud Oeste y a 3890 m de altitud (Venero y Tupayachi, 2012).

La laguna de Orurillo, posee un paisaje geográfico con unidades espaciales que se concreta en la observación, y que es el resultado de la combinación dinámica, por tanto, inestable, de elementos físicos, bióticos y antrópicos que interactuando dialécticamente los unos con los otros hacen del paisaje un conjunto único en constante evolución, algunos de los valores fisicoquímicos de la laguna Orurillo se presentan en la Tabla 1. Dicho ecosistema, sistema ecológico o geobiocenosis, comprende al conjunto de organismos, que actúan recíprocamente entre sí y con el ambiente que les rodea (Villamarín, 2008).

Tabla 1

*Valores de los parámetros fisicoquímicos de la laguna Orurillo.*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de Medición</b>	<b>Valor</b>
pH	Unidad	7.98
Acidez Total	mg/l	5.70
C.E	μS/cm	2597.50
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	1289.75
Alcalinidad Total	mg/l	133.50
Fe	mg/l	0.10
Pb	mg/l	0.00
Cu	mg/l	0.00
O.D.	mg/l	7.33
Calcio Ca	mg/l	235.40
Magnesio Mg	mg/l	19.53
Fosfatos HPO <sub>4</sub> =	mg/l	2.80
Cloruros	mg/l	447.00
Sulfatos	mg/l	1130.00
Nitratos	mg/l	0.03

Fuente: Guía de Aves y Flora Laguna Orurillo (Venero y Tupayachi, 2012).

### 1.1.2 Calidad de Agua

Un factor determinante en la frecuencia de muestreo, lo constituye la variabilidad de la composición fisicoquímico del agua, la cual a su vez está condicionada por factores geológicos, hidrológicos, biológicos, humanos, etc. Si la variabilidad es significativa durante el año, el muestreo debe ser más frecuente e incluso se puede requerir un registro

continuo para poder describir adecuadamente los parámetros de estudio. Si por el contrario la variabilidad es pequeña o poco significativa, la frecuencia se puede establecer en forma estacional o limitarse la misma a comprobaciones periódicas (Vera, 1996).

**Agua Residual.** Al respecto es fundamental establecer, cual es la importancia de los parámetros de calidad del agua residual urbana, que los caracterizan y cuáles son las posibles fuentes contaminantes que aumentan las concentraciones en los cuerpos de agua analizado (Olarte, 2006).

**Agua Continental.** Cuerpos de agua permanentes que se encuentran sobre o debajo de la superficie de la tierra (ANA, 2015).

**Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos.** Proceso que permite obtener la medición de la calidad de los cuerpos naturales del agua con el objetivo de realizar el seguimiento y control de la exposición de los contaminantes y su afectación a los diferentes usos de agua y a los ecosistemas acuáticos (ANA, 2015).

#### 1.1.2.1 Parámetros Físicos

**Temperatura:** Normalmente, las medidas pueden hacerse con un termómetro Celsius (centígrado) con columna de mercurio, el cual mínimo debe tener escala marcada cada  $0.1^{\circ}\text{C}$ . Para prevenir rupturas en labores de campo, se recomienda un termómetro con cazoleta protectora (Andreis, 2003).

**Conductividad (C. E.):** La conductividad es el inverso de la resistencia eléctrica, por lo tanto, sus unidades son los mhos, donde  $1 \text{ mho} = 1/1 \text{ ohm}$ . En reportes de laboratorio suele presentarse en micromhos o microsiemens (mS) (1 micromho es igual a un microsiemens) en Sistema Internacional. La conductividad varía directamente proporcional con el aumento de minerales disueltos (Garzon, 1999).

**Potencial de iones hidrógeno (pH):** La actividad del ión hidrógeno puede afectar directa o indirectamente la actividad de otros constituyentes presentes en el agua, la medida del potencial de hidrogeniones (pH) constituye un parámetro de importancia para la descripción de los sistemas biológicos y químicos del agua natural (Mejía, 2005).

### 1.1.2.2 Descripción de parámetros fisicoquímicos y metales del agua

A continuación, en la Tabla 2, se presentan los efectos que originan los parámetros fisicoquímicos en un ecosistema.

Tabla 2

*Efectos de la variación de los parámetros fisicoquímicos en un ecosistema.*

<b>Físico</b>		
N°	Parámetro	Descripción
1	pH	Origina cambios en la fauna y la flora de los cuerpos de agua. Ejerce influencia sobre la toxicidad de ciertos compuestos, como el amoníaco, metales pesados, hidrogeno sulfurado, etc.
2	Conductividad	Se mide en $\mu\text{mhos/cm}$ o $\mu\text{S/cm}$ . Indica la presencia de sales en forma ionizada, como los cloruros o iones de sodio, carbonatos, etc. Permite establecer relaciones e interpretación de resultados con los sólidos en las descargas o cuerpos de agua. Es la mejor medida indirecta de la salinidad, ya que, por otros métodos, se torna engorroso e impreciso. Mediante el establecimiento de relaciones empíricas de la conductividad en soluciones estándar, posibilita resultados más rápidos y funcionales.
3	Temperatura	Las variaciones de este parámetro en las corrientes de agua generan un cambio en el ambiente de desarrollo de la fauna y la flora presente en él; elevan el potencial tóxico de ciertas sustancias disueltas en el agua y originan la disminución del oxígeno disuelto, lo que conduce a condiciones anaeróbicas de la corriente.
<b>Químicos Básicos</b>		
4	Alcalinidad	Estos parámetros no pueden considerarse como contaminantes directos o específicos, sino como una medida de los efectos de la combinación de sustancias asociadas a los carbonatos y bicarbonatos. Debido a las variaciones que producen en el pH se generan reacciones secundarias rompiendo el ciclo ecológico en un cuerpo de agua. Ellos se expresan como la concentración de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

- |   |             |   |
|---|-------------|---|
| 5 | Cloruros    | Son una medida indirecta de contaminación de origen orgánico humano, así como de la presencia de sales ionizables   |
| 6 | Bicarbonato | La presencia de carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) influye en la dureza y alcalinidad del agua. El componente inorgánico de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se origina en la atmósfera y también un producto la respiración biológica. La erosión de las rocas contribuye con sales de carbonato y bicarbonato.  |
| 7 | Nitratos    | Este parámetro presente en el agua puede causar metahemoglobina (color azul de la piel) en los infantes alimentados con leche preparada. La enfermedad es producida por reducción de los nitratos a nitritos dentro del sistema digestivo de estos niños.   |
| 8 | Nitritos    | En agua superficial cruda, las huellas de nitrito indican contaminación. Debido a que el nitrito es formador de ácido nitroso en solución ácida, cuya mezcla con aminas secundarias forma las nitroso-aminas (cancerígenas), debe tener un cuidadoso control.   |
| 9 | Sulfatos    | Los sulfatos, al mezclarse con iones de calcio y magnesio en agua de consumo humano, producen un efecto laxante. En agua residual al entrar en contacto con el concreto inducen la formación de cristales de sulfato aluminato que originan una expansión del material que destruye su textura. Bajo la acción de bacterias anaerobias los reducen hasta la formación de sulfuros, que luego en condiciones aeróbicas favorecen la formación de ácido sulfúrico, con los problemas de olor y corrosión asociados a estos componentes. |

---

#### Metales Pesados

---

- |    |        |   |
|----|--------|---|
| 10 | Cadmio | Es especialmente peligroso ya que se puede combinar con otras sustancias tóxicas. Afecta principalmente a los micromoluscos (no se desarrolla en la concha). Produce graves enfermedades cardiovasculares en el hombre, además, es un irritante gastrointestinal. |
|----|--------|---|

- 11 Plomo Compuesto tóxico acumulativo en el cuerpo humano. Produce una variedad de síntomas en los tejidos vulnerables. Cuando el agua está contaminada con sales de plomo, se les forma a los peces una película mucosa coagulante, primero sobre las agallas y luego, sobre todo, el cuerpo, causándoles sofocación.

Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2011).

### 1.1.3 Contaminación por fuentes industriales minerales, agrícolas y domiciliarias en américa latina

Dada la importancia fundamental de los recursos hídricos para todas las comunidades humanas, es natural que surjan conflictos respecto al acceso, la distribución, el desarrollo y la gestión del recurso. No obstante, también es evidente que la necesidad, además de ser la madre de la invención, también es la base de muchas actividades de cooperación en relación con la gestión de los recursos hídricos (Swatuk y Mengiste, 2008).

#### 1.1.3.1 Índices de calidad con base en las características fisicoquímicas del agua

En la Tabla 3, se mencionan las ventajas de la evaluación fisicoquímica y biológica de ecosistemas acuáticos.

Tabla 3

*Ventajas de la evaluación fisicoquímica y biológica de ecosistemas acuáticos.*

Evaluación fisicoquímica	Evaluación biológica
Ventajas	
Cambios temporales detallados	Integración espacial y temporal
Determinación precisa de los contaminantes	Respuesta a la contaminación crónica
Se pueden saber los flujos de contaminantes	Respuesta a la contaminación puntual
Uso en agua subterránea	Posible estudiar bioacumulación
Fácil estandarización	Estudios en tiempo real (bioensayos)
	Medida de la degradación del hábitat

Fuente: Elaboración propia (Sierra y Ramírez, 2011).

## **1.1.4 Gestión Ambiental**

### **1.1.4.1 Visión General del Medio Ambiente**

La planificación de la gestión debe ser considerada como un proceso continuo a largo plazo. La planificación debe comenzar con un plan de gestión mínimo que satisfaga - hasta el punto que nos permitan los recursos – los requerimientos del sitio y de la organización responsable de la gestión. Es importante señalar que el plan crecerá según la información disponible, para ello es necesario. Identificar los objetivos del área gestionada, Identificar los factores que afectan, o pueden afectar el medio, Resolver conflictos, Definir los criterios de seguimiento, Mantener la continuidad en la gestión efectiva, obtener recursos, Permitir la comunicación entre las diferentes áreas, organizaciones, y grupos de interés, Asegurar la conformidad de las acciones con las políticas locales, nacionales, e internacionales (Clark y Bloch, 2004).

En cuanto corresponde al agua la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) definió como un proceso sistemático para el desarrollo sostenible, la distribución y el control del uso de los recursos hídricos en el contexto de objetivos sociales, económicos y ambientales. Esto implica considerar los distintos usos de los recursos hídricos como un todo, tomando en cuenta la amplia gama de necesidades hídricas humanas. Las decisiones sobre la distribución y la gestión del agua deben tener en cuenta uno de los demás, así como los objetivos sociales, económicos y ambientales generales (Swatuk y Jembere, 2008).

### **1.1.5 Monitoreo Ambiental del Agua**

El monitoreo orientado a la evaluación de la calidad de los recursos hídricos conlleva un diagnóstico de su estado a través de la evaluación de indicadores químico-físicos de la calidad del agua, obtenidos a través de mediciones y observaciones sistemáticas de las variables de agua continental. Estas mediciones se desarrollan a través de una metodología y procedimientos estandarizados establecidos en el protocolo de monitoreo. La aplicación de estos procedimientos permite minimizar errores y garantizar la generación de datos e información consistente y confiable (ANA, 2015).

**1.1.5.1 Características del agua a medir** (Serrano y Martínez, 2006).

- Temperatura: expresa el grado de calor de agua. Existen relaciones entre temperatura, conductividad y pH del agua. Unidad del Sistema Internacional kelvin (K).
- Conductividad: propiedad de transmitir el calor o la electricidad. Unidad en el Sistema Internacional: Siemens por metro (S/m).
- pH: Expresa el grado de acidez o alcalinidad de una solución. De 0 a 7 se dice que la solución es acida, de 7 a 14 se dice que la solución es básica. No tiene unidad.
- Cloro: su presencia según su concentración, provoca olor y sabor al agua.

El Decreto Supremo No. 004-2017-MINAM, señalan los siguientes valores referenciales para muestras de agua para la conservación del ambiente acuático, clasificado en la categoría 4 (Tabla 4).

Tabla 4

*ECA de agua para la conservación del ambiente acuático (Categoría 4).*

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos
pH	Unidad de pH	6.5 a 9.0
Conductividad eléctrica	μS/cm	1000
Alcalinidad *	mg/l	20
Cloruros *	mg/l	500
Nitritos *	mg/l	10
Nitratos	mg/l	13
Sulfatos *	mg/l	1000
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1000
Cadmio	mg/l	0.00025
Plomo	mg/l	0.0025

\* ECAs de agua para riego de plantas.

Fuente: D. S. 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental para agua.

### 1.1.6 Sistemas expertos de información

Los sistemas expertos son máquinas que piensan y razonan como un experto lo haría en una cierta especialidad o campo. Por ejemplo, un sistema experto en diagnóstico médico requeriría como datos los síntomas del paciente, los resultados de análisis clínicos y otros hechos relevantes, y, utilizando éstos, buscaría en una base de datos la información necesaria para poder identificar la correspondiente enfermedad. Un Sistema Experto de verdad, no sólo realiza las funciones tradicionales de manejar grandes cantidades de datos, sino que también manipula esos datos de forma tal que el resultado sea inteligible y tenga significado para responder a preguntas incluso no completamente especificadas (Stevens, 1984).

Un sistema experto se define como un sistema informático el cual se encuentra compuesto por hardware y software, los cuales tienen la capacidad de simular a los expertos humanos, en determinada área de especialización (Durkin, 1994). A pesar de que tanto el desarrollo como la adquisición de un sistema experto es relativamente caro, con la adquisición de uno cualquiera que se necesite para el buen funcionamiento de determinada empresa, se puede tener un ahorro a tiempo futuro, ya que el tratamiento y el su uso constante resulta ser más económico (Figura 1). De igual forma, con el uso de sistemas expertos se obtienen ganancias muy altas en términos monetarios, tiempo, y precisión, así como también la amortización resulta ser muy rápida. Aun así, es aconsejable realizar un análisis de factibilidad y de costo-beneficio antes de adquirir o desarrollar un sistema experto. Existen varias razones de peso que explican por qué usar sistemas expertos tiene sus ventajas. Entre ellas están:

- a. Un sistema experto permite que un problema complejo, pueda ser resuelto por personas con poca experiencia en el tema. Es esta una ventaja para aquellas empresas que cuenta con poco personal experto en determinadas áreas. Por lo tanto, se puede deducir que con el uso de los sistemas expertos aumenta el número de personas con acceso al conocimiento.
- b. En un sistema experto es posible reunir y combinar el conocimiento de varios expertos humanos lo cual conlleva a tener sistemas expertos más confiables, puesto que son sistemas expertos que utilizan la inteligencia y la sabiduría de varios expertos humanos en vez del de solo uno.

- c. Una gran ventaja de los sistemas expertos es que su tiempo de respuesta es más corto que el de un experto humano, ya que puede resolver problemas y dar respuesta a preguntas en un corto tiempo, menor al que tardaría una persona, aunque sea muy experta en el tema. Es esta cualidad la que los hace más valiosos en circunstancias donde el tiempo de respuesta es un factor crítico.
- d. Dependiendo del grado de complejidad de determinado problema es posible o no resolverlo por un experto humano. Es aquí donde se puede notar la importancia de los sistemas expertos, ya que, aprovechando la evolución tecnológica, estos usan herramientas de cómputo para procesar gran cantidad de operaciones complejas de forma rápida y acertada, suministrando respuestas confiables en situaciones en las que los expertos humanos podrían tener dificultades.
- e. Es posible usar sistemas expertos para la solución de problemas monótonos en medios en los cuales los expertos humanos se sienten aburridos e incómodos. La verdad es que un sistema experto es la única solución a problemas donde la tarea a realizar desborda al ser humano. Por ejemplo, un avión dirigido por un sistema experto.
- f. Por medio de un sistema experto, es posible obtener un ahorro tanto económico como en el tiempo requerido para la solución de determinado problema (Bachman *et al.*, 1991). El uso de los sistemas expertos es recomendado en diversas situaciones, entre ellas están las siguientes:
  - Cuando el experto humano no cuenta con el conocimiento, o cuando dicho conocimiento es basado en reglas las cuales requiere de la experiencia para poder ser aprendidas.
  - Cuando el problema depende de reglas que se encuentran en constante cambio.
  - Cuando la mejora continua del conocimiento es lo esencial para una organización.
  - Cuando no se cuenta con cantidad suficiente de expertos humanos.
  - Cuando contratar expertos humanos es demasiado costoso.
  - Cuando no se tiene el conocimiento suficiente sobre el problema que se pretende solucionar (Andersen *et al.*, 1989).

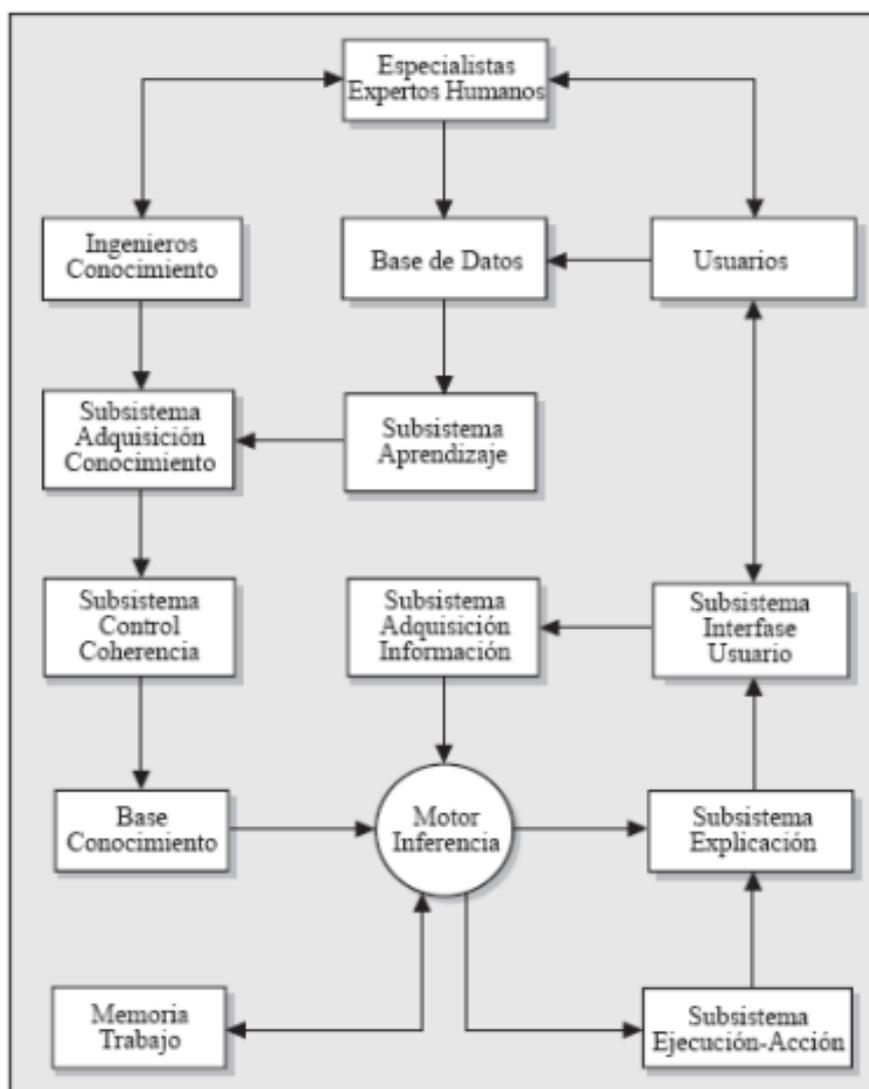


Figura 1. Elementos de un sistema experto (López, 2011).

## 1.2 Antecedentes

Al saber que el exceso de minerales tóxicos y la producción de ácidos provenientes de rocas mineralizadas y desechos mineros tienen la capacidad de deteriorar la calidad de agua. En Challhuancho, Apurímac en su potencial hídrico e hidrológico se encontraron las concentraciones de potencial de hidrogeniones – pH (puntos 1, 2, 3, 4 es 8.51, 8.29, 8.44, 7.46 respectivamente), temperatura °C (puntos 1,2,3,4 es 13.1, 12.1, 12.6, 12.7 respectivamente), conductividad  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (puntos 1, 2, 3, 4 es 90.7, 342, 114.5, 155.1 respectivamente) y nitrato  $\text{mg}/\text{L}$  (puntos 1, 2, 3, 4 es 0.305, 15.467, 0.987, 0.678 respectivamente), se encontraron por debajo de los valores límites de los ECAs – Agua a excepción de la concentración de nitratos en el punto de monitoreo 2 (Zevallos, 2018).

En Cota Cota Bolivia. El peligro de tener agua con elevada concentración de sodio se debe a que este elemento considerado tóxico es responsable de la impermeabilización de los suelos, especialmente en zonas donde el drenaje es deficiente. Sólo sus efectos quedan contrarrestados cuando las concentraciones de calcio y magnesio son importantes. La OPS/OMS establece que el límite de sodio en el agua superficial es de 300 mg/l, a partir de dicha concentración se generan problemas en los cultivos, cuyo valor es 300 mg/l para riego, 200 mg/l para animal y 120 mg/l para consumo humano mientras que el reglamento de la ley 1333 de MDSMA (1995). Indica que los valores máximos para cuerpos receptores clase A y B es de 200 mg/l. Los valores en tanque humedal 142.15 mg/l y en seco 63.74 mg/l indican que las concentraciones de sodio en todas las muestras de agua analizada están por debajo del límite de peligro (Mamani, 2016).

En Perú, los índices de calidad se han aplicado, a nivel de sistemas lenticos, principalmente en el lago Titicaca El resto de lagos, lagunas y humedales del país no han sido monitoreados en estudios de importancia, y no es ajena a esta realidad en la laguna los Milagros (Tingo María, Perú), pese a ello, los valores obtenidos para nitratos totales no se encontraron por encima del rango permisible establecido por los ECAs ya que en ninguna de las cuatro estaciones superaron los 10 mg/l, determinados por los estándares como límite máximo en la categoría 1 (Poblacional y Recreacional). También se muestran los valores promedios de temperatura medidos, los cuales siguen una tendencia similar en cada una de las cuatro estaciones de muestreo (Pérez y Álvarez, 2016).

En la ciudad de Chucuito Juli con la finalidad de desarrollar una aplicación de sistema experto de fallas para el área de redes de área local para diagnosticar algunos procesos cotidianos que se llevan a cabo en la institución, optimizando así la gestión administrativa e institucional, se llevó a cabo el diagnóstico de fallas en networking el cual se realizó y diseñó el mencionado aplicación para el diagnóstico de fallas soporte de operaciones en el área de networking, dicho proceso de razonamiento que se utilizó se basó en los datos (forward chaining) en el motor de inferencia y la implementamos en el lenguaje de programación de inteligencia artificial Visual Prolog y en la cual se diseña nuestra interfaz muy amigable con la ayuda de usuarios y administradores de redes, incluyendo un módulo explicativo, tipo tutor para que cualquier persona con conocimientos básicos pueda utilizar este prototipo (Calisaya, 2016).

El parámetro pH se entiende, cuando el número de iones Hidrógeno ( $H^+$ ), exceden al número de iones Hidróxidos ( $OH^-$ ), la sustancia es ácida y cuando el número de iones Hidrógeno ( $H^+$ ), es igual al número de iones Hidróxidos ( $OH^-$ ), la sustancia es neutra. El proyecto de investigación desarrollado en el lago Morona Cocha, reporta valores en las tres estaciones monitoreadas, como sigue: en verano (pH=6.0; 5.8 y 5.9); en media creciente (pH=6.66; 6.62 y 7.67); en creciente (pH=7.67; 7.53 y 7.33). De tal forma, que, en la estación de verano, el pH, se halla por debajo de los LMP o ligeramente ácido y en las estaciones de media creciente y creciente o estación lluviosa, el pH, se encuentran dentro los LMP: pH = 6.5-9.0 (D.S. 015-2015-MINAM). Entendiéndose, como, ligeramente básico (Pezo y Calderón, 2016).

En agua de los lagos andino patagónicos, las concentraciones de cloruro son generalmente inferiores a 10 mg/l y, a veces menos de 2 mg/l. Como los cloruros con frecuencia se asocian con el agua residual, se incorpora a menudo su concentración como indicador de la posible contaminación fecal o como una medida de la extensión de la dispersión de las descargas de agua residual en cuerpos de agua. Los valores de cloruros en el lago argentino fueron también bajos, comprendidos entre 4.1 mg/l y 7 mg/l (Kirchner y Cepernic, 2015).

Los cuerpos de agua en Turbaco, Colombia en cuanto al contenido de dureza total encontrado, todas las estaciones son aptas para consumo humano, no obstante, con base en la dureza analizada en el laboratorio se obtuvieron valores asociados a cada estación de los niveles de calcio y magnesio, revelando que la estación nueve (E9) excede en 225.80 los límites de magnesio que permite la legislación vigente. Así mismo por cada estación se relacionó la concentración de cloruros arrojada, observándose un cambio brusco de la estación 1 a la 2, el 2 = 66.98 y de la estación 3 a la 4, el 4 = 67.98, es decir, que las concentraciones más bajas correspondieron a las estaciones 1, 3, 5, 6, 7 y 8 11.00, 9.50, 10.00, 8.75, 9.00 y 9.50 respectivamente (Petro y Wees, 2014).

En el monitoreo ecológico y limnológico de la laguna Lagunillas, Lampa las concentraciones de alcalinidad total expresado en  $CaCO_3$  mostraron tendencias fluctuantes, en superficie presentó una media de 116.3 mg/l y en columna de agua hasta 40 m denotó ligera dispersión ( $x = 122.1$  mg/l). La dureza total en superficie presentó una media de 156.7 mg/l y la distribución vertical fue ligeramente oscilante ( $x = 152.2$  mg/l); indican aguas medianamente

duras la totalidad de bases se presentaron en forma de bicarbonatos, probablemente a una leve meteorización geológica (IMARPE y PELT, 2015).

La conductividad eléctrica (CE) en Loriscota, laguna sólo con entrada de tributarios y con una gran superficie de evaporación, alcanza más de 15,000 mS/cm. Vizcachas, que se abastece la mayor parte del año únicamente por agua del subsuelo tiene valores de CE > 1000 uS/cm. Las lagunas con entrada y salida continua o que tiene aporte permanente de agua subterránea y ubicadas en zonas de escorrentía, muestran valores entre 200 y 600 uS/cm (Suches, Vilacota, Ancocota, y Ajuachaya). Las lagunas Caño y Loripongo formadas por filtraciones y ubicadas en áreas posiblemente no salinas, tienen una CE < 200 uS/cm. Laguna Arbola tiene una CE > 1500 uS/cm sin duda porque recibe el aporte de ríos que arrastran una cantidad apreciable de sales producto de la erosión y lixiviación de las zonas altas. La represa de Jaruma al estar ubicada en una zona de rocas graníticas y con flujo controlado de entrada y salida de agua tiene una CE < 200 uS/cm (Moreno, 2013).

De los 21 parámetros de calidad del agua analizados para cada uno de los sitios de estudio en la laguna de Yuriria para los periodos 2005 y 2009- 2010. En los periodos de estudio los parámetros indican que es un cuerpo de agua eutrofizado (Nitrógeno Total - NT > 2 mg/l y Fósforo Total FT > 0.300 mg/l para todos los sitios de estudio en el período 2005; NT > 1 mg/l y FT > 0.945 mg/l para todos los sitios del período 2009 - 2010) y mineralizado con altas concentraciones de carbonatos e hidróxidos, lo que se hace evidente por los altos valores de conductividad, dureza y alcalinidad; sin embargo, la dureza observada durante 2005 clasifica el agua de la laguna como levemente dura, mientras que para 2009 - 2010 el agua resultó ser moderadamente dura; la dureza fue significativamente mayor para el 2009-2010 ( $p < 0.05$ ). Para ambos periodos, la dureza fue mayor en el sitio 16 ( $p < 0.05$ ) (concentraciones altas de materia orgánica) (Carreón y Díaz, 2013).

Docentes de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, han realizado numerosos trabajos de campo y gabinete, han auscultado información después de haber realizado una ardua labor. Este documento fue fruto de la preocupación de la Gestión Municipal de Orurillo durante el periodo 2011 – 2014, cuyos resultados obtenidos fueron como sigue: física (organolépticas). Aspecto: agua transparente. Olor: no se percibe. Color aparente: azul verdoso. Alcalinidad: 133.50 mg/l. Calcio: 235.40 mg/l. Cloruros: 447.00 mg/l. pH: 7.98 unidad. Sulfato: 1130.00 mg/l. Nitratos: 0.3 mg/l. Plomo: 0.00 mg/l (Venero y Tupayachi, 2012).

La Convención sobre los Humedales realizada en Kampala (Uganda), en el 2005, estableció ocho indicadores de efectividad del monitoreo de humedales, dentro de los cuales se incluye el estudio de las tendencias en el estado de las poblaciones biogeográficas de aves acuáticas y de las tendencias en el estado de las aves dependientes de los humedales amenazadas mundialmente. Las aves de la laguna de estudio fueron observadas buscando alimento mientras recorrían los sectores de aguas someras, mientras nadaban y se zambullían, y mientras detectaban el alimento en vuelo o desde perchas. Un ambiente como esta laguna provee además refugio contra depredadores y sitios de anidación. Ya que la riqueza y abundancia de aves acuáticas que habitan un humedal depende de diversos factores como el régimen hidrológico, tamaño y heterogeneidad del sitio, y estructura de la vegetación (Fernández, 2009).

El Proyecto CHIRA-PIURA, División de Hidrometeorología, proporcionó datos de temperaturas y evaporación (medición en tanque), obtenidos en la estación Mallares (Estación Mallares; Latitud 04° 51' Longitud 80° 44' Altitud 80 msnm) desde el año 1972 hasta el año 2005. Para determinar el valor de la temperatura de diseño, primero se estableció el mes más frío con los datos de temperatura mínima media mensual que es 14 °C el cual se observa que el mes más frío corresponde al mes de agosto con 17 °C. Luego, sabiendo cuál es el mes el más frío, encontramos la temperatura promedio mensual que se muestra es 21.5° C (Ruesta, 2008).

La conductancia en lago Zempoala, México presentó valores de 16  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (mínimo) durante el mes de mayo y 197  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (máximo) en enero. Los valores de alcalinidad registrados durante este trabajo indican una tendencia a la dureza, ya que se obtuvieron valores mínimos de 13 mg/l en el mes de julio y 59 mg/l como máximo en diciembre. La dureza total indicó datos de 24 mg/l como mínimo y 90 mg/l como máximo, este parámetro fluctuó de manera similar a la alcalinidad. Los valores obtenidos mostraron que son aguas suaves a moderadamente duras. El ANDEVA determinó que no existen diferencias significativas entre las estaciones de muestreo ( $P < 0.05$ ) para estos seis parámetros (Vargas y Estudillo, 2005).

Los resultados de los análisis químicos del agua por comunidad de la microcuenca El Limón, Copan, Honduras, en cuanto a la alcalinidad fueron como sigue: El Transito 67.33, Tierra Blanca 115, El Rosario y Agua Zarca 70.85, Valle María 67.73, San Jerónimo 75.54. Estos resultados pueden confirmar que es una medida de su capacidad para neutralizar ácidos, capacidad de, evitar que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básico o ácido.

La alcalinidad estabiliza el agua en los niveles del pH alrededor de 7. Sin embargo, cuando la acidez es alta en el agua la alcalinidad disminuye, y puede causar condiciones dañinas para la vida acuática (Mejía, 2005).

En laguna Unamuno de Argentina el análisis de la temperatura del agua mostró que la columna de agua no posee estratificación térmica vertical debido a la escasa profundidad de la misma y a los efectos de la mezcla producida por el viento. La temperatura del agua varió entre 18 y 21 °C (entre estaciones) para las mediciones realizadas, en noviembre de 2003, en horas del mediodía. El momento del día en que fueron tomadas las muestras es importante debido a que la calidad del agua, en un cuerpo de escasa profundidad, varía según los horarios. En cuanto al contenido de sales, dado que se trata de un cuerpo de agua oligohalino resulta conveniente caracterizar a la laguna en términos de conductividad eléctrica y no de salinidad. De este modo, los valores hallados en la laguna fueron del orden de los 2.93 mS/cm aproximadamente, mientras que en el arroyo afluente se registraron sólo 0.85 mS/cm (Yael *et al.*, 2004).

La aplicación de las técnicas, principalmente las de inteligencia artificial, a la Clave para identificar Peces Marinos peruanos y al Catalogo comentado de peces marinos del Perú, ambos de IMARPE, que contienen información de las especies ícticas identificadas en el mar peruano, es posible capturar este conocimiento creando una base de conocimientos y codificarlo en Prolog y Clips obteniendo un sistema de software. Al codificar la base de conocimientos se innovará la forma de realizar los estudios en torno a la fauna acuática peruana, por lo tanto, el desarrollo metodológico de los investigadores de biodiversidad íctica ya no será el mismo, el paradigma cambiará ya que contará con más tiempo para evaluar los resultados (Vilchez, 2004).

El pH varía desde valores ligeramente alcalinos en las lagunas de Beleña, inferiores a 8 (excepto la laguna Grande en verano), hasta otros significativamente alcalinos, superiores a 8, más acusados en las salinas y en Ojo de Paredes (excepto en el año 1990) que en las lagunas cársticas. Los valores fuertemente alcalinos medidos durante el verano en la laguna Grande (9.18) y Rienda (9.68) se deben a la existencia de abundante vegetación acuática en ambas durante esa estación con el consiguiente aumento de la actividad fotosíntesis/respiración (Velasco y Rubio, 2002).

En la I cuenca del tajo (Guadalajara, España) al ocupar los cloruros el segundo lugar en vez de los sulfatos; este desplazamiento viene acompañado también por la aparición de

carbonatos, ausentes en primavera y por el incremento paralelo, hasta 9.18, del valor del pH. La laguna de Somolinos, también de agua dulce, aunque algo más mineralizada que las anteriores, pertenece al grupo de torcas que también es el más frecuente en este tipo de aguas (5-10 meq/l) de aniones y su secuencia de aniones coincide con las anteriores en el caso del perfil menos acentuado respecto a la continentalidad. En todo el grupo anterior de lagunas de agua dulce, la secuencia de cationes principales es:  $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++}$ , que también corresponde a aguas temporales y torcas como en el caso de los aniones (Velasco y Rubio, 2002).

Los valores de conductividad y alcalinidad indican una reserva alcalina moderada, ambos parámetros presentaron una clara variación temporal asociada a los cambios del nivel del agua de la laguna Blanca, Paraguay, los perfiles de oxígeno fueron ortógrados en la zona libre de plantas y clinógrados en la estación con plantas. No obstante, no se encontraron diferencias importantes entre superficie y fondo, a excepción de marzo (muestreo piloto) y abril (2000), cuando se registró un importante déficit de oxígeno en el fondo. La concentración de nitrógeno total fue baja a moderada, siendo las formas predominantes el nitrato o el amonio dependiendo del nivel del agua (Galledos y Rodríguez, 2001).

En la laguna recreacional del centro – Oeste de la provincia de Córdoba, Argentina. Los parámetros físicos se encontraron dentro de los límites admisibles considerados. A lo largo del año, de los aniones considerados, cloruros, sulfatos y bicarbonatos, los dominantes fueron estos últimos con un valor medio anual de 0.57 g/l, manteniéndose constantes los dos primeros. Los valores de pH y de OD tuvieron una media anual de 8.3 y 9.6. El promedio obtenido de la relación entre cationes bivalentes/monovalentes  $r(\text{Ca}+\text{Mg}/\text{Na}+\text{K})$  fue de 0.13. La relación  $r\text{Mg}/\text{Ca}$  si bien presentó variaciones siempre estuvo dentro del límite esperado para estas lagunas, encontrándose un promedio anual de 1.21 (Rodríguez *et al.*, 2001).

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Identificación del problema

La laguna de Orurillo, ubicada en la provincia de Melgar, se constituyen en las fuentes de agua y de bebida de animales en la localidad del mismo nombre y comunidades aledañas, asimismo son ecosistemas destinados a la conservación de ambiente acuático, ya que son hábitats de flora y fauna propia y migratoria de la zona, pero que en los últimos años vienen siendo amenazados debido al ingreso directo del agua residual doméstica de la localidad de Orurillo, hacia los mencionados cuerpos acuáticos, desconociéndose si existe la alteración de los parámetros fisicoquímicos, coliformes y metales; cadmio y plomo, asimismo se desea implementar un sistema experto para la predicción y simulación de alteraciones ambientales (PROLOG).

Es conocido que en la región Puno, muchas ciudades y localidades no poseen el tratamiento de agua residual doméstica, las cuales vienen vertiéndose hacia los cuerpos acuáticos contiguos, es el caso de la localidad de Orurillo, su agua residual se vierten a la laguna del mismo nombre, y toda agua residual es constituida por coliformes termotolerantes, elevados niveles de nitratos, nitritos, sulfatos, entre otros contaminantes, los cuales vendrían alterando los parámetros fisicoquímicos, bacterianos y metales pesados en la laguna.

Por otro lado, aguas abajo, la laguna Orurillo origina la formación de tributarios en épocas de lluvia para el uso de las comunidades aledañas, el cual viene siendo captado como fuente de agua para el consumo de los habitantes de la localidad del mismo nombre, y se desconoce si el ingreso de agua residual afectaría tanto el agua de la laguna Orurillo y por

ende su calidad fisicoquímica, bacteriana y metales pesados a diferentes distancias del punto de contaminación por agua residual de la localidad de Orurillo.

A dicha presencia de contaminantes se desea implementar un sistema experto para predecir y simular el proceso de contaminación y así evitar alteraciones futuras, sus resultados serán motivo de exposición al finalizar la investigación para determinar su eficacia. En tal sentido se plantearon las siguientes interrogantes:

## 2.2 Enunciados del problema

### Interrogante general:

¿Cuál será la condición fisicoquímica, bacteriológica y presencia de metales (cadmio y plomo) en la laguna Orurillo?

### Interrogantes específicas:

- ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos del agua de la laguna de Orurillo?
- ¿Cuáles son los niveles de coliformes termotolerantes en el agua de la laguna Orurillo?
- ¿Cuál es la presencia de cadmio y plomo en el agua de la laguna Orurillo?
- ¿Es factible la implementación de un sistema experto de información para la evaluación de la calidad del agua de la laguna Orurillo?

## 2.3 Justificación

Desde el punto de vista ecológico las fuentes de agua tales como los lagos, las lagunas y los ríos del Perú, deberían estar libres de contaminación por algún tipo de residuo, pero toda ciudad produce su agua residual doméstica, producto de las actividades antrópicas cotidianas, las cuales vienen ingresando directamente a las fuentes de agua cercadas a las ciudades o localidades, trayendo consigo la alteración y muchas la elevación de los valores de los parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y metales pesados, emanados en normas ambientales vigentes tales como la “Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias, Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM”.

En pueblos alejados como Orurillo, en la provincia de Melgar de la región Puno, los estudios ambientales de sus recursos acuáticos, son desconocidos o muy escasos, por lo

que existe la necesidad imperiosa de conocer la situación real y actual con respecto a los parámetros fisicoquímicos, bacterianos y metales pesados, de la laguna Orurillo, donde dicha fuente de agua es utilizada no solo para la conservación de flora y fauna que habita en la zona, sino también ya que se constituye en una fuente de agua para el consumo humano, donde su calidad se pone en duda debido a la presencia de agua residual doméstica.

En tal sentido, se considera de vital importancia el conocer el estado actual de las características fisicoquímicas (pH, conductividad eléctrica, temperatura, alcalinidad, nitritos, nitratos, cloruros y sulfatos), bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) y metales pesados (cadmio y plomo) de la laguna Orurillo, y verificar si cumplen con la norma vigente el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, en su categoría 1, subcategoría A, Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, y la categoría 4, conservación del medio acuático, y así las autoridades competentes tomen las medidas preventivas para el incremento de la contaminación, en ésta zona de la región Puno.

## **2.4 Objetivos**

### **2.4.1 Objetivo general**

Determinar la condición fisicoquímica, bacteriológica y presencia de metales (cadmio y plomo) en la laguna Orurillo.

### **2.4.2 Objetivos específicos**

- a. Determinar el pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, nitritos, nitratos, cloruros y sulfatos en agua de la laguna Orurillo.
- b. Establecer si los niveles de coliformes termotolerantes en agua de la laguna Orurillo.
- c. Comprobar la presencia de cadmio y plomo en el agua de la laguna Orurillo.
- d. Evaluar la implementación de un Sistema Experto de Información para la evaluación de la calidad del agua de la laguna Orurillo.

## 2.5 Hipótesis

### 2.5.1 Hipótesis general

La condición fisicoquímica, bacteriológica y presencia de metales (cadmio y plomo) en la laguna Orurillo se encuentran alteradas con respecto a las normas ambientales vigentes.

### 2.5.2 Hipótesis específicas

- a. Los parámetros fisicoquímicos de temperatura, pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, nitritos, nitratos, cloruros y sulfatos en el agua de la laguna Orurillo, superan los valores permisibles del D. S. 004-2017-MINAM de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua, categoría 4.
- b. Los niveles de coliformes termotolerantes en el agua de la laguna Orurillo, sobrepasan los valores permisibles del D. S. 004-2017-MINAM de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua, categoría 4.
- c. La presencia de cadmio y plomo en agua de la laguna Orurillo, varía según el punto de muestreo y exceden los valores permisibles del D. S. 004-2017-MINAM de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua, categoría 4.
- d. La implementación de un sistema experto de información evaluará la calidad del agua de la laguna Orurillo

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de estudio

La laguna Orurillo está ubicada en el distrito de Orurillo, provincia de Meglar, Región Puno, comprende una de las reservas de agua más importantes que abastece principalmente en su desarrollo económico, posee una población de 7651 habitantes al año 2017, cuya fuente de agua lo constituyen los pozos subterráneos, se encuentra entre las coordenadas UTM -337, 463 y 8°37'1, 635 (Venero y Tupayachi, 2012), una altitud 3886.00 msnm. Las muestras de agua derivaron particularmente de tres puntos de muestreo (PM) mostradas en la figura 2, el PM – 1 a 50 m del vertimiento de agua residual, el PM – 2 a 100 m del vertimiento de agua residual, el PM – 3, a 200 m del vertimiento de agua residual y PM – 4 fue el punto de origen de pequeños tributarios como fuente de agua de poblaciones aledañas, tales como Balsapata, Anoravi y Posoconi.

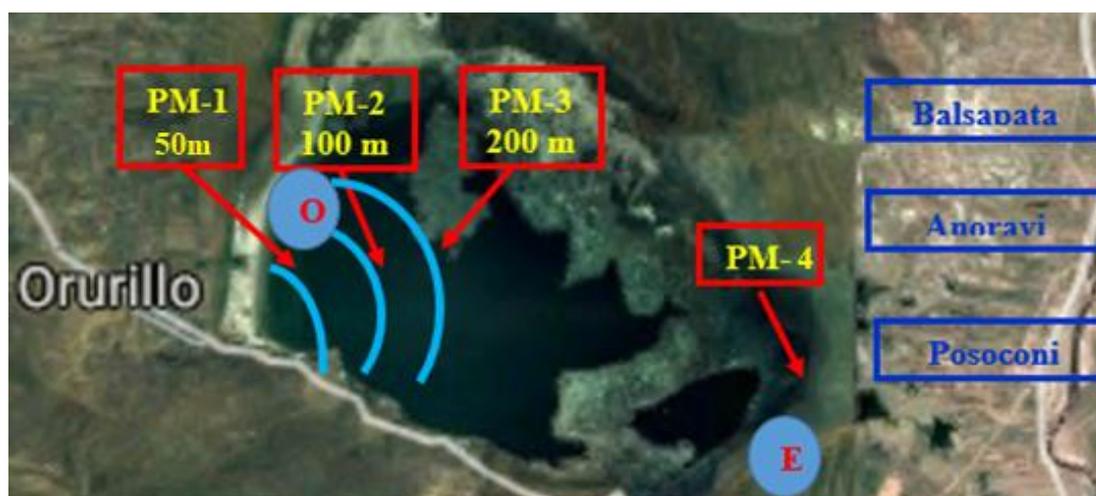


Figura 2. Puntos de muestreo de agua en la laguna Orurillo (PM-1: a 50 m; PM-2: a 100 m; PM-3: a 200 m del vertimiento de agua; y PM-4: origen de tributarios aguas abajo).

**Fuente.** Googlemap (2018).

### 3.2 Población

El volumen de agua de la laguna Orurillo es finita y llega a ser 14'961,292.00 m<sup>3</sup> en épocas de lluvia,

### 3.3 Muestra

El tamaño de muestra se calculó mediante la siguiente ecuación matemática (Spiegel y Stephens, 2009).

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * N * p * q}{i^2(N - 1) + Z_{\alpha}^2 p * q}$$

Donde: Z = valor correspondiente a la distribución de Gauss (1.96); p = prevalencia esperada (0.7); q = 1 - p = 1 - 0.7 = 0.3; n = tamaño muestral; N = tamaño de la población; i = error que se provee cometer 0.1.

Remplazando valores:

$$n = \frac{1.96^2 * 600 * 0.7 * 0.3}{0.1^2(600-1) + 1.96^2 * 0.7 * 0.3}$$

$$n = 72$$

La muestra fue representada por 72 litros de agua, las cuales fueron distribuidas en cuatro puntos de muestreo (PM1 a PM4), obteniéndose más de 5 litros en cada zona repartidas

en tres repeticiones, obteniéndose 24 litros por repetición. Los muestreos se realizaron cada dos meses y en épocas diferentes por un lapso de seis meses. Dichos resultados, tanto fisicoquímicos y bacteriológicos fueron emitidos por el Laboratorio del Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba – Bolivia, el cual posee certificación Internacional.

### **3.4 Método de investigación**

En la investigación se aplicó el método descriptivo y analítico. Fue descriptivo ya que se tuvo el objetivo de evaluar algunas características fisicoquímicas, coliformes y metales pesados en las muestras de agua de la laguna Orurillo; mientras tanto que fue analítico porque consistió en interpretar y observar las causas, la naturaleza y los efectos de la contaminación del agua de la laguna.

### **3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos**

#### **3.5.1 Determinación de los valores fisicoquímicos de conductividad, temperatura, nitratos, nitritos, alcalinidad, cloruros y sulfatos con relación a los valores de ECA de agua en la laguna Orurillo**

##### **a) Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos**

Variable independiente: Puntos de muestreo de agua en la laguna Orurillo.

Variable dependiente: Valores de los parámetros fisicoquímicos del agua.

##### **b) Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos entre otros**

**Toma de muestras en los cuatro puntos cardinales en Laguna Orurillo.** La recolección de las muestras se realizó en las botellas de polietileno y de vidrio, asimismo se trasladó en un contenedor (cooler) para su transporte con dirección al laboratorio.

**Frasco para muestra de solidos – cationes:** se enjuagó el frasco llenando con la muestra y que no rebalse, para luego se cerró herméticamente. Se depositó en el contenedor.

**Frasco para muestra de pH, acidez alcalinidad:** se enjuagó el frasco con la muestra varias veces, luego se colectó la muestra hasta que rebalsó y sin burbujas, se tapó herméticamente. Se depositó en el contenedor.

**Frasco para muestra de nitritos, nitratos:** se enjuagó el frasco a fin de que no rebalse y se añadió 2 ml de cloroformo, fue tapado herméticamente y se depositó en el contenedor.

**Frasco para muestra de metales:** Los frascos no fueron enjuagados ya que presentaron 2 ml de HNO<sub>3</sub> como preservante, se llenaron los frascos y que no a rebalsen, se tapó herméticamente y se depositó el contenedor.

**Frasco para muestra de sedimento - metales:** Los frascos fueron enjuagados y llenados con la muestra haciendo que no rebalse, luego tapados herméticamente y depositados en el contenedor.

**Determinación de Conductividad** (Clsceri y Greenberg, 1999). El cálculo de la conductividad: Por origen natural el agua contiene principalmente Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> y con TDS menos de aproximadamente 2500 mg/l, el siguiente procedimiento se utilizó para calcular la conductividad a partir de concentraciones iónicas medidos.

**Cálculo.** En el laboratorio, una solución estándar de KCl se midió así:

$$C = \frac{k_s}{G_s}$$

Donde: C = Constante de celdas, Cm<sup>-1</sup>, K<sub>s</sub> = Conductividad, G<sub>s</sub> = Resistencia.

**Determinación de potencial de hidrogeniones (pH).** pH se usa en las mediciones de alcalinidad y de dióxido de carbono y muchos otros equilibrios ácido-base. A una temperatura dada la intensidad del carácter ácido o básico de una solución se indica por la actividad de iones de pH o hidrógeno. Alcalinidad y acidez son las capacidades a ácido y de base de neutralización de un agua y por lo general se expresan como miligramos de CaCO<sub>3</sub> por litro. capacidad tampón es la cantidad de ácido fuerte o base, generalmente expresada en moles por litro, necesaria para cambiar el valor del pH de una muestra de 1 litro por 1 unidad. pH

como se define por Sorenson 1 es  $-\log [H^+]$ ; es el "intensidad" factor de acidez. El agua pura es muy poco ionizada y en el equilibrio el producto iónico es:

$$[H^+][OH^-] = K_w \quad (1)$$

$$= 1.01 \times 10^{-14} \text{ a } 25^\circ\text{C}$$

$$\text{y} \quad [H^+] = [OH^-]$$

$$= 1.005 \times 10^{-7}$$

Donde:  $[H^+]$  = actividad de los iones hidrógeno, moles/L,  $[OH^-]$  = actividad de los iones hidrógeno, moles/L, y  $K_w$  = producto iónico del agua.

**Determinación de la Alcalinidad ( $CaCO_3$ ).** Este parámetro no puede considerarse como contaminante directo o específico, sino como una medida de los efectos de la combinación de sustancias asociadas a los carbonatos y bicarbonatos. Ellos se expresan como la concentración de carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ) (Ramírez, 2011).

**Determinación de Nitrito ( $NO_2$ ).** **Reactivos:** El estándar de nitrito se disolvió 0.0690 g de nitrito de sodio ( $NaNO_2$ ) previamente se secó a  $105^\circ\text{C}$  por dos horas en agua destilada y completar exactamente a 100 ml. Se almacenó en botella oscura con 50  $\mu\text{l}$  de cloroformo como preservante. La concentración de esta solución fue de 10000  $\mu\text{g.at/l}$ . En su procedimiento. Con cada conjunto de muestras se prepararon un blanco y una muestra patrón de 1.0  $\mu\text{g.at/l}$  (se usó celda de 10 cm).

**Determinación de Nitrato ( $NO_3$ ).** Las concentraciones de nitratos en todos los casos están por debajo de los valores de las normas establecidas, el hecho de que el agua del manantial muestre valores más elevados que del río, se puede deber a la disolución de rocas que los contengan o la oxidación de la materia orgánica por acción bacteriana.

**Determinación de Cloruro ( $Cl^-$ ).** Directamente se tituló muestras en el intervalo de pH 7 a 10. Se ajustó la muestra de pH 7 a 10 con  $H_2SO_4$  o  $NaOH$  si no estuvo en este rango. Para el ajuste, se utilizó preferentemente un medidor de pH con un electrodo de referencia de tipo no cloruro. Se transfirió con una pipeta 1.0 ml

$K_2CrO_4$  solución indicadora valorar con  $AgNO_3$  valorante hasta un punto final amarillo rosáceo.

Calculo:

$$mg Cl^- / L = \frac{(A - B) * N * 35\ 450}{ml\ de\ la\ muestra}$$

Donde: A = titulación ml para la muestra, B = titulación ml para el blanco y N = normalidad de  $AgNO_3$ .

**Determinación de Sulfatos ( $SO_2$ ).** Se colocó 25 ml de la muestra en un erlenmeyer de 250 ml, seguidamente se adicionó una pizca de cloruro de bario, se disolvió y se dejó reposar por 10 minutos, se encendió y calibró el Espectrofotómetro UV – 1203 SHIMADZU / UV – VIS con agua destilada, seguidamente se colocó en un micropocillo la muestra preparada para medir en el equipo la transmitancia, anotándose el valor.

Cálculos

$$Sulfato\ (mg/l) = \frac{\% \text{ Transmitancia lectura tabla} * 100}{V \text{ muestra}}$$

Donde: Fc = Factor de concentración (tabla de sulfatos), V = Volumen.

### c) Aplicación de prueba estadística inferencial

El estudio empleó un diseño completo al azar (DCA), con dos repeticiones. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos, fueron comparadas según puntos de muestreo, los cuales fueron evaluados previamente mediante tests de normalidad, a continuación, pruebas descriptivas (media) y de dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación), se aplicó pruebas de análisis de varianza y pruebas de Tukey, todos los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de confianza del 95%.

## 3.5.2 Determinación bacteriana de coliformes totales y termotolerantes con relación a los valores de ECA del agua en la laguna Orurillo

### a) Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos

Variable independiente: Puntos de muestreo de agua en la laguna Orurillo.

Variable dependiente: Recuentos de coliformes en el agua.

**b) Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos entre otros**

**Prueba presuntiva.** Se procedió a inocular volúmenes de 10 ml, 1 ml y 0.1 ml de muestra de agua en una serie de 9 tubos que contenía 9 ml de caldo lactosa, en los cuales los primeros 3 tubos presentarán el doble de la concentración de dicho caldo. Luego se incubaron los tubos debidamente rotulados a 37 °C durante 24 – 48 horas. En esta prueba, las actividades metabólicas de las bacterias fueron estimuladas vigorosamente y ocurrió na selección inicial de bacterias que fermentan la lactosa con producción de gas.

**Interpretación.** Si el total de tubos son negativos: el examen se dio por terminado, reportando la ausencia de coliformes totales en la muestra analizada. Todos aquellos tubos que resulten positivos para prueba presuntiva se anotaron convenientemente y se procedieron a realizar la prueba confirmatoria para coliformes totales.

**Prueba confirmativa.** Se transfirió un inóculo de cada tubo positivo de la prueba presuntiva a tubos que contengan caldo verde brillante bilis y fueron incubados posteriormente a 37 °C durante 24 – 48 horas. Esta prueba redujo la posibilidad de resultados falsos positivos que puedan ocurrir por la actividad metabólica de bacterias formadoras de esporas. La formación de gas, la turbidez y la fermentación dentro del lapso de 24 a 48 horas constituyó una prueba confirmativa de la presencia de coliformes. Los resultados se expresaron en términos de número más probable (NMP) de microorganismos.

**Interpretación.** Si se observa turbidez y producción de gas, la prueba se consideró positiva, debiendo anotar el número de tubos positivos, para posteriormente hacer el cálculo del NMP. Si en ninguno de los tubos se observara producción de gas, aun cuando se observe turbidez, se consideró negativo, estableciéndose el código 0, 0, 0 para efecto del cálculo del NMP (tabla del número más probable al 95% de confiabilidad) (Pascual y Calderón, 2000).

### c) Aplicación de prueba estadística inferencial

El estudio empleó un diseño completo al azar (DCA), con dos repeticiones. Los resultados de los recuentos de coliformes, fueron comparadas según puntos de muestreo, los cuales fueron evaluados previamente mediante tests de normalidad, a continuación, pruebas descriptivas (media) y de dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación), se aplicó pruebas de análisis de varianza y pruebas de Tukey, todos los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de confianza del 95%.

### 3.5.3 Determinación metales pesados cadmio y plomo con relación a los valores de ECA del agua en la laguna Orurillo

#### a) Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos

Variable independiente: Puntos de muestreo de agua en la laguna Orurillo.

Variable dependiente: Contenido de cadmio y plomo en el agua.

#### b) Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos entre otros

**Determinación de Plomo** (Clsceri y Greenberg, 1999). La relación de absorbancias corregidas para ditizonato plomo es 2.08 y para ditizonato bismuto es 1.07. Si la relación para la muestra indicó la interferencia, es decir, es notablemente menor que 2,08. Se procedió de la siguiente manera con una nueva muestra de 100 ml: si la muestra no se ha digerido, se añadió 5 ml de Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> solución para reducir conservante yodo. Ajuste de la muestra a pH 2.5 usando un medidor de pH y 1 + 4 HNO<sub>3</sub> de 1 + 9 NH<sub>4</sub>OH según se requiera. Se transfirió la muestra a 250 ml embudo de decantación, se extrajo con un mínimo de tres porciones de 10 ml de solución de ditizona especial, o hasta que la CHCl<sub>3</sub> capa es claramente verde. Se extrajo con porciones de 20 ml CHCl<sub>3</sub> para eliminar ditizona (ausencia de verde). Se añadió 20 ml 1 + 4 HNO<sub>3</sub>, 50 ml de citrato-cianuro de solución reductora, y solución de trabajo de 10 ml ditizona.

$$mg Pb/L = \frac{\mu g Pb( en 10 mL, de Calibración Curva)}{ml de la muestra}$$

**Determinación de cadmio.** Se prefiere el método de espectrometría de absorción atómica electrotrémico. Los métodos de llama de absorción atómica, y los métodos de plasma acoplado inductivamente proporcionan precisión y el sesgo aceptable, con límites de detección más altas. Voltamperometría de redisolución anódica puede alcanzar límites de detección superiores, pero es susceptible a interferencias de cobre, plata, oro, y compuestos orgánicos. Cuando por espectrometría de absorción atómica o aparato de plasma acoplado inductivamente no está disponible y la precisión deseada no es tan grande, el método ditizona se detalla en la 19ª edición de Standard Methods es adecuado.

### c) Aplicación de prueba estadística inferencial

El estudio empleó un diseño completo al azar (DCA), con dos repeticiones. Los resultados de los contenidos de cadmio y plomo en el agua, fueron comparadas según puntos de muestreo, los cuales fueron evaluados previamente mediante tests de normalidad, a continuación, pruebas descriptivas (media) y de dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación), se aplicó pruebas de análisis de varianza y pruebas de Tukey, todos los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de confianza del 95%.

## 3.5.4 Implementación de un Sistema Experto de Información para la evaluación de la calidad del agua de la laguna Orurillo.

### a) Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos

Variable independiente: Sistema Experto de Información.

Variable dependiente: Calidad del agua de la laguna Orurillo.

### b) Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos entre otros

Prolog es un lenguaje de programación que rompe con todas las ideas que hay por la forma de implementar los algoritmos y luego entra en la materialización con los métodos del paradigma de la programación declarativa. Está orientada a la resolución de problemas mediante el cálculo de enunciados basados en:

- Pregunta a la base de datos
- Pruebas matemáticas
- Especifica cómo debe ser la solución, en vez de dar el algoritmo para su resolución.

La solución se obtiene mediante búsqueda aplicando la lógica de predicados. No se realizó análisis estadístico.

**c) Aplicación de prueba estadística inferencial**

Por ser un objetivo en el que se realizará la interpretación de los resultados de la calidad del agua de la laguna Orurillo, no se aplicó ninguna prueba estadística.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, nitritos, nitratos, cloruros y sulfatos en el agua de la laguna Orurillo.

##### 4.1.1 pH del agua

En la tabla 5, se observa que los valores de pH del agua de diferentes ubicaciones de muestreo en la laguna Orurillo, oscilaron entre 7.48 y 7.87 con un promedio de 7.68 a 100 m y de 8.02 y 8.62 con un promedio de 8.32 a la salida de la laguna. Los coeficientes de variabilidad variaron entre 3.45% a 50 m y 5.10% a la salida de la laguna, por lo que se afirma que los datos presentaron una dispersión leve, adecuado para realizar la prueba paramétrica de análisis de varianza.

Tabla 5

*Valores de pH de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 m y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019.*

Punto de muestreo	A 50 m	A 100 m	A 200 m	Salida
Repetición 1	7.79	7.48	8.23	8.62
Repetición 2	8.18	7.87	7.66	8.02
Promedio	7.99	7.68	7.95	8.32
D. E.	0.28	0.28	0.40	0.42
C. V. (%)	3.45	3.59	5.07	5.10

Donde: D. E. = desviación estándar; C. V. = coeficiente de variabilidad.

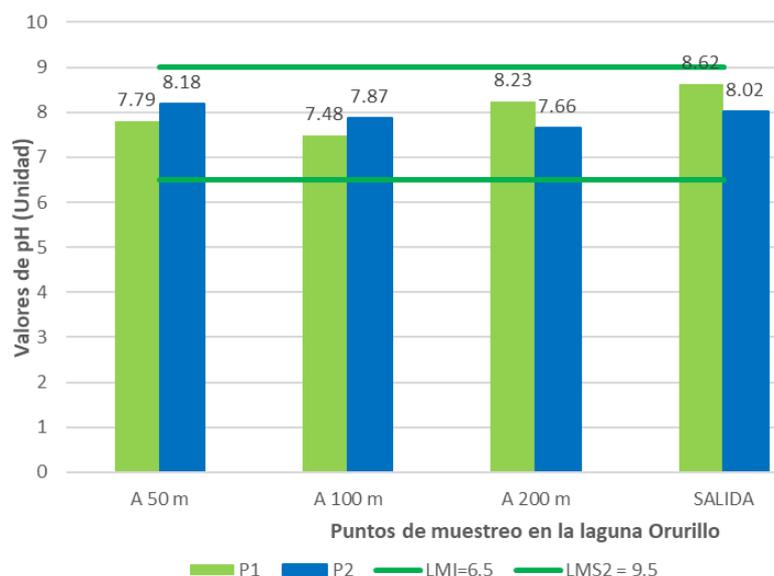
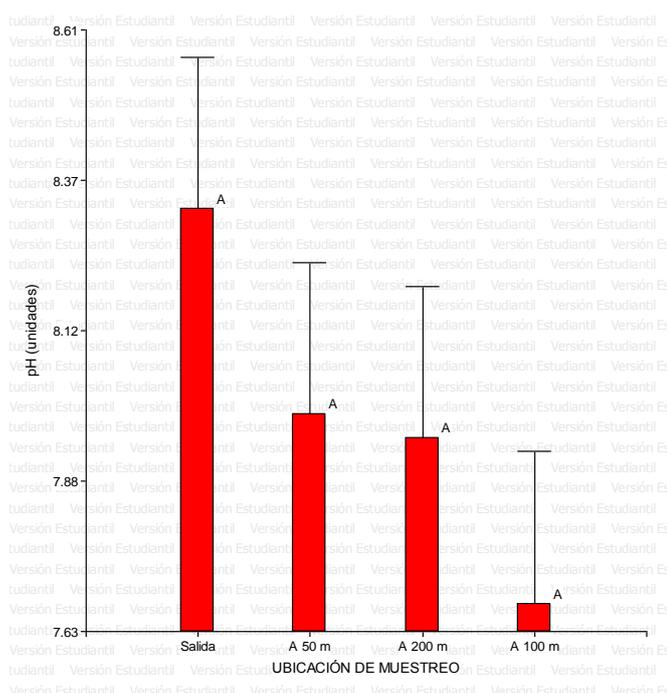


Figura 3. Valores de pH en agua de la laguna Orurillo en diferentes ubicaciones de muestreo, marzo y julio 2019.

Donde: LMI = límite máximo inferior, LMS = límite máximo superior (ECAs según el D. S. 004-2017-MINAM).

Los valores de pH obtenidos en los cuatro puntos de muestreo se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para agua de la Categoría 4 (Figura 3) para conservación del ambiente acuático (pH = 6.5 - 9.0), normado en el D. S. 004-2017-MINAM. Si comparamos las 4 ubicaciones de muestreo (a 50 m, a 100 m, a 200 m y salida de la laguna), no existió diferencia estadística significativa, ya que p-valor fue igual a 0.4366, el cual fue mayor a 0.05 (nivel de significancia estadística) (Anexo 1) (Figura 4).

Los valores de pH obtenidos en la investigación fueron entre 7.68 y 8.32, dichos valores fueron superiores a los reportados por Canales (2010) que determinó un pH de 6.3, la diferencia de debería a que éste autor realizó el estudio en muestras de agua de la bahía interior de Puno, por otro lado, Zamora *et al.* (2008), reporta promedios de pH de 7.0 y 7.2, estos valores también fueron inferiores a los determinados en nuestro estudio, Fontúrbel (2005), reporta promedios de pH de 7.20 en la bahía de Cohana, en la zona de Copacabana el pH fue de 9.4, en la zona de Tiquina el pH fue de 8.3 y en la zona de Alaya el pH fue de 7.7, éstos valores concuerdan en dos de las cuatro zonas de muestreo, pero es superado con los valores de pH presentados en la zona de Copacabana, probablemente debido a la contaminación por agua residual y otras actividades antrópicas.



*Figura 4.* Prueba de Tukey de los valores de pH en agua de la laguna Orurillo en diferentes ubicaciones de muestreo, marzo y julio 2019.

La variación del pH, se debe a la concentración de iones  $H^+$  e  $OH^-$ , que otorgan acidez o alcalinidad al agua, además éste viene influenciado probablemente también por el fenómeno de la fotosíntesis en la zona trofógena que tiende a provocar una disminución de  $CO_2$ , junto con el aumento de pH debido al movimiento del agua, presencia de olas y la presencia de organismos fotosintéticos de la zona, mientras que en la zona trofólítica se genera aumento de  $CO_2$  disminuyendo así el pH del lago, además de otros fenómenos como la fermentación microbiana, nitrificación del amonio y la oxidación de sulfuros que provocan una reducción del pH por la generación de  $CO_2$  (Paredes, 2013). Los resultados obtenidos en esta investigación, fueron mayor o igual a los obtenidos por Curasi (2010), quien evaluó la calidad de agua en 73 pozos subterráneos con fines de consumo doméstico de la ciudad de Puno, determinando el potencial de hidrogeniones (pH) valores que fluctúan entre 7.1 a 7.6 que representa aguas ligeramente alcalinas.

El pH presenta una tendencia a pasar de un pH básico a un pH ácido conforme aumentan las lluvias, este efecto se presenta más marcado en las muestras de agua obtenidas de los pozos, los contaminantes antropogénicos juegan un rol importante en la contaminación del manto acuífero por procesos de difusión por la contaminación presente tal como reporta Orosco *et al.* (2008), por otra parte, Mossel *et al.* (2006). En general, los microorganismos son más resistentes al calor y a la irradiación a niveles de pH próximos

a la neutralidad, la mayoría de las bacterias funcionan con mayor eficacia en los medios neutros y por ello tienen mayor capacidad para reparar los daños y recuperarse en condiciones de pH neutro.

De acuerdo a los valores obtenidos del análisis de potencial de hidrogeniones que las muestras de agua de la laguna de Orurillo con fines de conservación de la diversidad biológica y consumo humano en los cuatro puntos de muestreo están dentro de los valores recomendados en los Estándares de Calidad Ambiental de Agua (D.S. N° 004-2017 MINAM (6.5 a 9.0).

#### 4.1.2 Conductividad eléctrica del agua

En la tabla 6, se observa que los valores de Conductividad Eléctrica (CE) del agua de diferentes ubicaciones de muestreo en la laguna Orurillo, presentaron promedios de 2.279 mS/cm a 100 m, en dicho punto los valores de CE oscilaron entre 1.223 y 3.335 mS/cm, y el mayor promedio de CE se determinó a 200 m con valores que oscilaron entre 1.342 y 7.810 mS/cm. Los coeficientes de variabilidad variaron entre 6.93% en el punto de muestreo Salida y 99.95% a 200 m de la laguna, por lo que se afirma que los datos presentaron una dispersión leve y fuerte, por tanto, se realizó pruebas estadísticas no paramétricas.

Tabla 6

*Valores de conductividad eléctrica (mS/cm) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019.*

Punto de muestreo	A 50 m	A 100 m	A 200 m	Salida
Repetición 1	5.104	1.223	1.342	3.640
Repetición 2	3.330	3.335	7.810	3.300
Promedio	4.217	2.279	4.576	3.470
D. E.	1.254	1.493	4.573	240.42
C. V. (%)	29.75	65.53	99.95	6.93

Donde: D. E. = desviación estándar; C. V. = coeficiente de variabilidad.

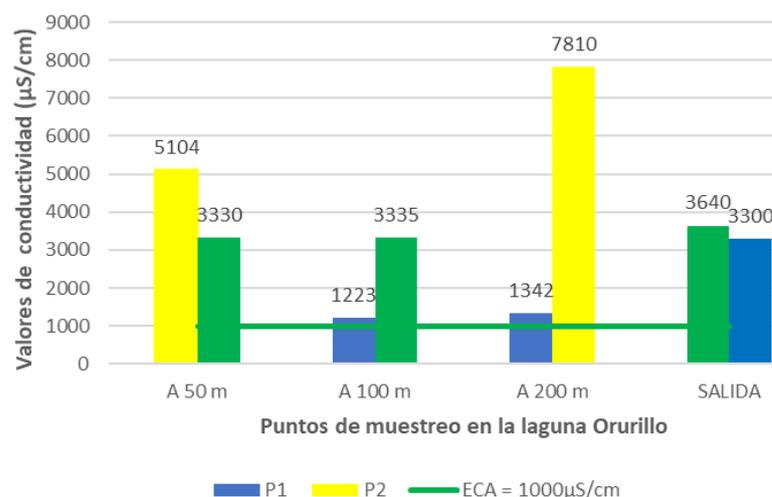


Figura 5. Valores de conductividad en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019.

Los valores de CE obtenidos en los cuatro puntos de muestreo superan los valores recomendados dentro de los ECAs para agua Categoría 4 (Figura 5) para conservación del ambiente acuático (CE = 1000 µS/cm), normado en el D. S. 004-2017-MINAM. Si comparamos las 4 ubicaciones de muestreo (a 50 m, a 100 m, a 200 m y salida de la laguna), no existió diferencia estadística significativa, ya que p-valor fue igual a 0.8158, el cual fue mayor a 0.05 (nivel de significancia estadística) (Anexo 2) (Figura 6).

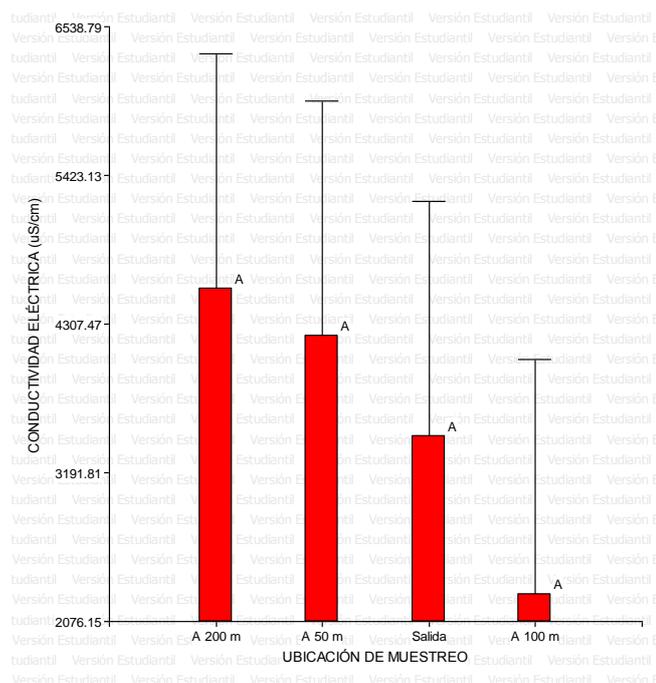


Figura 6. Prueba de Tukey para los valores de conductividad eléctrica en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019.

Los resultados obtenidos en esta investigación fueron similares a los obtenidos por Cava y Ramos (2016), excepto a 100 m donde se obtuvo un promedio de 2279 µS/cm, quienes caracterizaron la fisicoquímica del agua de consumo humano de la localidad de Las Juntas del distrito de Pacora - Lambayeque, y obtuvieron la CE entre 3400 – 3475 µS/cm, pudiendo afectar la salud de los consumidores, asimismo fueron similares a los registrados por la AAA XIV – Titicaca (2015), quien reportó 3510 µS/cm en el monitoreo realizado de agua subterránea en la cuenta Coata en la comunidad de Pocsin – Carata; asimismo, fueron similares a los reportados por Apaza y Calsina (2014), quienes reportaron cifras de CE en un rango de 800 µS/cm a extremadamente altos mayores a 4000 µS/cm en las localidades de Carancas y Huata.

De acuerdo al análisis de laboratorio la CE de las muestras de agua de la laguna Orurillo superan las normas vigentes, por consiguiente, no serían aptas para la conservación del ambiente acuático y de mala calidad para consumo humano por mostrar valores que exceden los LMP emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA (1500 µS/cm), Donaires *et al.* (2005) reportan valores de CE de 1870 µS/cm, estos valores fueron menores a los obtenidos en este estudio en el mes de julio en la zona de crianza de truchas se presentó valores de 2170 µS/cm, lo que indica que el agua transparente tendría una CE que apenas supera los valores permitidos,

en contraste Zamora *et al.* (2008), obtuvo una CE de 792  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , los cuales fuerondiferentes e inferiores a los obtenidos en esta investigación, a pesar de que realizó su estudio en agua residual, lo más probable es que el agua residual provenga de ciudades con poca población o el agua fueron por algún efecto diluidas como el caso de presencia de lluvias, obteniéndose así valores muy bajos de CE.

El parámetro de la conductividad eléctrica es uno de los más usados debido a la rapidez de su análisis, y al ser una representación del total de sólidos totales disueltos, permite detectar variaciones en la composición química de los constituyentes del agua. La conductividad eléctrica, puede variar debido a distintos fenómenos, durante el periodo de mezcla de agua este parámetro suele ser del hipolimnion por ser anóxicas, pueden presentar valores más elevados de conductividad, que en la zona de epilimnion donde hay presencia de oxígeno por la fotosíntesis (Paredes, 2013).

#### 4.1.3 Alcalinidad del agua

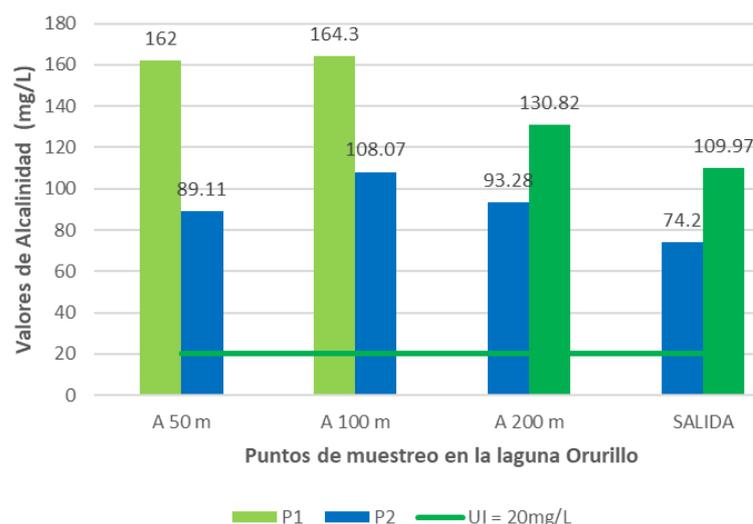
En la Tabla 7, se observa que los valores de Alcalinidad del agua de diferentes ubicaciones de muestreo en la laguna Orurillo, oscilaron entre los valores de 162 mg/l y 89.11 mg/l con un promedio de 125.56 mg/l a 50 m y de 164.3 mg/l y 108.7 mg/l con un promedio de 136.19 mg/l a 100 m de la laguna. Los coeficientes de variabilidad variaron entre 23.69% a 200 m y 41.05% a 50 m de la laguna, por lo que se afirma que los datos llegaron a presentar una dispersión moderada, adecuado para realizar la prueba no paramétrica de análisis de varianza.

Tabla 7

*Valores de alcalinidad (mg/l) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019.*

Punto de muestreo	A 50 m	A 100 m	A 200 m	Salida
Repetición 1	162.00	164.3	93.28	74.2
Repetición 2	89.11	108.07	130.82	109.97
Promedio	125.56	136.19	112.05	92.09
D. E.	51.54	39.76	26.54	25.29
C. V. (%)	41.05	29.20	23.69	27.47

Donde: D. E. = desviación estándar; C. V. = coeficiente de variabilidad.



*Figura 7.* Valores de alcalinidad en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019.

Los valores de Alcalinidad obtenidos en los cuatro puntos de muestreo no se encuentran dentro de los ECAs para agua de Categoría 4 (Figura 7) para conservación del ambiente acuático (alcalinidad = 20 mg/l), normado en el D. S. 004-2017-MINAM. Si comparamos las 4 ubicaciones de muestreo (a 50 m, a 100 m, a 200 m y salida de la laguna), no existió diferencia estadística significativa, ya que p-valor fue igual a 0.6918, el cual fue mayor a 0.05 (nivel de significancia estadística) (Anexo 3) (Figura 8).

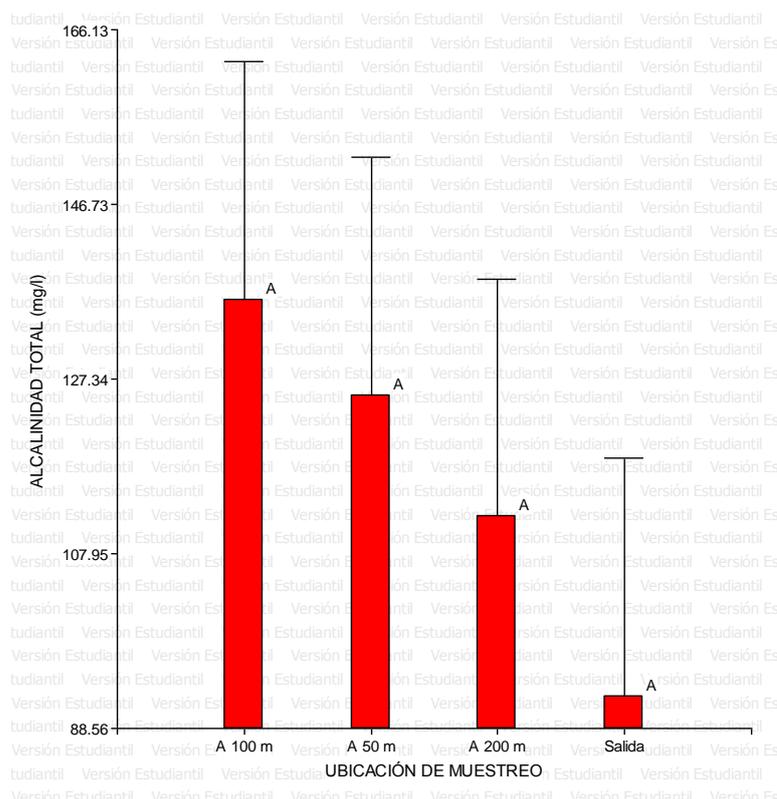


Figura 8. Prueba de Tukey para los valores de alcalinidad total en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019.

Internacionalmente es aceptada una alcalinidad mínima de 20 mg de CaCO<sub>3</sub>/L para mantener la vida acuática y cuando el agua tiene alcalinidad inferior se vuelven muy sensibles a la contaminación, ya que no tienen capacidad para oponerse a las modificaciones que generen disminuciones del pH (acidificación). Los resultados obtenidos en esta investigación, fueron inferiores a los obtenidos por Cava y Ramos (2016), caracterizaron los parámetros fisicoquímicos de agua para el consumo humano en Pacora - Lambayeque con valores que fluctuaron entre 570 a 676 mg/l.

Los valores de alcalinidad obtenidas por Venero y Tupayachi (2012) en el agua de la laguna Orurillo fue de 133.50 mg/l, por otra parte Belizario (2011), evaluó la calidad de agua subterráneas de la comunidad de Carata – Coata, y obtuvo valores que oscila de un mínimo de 104.80 a un máximo de 544.96 mg/l, ambos fueron superiores a los obtenidos en la investigación, a pesar de ello este parámetro no tiene importancia sanitaria y no representa riesgo para la salud, asimismo fueron inferiores y/o similares a los obtenidos a Petro y Wees (2014), quienes evaluaron en el municipio de Tubarco – Bolívar, valores de alcalinidad de 55.2 a 302.4 mg/l. En cifras generales los promedios de la alcalinidad en los puntos de muestreo de la laguna Orurillo se encuentran dentro del límite máximo

permisible, según el Reglamento de la calidad de agua para el consumo humano D.S. N° 031-2010 S.A. DIGESA (500 mg/l).

#### 4.1.4 Cloruros en agua

En la Tabla 8, se observa que los valores de Cloruros del agua de diferentes ubicaciones de muestreo en la laguna Orurillo, demostraron valores que oscilaron entre 29.84 mg/l y 152.45 mg/l con un promedio de 91.15 mg/l a 50 m y de 298.42 mg/l y 149.95 mg/l con un promedio de 224.19 mg/l a la salida de la laguna. Los coeficientes de variabilidad variaron entre 37.54% a 100 m y 95.12% a 50 m de la laguna, por lo que se afirma que los datos presentaron una dispersión alta, adecuado para realizar la prueba no paramétrica de análisis de varianza.

Tabla 8

*Valores de cloruros (mg/l) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019.*

Punto de muestreo	A 50 m	A 100 m	A 200 m	Salida
Repetición 1	29.84	87.04	44.76	298.42
Repetición 2	152.45	149.95	149.77	149.95
Promedio	91.15	118.50	97.27	224.19
D. E.	86.70	44.48	74.25	104.98
C. V. (%)	95.12	37.54	76.34	46.83

Donde: D. E. = desviación estándar; C. V. = coeficiente de variabilidad.

Si comparamos los 3 lugares de muestreo (a 50 m, a 100 m y a 200 m), no existe diferencia estadística significativa, ya que p-valor fue igual a 0.6928, el cual fue mayor a 0.05 (nivel de significancia estadística) (Anexo 4).

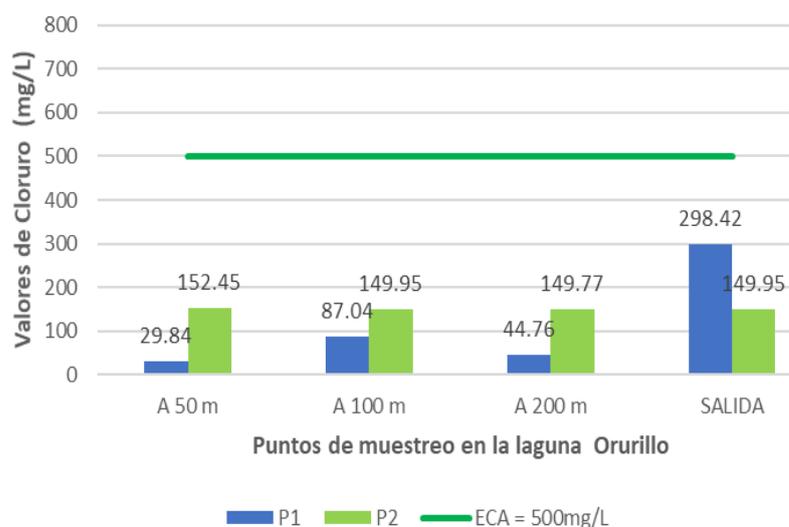


Figura 9. Valores de cloruros en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019.

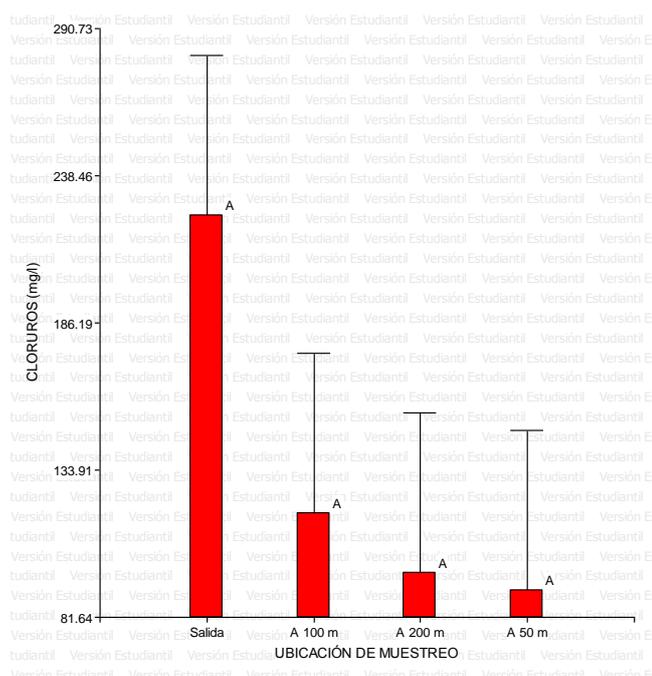


Figura 10. Prueba de Tukey para los valores de cloruros en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019.

Con respecto a otros autores, los valores reportados en ésta investigación son superiores a los manifestados por Oruna (2010), quien reporta cifras que oscilaron entre 11.98 – 319 mg/l, en muestras de agua potable de la ciudad de Puno y Vilca (2011), con valores que fluctúan entre 8.33, 6.8 y 6.81 mg/l, en muestras de manantial, reservorio y agua domiciliaria respectivamente; por otro lado Mamani (2007), menciona valores de 165

mg/l en muestras de agua de reservorio y de caño en el distrito de Huanuara (Tacna), Quispe (2010), que en la ciudad de Aplao (Arequipa) reportó promedio de 81.2 mg/l, Baccaro *et al.* (2006), quienes reportaron valores promedios de cloruros de 200 mg/l en muestras de agua para consumo humano en Argentina, Gonzáles *et al.* (2007), quienes en fuentes de agua de consumo humano en comunidades en Nicaragua, obtuvieron promedios de cloruros de 350 mg/l y Venero y Tupayachi (2012) con valores de 447 mg/l, todos ellos resultaron superiores a los mencionados en esta investigación.

La máxima concentración permisible de cloruros en el agua potable es de 250 ppm, y fue establecido ya que, si supera esos valores, el agua pierde su sabor característico y por razones sanitarias (Baird y Cann, 2014), las mediciones de cloruros en el agua son útiles también, si en caso se desea utilizar para el riego de cultivos, por otro lado este parámetro también es usado como indicador o trazador, en las evaluaciones de contaminación de agua, debido a que procedería de uso industrial, asimismo las letrinas será rica en cloruro, podrían contaminar las fuentes de agua como los pozos y los manantiales, debido a su presencia en la orina del hombre (Romero, 2009), confirmándose con lo manifestado por Fernández y Fernández (2007), en cuerpos de agua con altos contenidos de cloruros se debería a que estarían cercanos al mar, la presencia de contaminación fecal ocasionada por vertimientos de agua residual sólidos y líquidos (Doria *et al.*, 2009).

Los análisis de cloruros son un parámetro muy importante porque todas las aguas naturales contienen este componente, sin embargo, se debe verificar su concentración dado que puede dañar la salud (Pérez, 2016), por otro lado, no obstante, las bajas concentraciones, es algo que no debe causar preocupación ya que no presenta ningún inconveniente en cuanto al consumo humano, su presencia en el agua depende de las características de los terrenos que atraviesan (Melgarejo, 2003).

Los valores de Cloruro obtenidos en los cuatro puntos de muestreo se encuentran dentro de los ECAs para agua Categoría 4 (Figura 9) para conservación del ambiente acuático (cloruro = 500 mg/l), normado en el D. S. 004-2017-MINAM. Si comparamos las 4 ubicaciones de muestreo (a 50 m, a 100 m, a 200 m y salida de la laguna), el p-valor fue igual a 0.4213, demostrando que, no existió diferencia estadística significativa, el cual p-valor fue mayor a 0.05 (nivel de significancia estadística) (Anexo 4) (Figura 10).

#### 4.1.5 Nitritos y nitratos en agua

En la Tabla 9, se observa que los valores de nitritos del agua de diferentes ubicaciones de muestreo en la laguna Orurillo fueron de 0.03 mg/l, no se realizó ninguna prueba estadística en razón de que los datos fueron similares en todas las cuatro zonas de muestreo.

Tabla 9

*Valores de nitritos (mg/l) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019.*

Punto de muestreo	A 50 m	A 100 m	A 200 m	Salida
Repetición 1	0.03	0.03	0.03	0.03
Repetición 2	0.03	0.03	0.03	0.03
Promedio	0.03	0.03	0.03	0.03
D. E.	0.00	0.00	0.00	0.00
C. V. (%)	0.00	0.00	0.00	0.00

Donde: D. E. = desviación estándar; C. V. = coeficiente de variabilidad.

Si comparamos los cuatro lugares de muestreo (a 50 m, a 100 m, a 200 m y salida de la laguna), todos los datos poseen valores iguales o inferiores a 0.03 mg/l, los cuales no superaron los valores ECAs permitidos de 10 mg/l (Anexo 5).

En la Tabla 10, se observa que los valores de Nitratos del agua de diferentes ubicaciones de muestreo en la laguna Orurillo, fueron de 0.04 mg/l en ambos muestreos a 50 m y a 200 m, mientras que a 100 m se obtuvieron los valores de 0.71 mg/l y 0.09 mg/l con un promedio de 0.40 mg/l, y a la salida de la laguna los valores fluctuaron entre 0.04 y 0.13 mg/l con un promedio de 0.09 mg/l. Los coeficientes de variabilidad variaron entre 0.00% a 50 y 200 m y 109.60% a 100 m, mientras que a la salida de la laguna fue de 74.87% de coeficiente de variabilidad, por lo que se afirma que los datos presentaron dispersión de datos leves y altas con respecto a sus promedios.

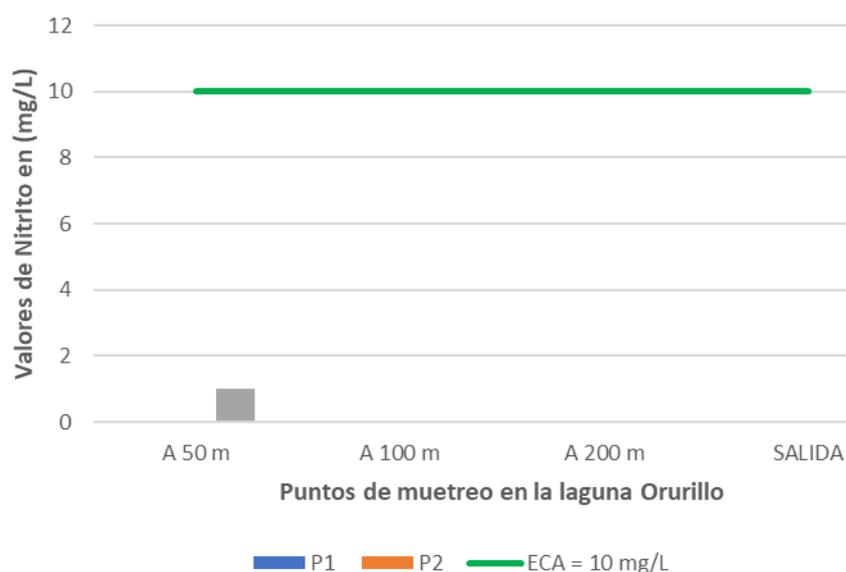


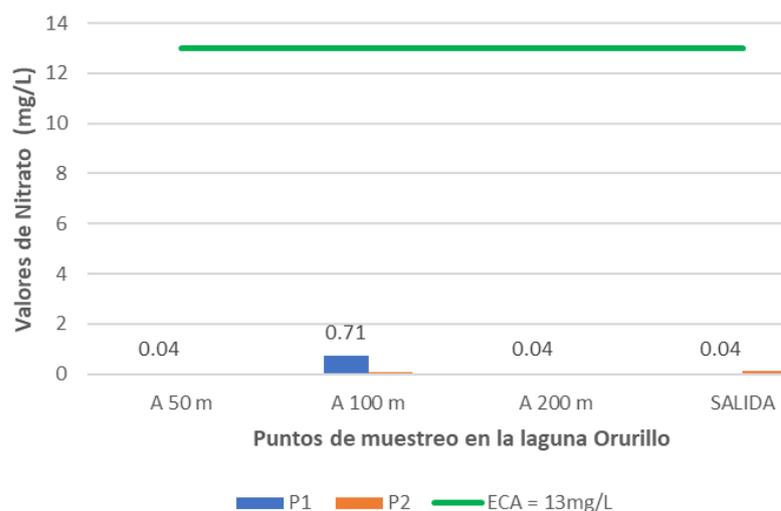
Figura 11. Valores de nitritos en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo marzo y julio 2019.

Tabla 10

Valores de Nitratos (mg/l) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019.

Punto de muestreo	A 50 m	A 100 m	A 200 m	Salida
Repetición 1	0.04	0.71	0.04	0.04
Repetición 2	0.04	0.09	0.04	0.13
Promedio	0.04	0.40	0.04	0.09
D. E.	0.00	0.44	0.00	0.06
C. V. (%)	0.00	109.60	0.00	74.87

Donde: D. E. = desviación estándar; C. V. = coeficiente de variabilidad.



*Figura 12.* Valores de nitratos en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019.

Los valores de Nitratos obtenidos en los cuatro puntos de muestreo se encuentran dentro de los ECAs para agua Categoría 4 (Figura 12) para conservación del ambiente acuático (nitratos = 13 mg/l), normado en el D. S. 004-2017-MINAM. Si comparamos las 4 ubicaciones de muestreo (a 50 m, a 100 m, a 200 m y salida de la laguna), no existió diferencia estadística significativa, ya que p-valor fue igual a 0.4079, el cual fue mayor a 0.05 (nivel de significancia estadística) (Anexo 6) (Figura 13).

Los valores de nitritos estuvieron por debajo de los recomendados en las normas ECAs categoría 1 población y recreacional (nitritos = 3 mg/l). Los compuestos nitrogenados presentes en agua natural están íntimamente relacionados con el ciclo del nitrógeno. La mayor parte del nitrógeno aparece en forma gaseosa en la atmósfera (78 % en volumen), en forma oxidada constituye una relativamente importante fracción en los suelos y sustancias orgánicas (tejidos de animales o vegetales que lo extraen de la atmósfera para su metabolismo). En las rocas, sin embargo, solo se presenta como elemento minoritario.

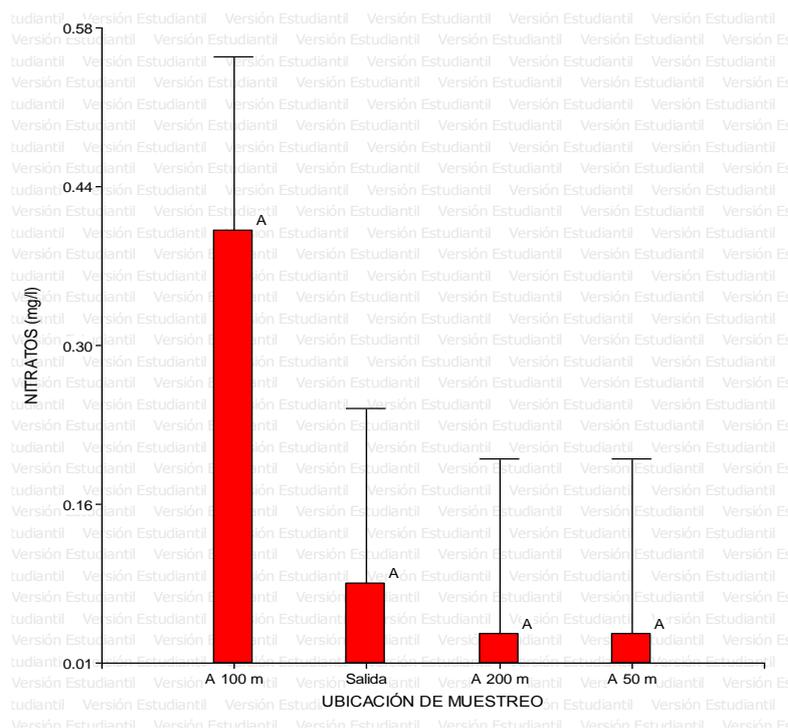


Figura 13. Prueba de Tukey para los valores de nitratos en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019.

El nitrógeno puede aparecer en forma de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4$  y por oxidación, estas formas reducidas pueden transformarse en nitritos ( $\text{NO}_2$ ) y finalmente en nitratos ( $\text{NO}_3$ ) que es la forma más usual y estable (De Miguel, 1999), los procesos de oxidación reducción de las especies nitrogenadas por fenómenos biológicos y, en consecuencia, los productos finales del número y tipo de organismos que intervengan en ellos. Generalmente el  $\text{NH}_4$  o el amoníaco libre, aparecen solo como trazas en agua subterránea, aumentando su concentración cuando el medio es fuertemente reductor. Este compuesto es el producto final de la reducción de sustancias orgánicas o inorgánicas nitrogenadas que naturalmente se incorporan al agua subterránea.

Dado que la presencia de amonio favorece la multiplicación microbiana, su detección en cantidad significativa en el agua se considera como indicio de probable contaminación reciente. El ión nitrito puede estar presente en el agua bien como consecuencia de la oxidación del amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) o como resultado de la reducción microbiana o no de los nitratos. Su presencia en el agua debe considerarse como un indicio fundado de una posible contaminación reciente (dada su inestabilidad) y tal vez de la no potabilidad del agua debido a la toxicidad de este ión.

No obstante, la sola presencia de nitrito y amonio en el agua subterránea no debe ser considerada como resultado de una contaminación sin analizar las posibles causas de su presencia, dado que en un acuífero las condiciones de oxidación no son siempre favorables y estos iones, incorporados de manera natural al acuífero, pueden mantenerse durante cierto tiempo en el equilibrio con su forma oxidada, el nitrato. Los nitratos pueden estar presentes en el agua subterránea bien como resultado de la disolución de rocas que los contengan, lo que ocurre raramente, bien por la oxidación bacteriana de materia orgánica.

La concentración de nitratos en agua subterránea no contaminadas raramente excede de 10 mg/l, su origen en el agua subterránea no siempre puede esclarecerse. Estos son relativamente estables, pero pueden ser fijados por el terreno o ser reducidos a nitrógeno o amonio en ambientes reductores. A menudo son indicadores de contaminación alcanzando entonces elevadas concentraciones y presentando por regla general una estratificación clara con predominio de las mayores concentraciones en la parte superior de los acuíferos libres o freáticos. Los horizontes acuíferos freáticos en territorios del trópico y subtropical donde existen altas temperaturas y abundantes precipitaciones atmosféricas, están expuestos a una fácil contaminación de origen orgánico, tanto por la descomposición de la materia orgánica que se encuentra en los suelos como por residuos fecales de origen animal o humana que de forma directa o indirecta se depositan en la corteza terrestre.

Durante la estancia de la materia orgánica en la zona no saturada (incluyendo el suelo) y posteriormente en la zona de saturación, esta sufre toda una serie de transformaciones en forma escalonada, influenciada por la acción de bacterias y microbios que habitan esta zona (Feodorova, 1985), las albúminas compuestas se transforman en aminoácidos, posteriormente en amonio ( $\text{NH}_4$ ), luego en nitritos ( $\text{NO}_2$ ) y al final en nitratos ( $\text{NO}_3$ ) (De Miguel y Vázquez, 2006).

La aparición de los nitritos y nitratos en el agua subterránea también puede ser de origen químico, provocado por el vertimiento de residuales industriales y por la utilización de fertilizantes orgánicos y sobre todo nitrogenados en áreas agrícolas. Puesto que las plantas solo pueden aprovechar el nitrógeno en forma de nitratos, el tipo de fertilizante aplicado condiciona la proporción de nitrógeno utilizable por las mismas y, en consecuencia, la cantidad no aprovechada por las plantas se infiltra hacia el acuífero. La concentración de

nitrate en el agua de infiltración depende pues del tipo de fertilizante y, además de la frecuencia, cantidad y modo de aplicación, así como del nitrógeno orgánico o inorgánico ya existente en el suelo, también del grado de permeabilidad, grado de humedad y otras características del suelo.

Los nitritos de forma natural pueden encontrarse en suelos que contengan un pH superior a 7.7. Los fertilizantes nitrogenados pueden originar directamente nitritos en lugar de nitratos cuando estos son aplicados en suelos algo alcalinos a partir de un pH de 7 a 7.3, en este caso la concentración de nitritos en el suelo puede alcanzar magnitudes semejantes a los nitratos con concentración máxima hasta de 100 mg/l (Guerra, 1979). El proceso de descomposición de la materia orgánica y la transformación de esta y de compuestos químicos, principalmente los nitrogenados, pueden llegar a influir notablemente en la calidad química del agua subterránea, como agua potable, con la adición o incremento de iones  $\text{NO}_3$  y  $\text{NO}_2$ , de estos elementos el más nocivo es el nitrito ( $\text{NO}_2$ ), su origen como ya se ha analizado puede ser por distintas causas y por procesos geoquímicas. o bioquímicos que se producen en la zona no saturada y acuíferos freáticos. De los nitratos por reacciones reversibles puede producirse también el nitrito debido a procesos de desnitrificación, al combinarse el nitrato con el carbono C que se libera de los procesos de descomposición de la materia orgánica, durante este proceso se libera el nitrógeno  $\text{N}_2$  (Jackson, 1970) y por combinación de este con el oxígeno disuelto en las rocas y agua, puede producirse de nuevo iones de nitrito ( $\text{NO}_2$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3$ ).

#### 4.1.6 Sulfatos en agua ( $\text{SO}_4^-$ )

En la Tabla 11, se observa que los valores de sulfatos del agua de diferentes ubicaciones de muestreo en la laguna Orurillo, oscilaron entre 377.81 mg/l y 1662 mg/l con un promedio de 1019.91 mg/l a 50 m y de 1765.49 mg/l y 1674 mg/l con un promedio de 1719.75 mg/l a la salida de la laguna. Los coeficientes de variabilidad variaron entre 3.76% a la salida de la laguna y 102.28% a 100 m, por lo que se afirma que los datos presentaron una dispersión alta, apropiado para realizar la prueba no paramétrica de análisis de varianza.

Tabla 11

Valores de sulfatos (mg/l) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019.

Punto de muestreo	A 50 m	A 100 m	A 200 m	Salida
Repetición 1	377.81	397.17	330.92	1765.49
Repetición 2	1662	2472.5	1783.2	1674
Promedio	1019.91	1434.84	1057.06	1719.75
D. E.	908.06	1467.48	1026.92	64.69
C. V. (%)	89.03	102.28	97.15	3.76

Donde: D. E. = desviación estándar; C. V. = coeficiente de variabilidad.

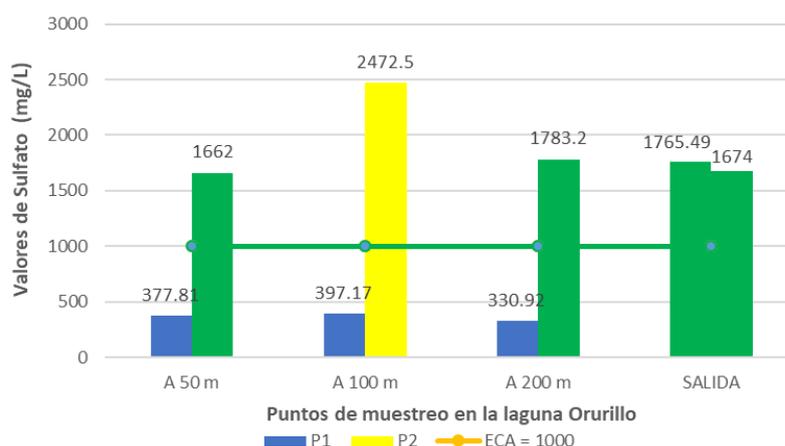


Figura 14. Valores de sulfatos en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019.

Los valores de Sulfato obtenidos en los cuatro puntos de muestreo no se encuentran dentro de los ECAs para agua Categoría 3 (Figura 14), los valores fueron superiores para conservación del ambiente acuático (sulfatos = 1000 mg/l), normado en el D. S. 004-2017-MINAM. Si comparamos las 4 ubicaciones de muestreo (a 50 m, a 100 m, a 200 m y salida de la laguna), no existió diferencia estadística significativa, ya que p-valor fue igual a 0.8787, el cual fue mayor a 0.05 (nivel de significancia estadística) (Anexo 7) (Figura 15).

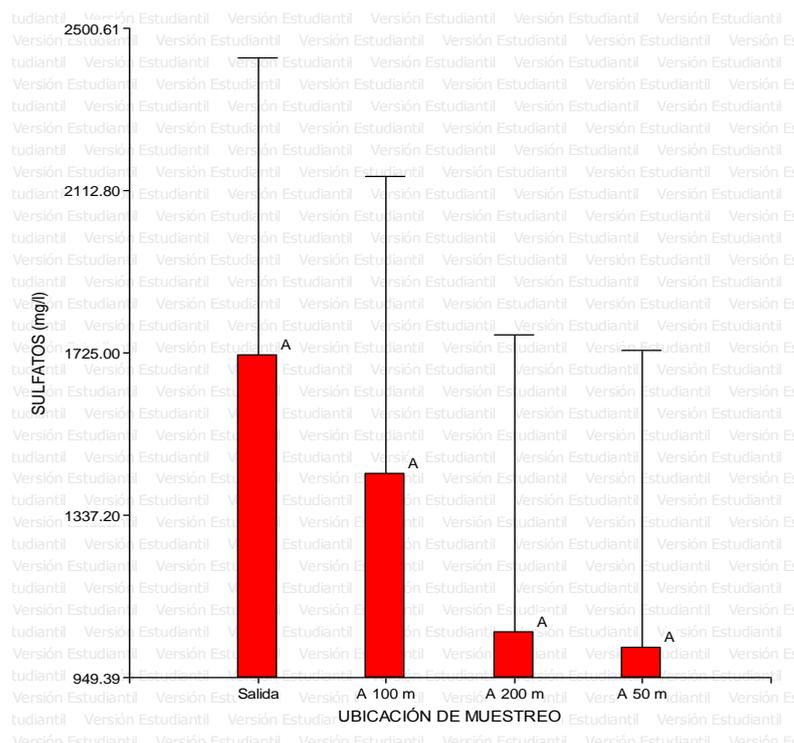


Figura 15. Prueba de Tukey para los valores de sulfatos en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019.

Los resultados obtenidos de esta investigación fueron superiores a los reportados por Cava y Ramos (2016), quienes en la localidad de Las Juntas del distrito de Pacora - Lambayeque, obtuvieron mayores concentraciones de sulfatos que oscilan entre 455.2 – 490.2 mg/l, por otro lado Curasi (2010), reporta valores sulfato que fluctúan entre 16.0 a 218.00 mg/l, en 73 pozos subterránea de la ciudad de Puno, así como también Calsín (2016), realizó un estudio de calidad fisicoquímica de agua subterránea de consumo humano en el sector de Taparachi III de la Ciudad de Juliaca fueron de 324.00 - 226.18 mg/l para sulfatos.

Asimismo, fueron superiores a los reportados por Robles *et al.* (2013), reportó en el estudio de calidad fisicoquímica del agua del acuífero Tepalcingo – Axochiapan, Morelos, México, donde las pruebas para sulfatos de 56.0, 91.2, 211.0 y 326.0 mg/l. Según los análisis de sulfatos, las muestras de agua de la laguna Orurillo no serían aptas desde el punto de vista del contenido de sulfatos, para consumo humano por ser superiores a los límites máximos permisibles emitidos por el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano DS N° 031-2010-SA. (250 mg/l).

Contrastando con los resultados de Mamani (2007), determinó valores promedios de 296 mg/l en muestras de agua de reservorio y de caño en el distrito de Huanuara (Tacna), Oruna (2010), quien reporta contenidos de cloruros de 7.8 – 1550 mg/l, en el agua potable de la ciudad de Puno, Quispe (2010), quien en la ciudad de Aplao (Arequipa) encontró valores de sulfatos promedio de 401.6 mg/l, Baccaro *et al.* (2006), quienes reportaron valores promedios de sulfatos de 200 mg/l en muestras de agua para consumo humano en Argentina y Gonzáles *et al.* (2007), quienes en Nicaragua obtuvieron promedios de sulfatos de 358 mg/l, todos éstos antecedentes fueron inferiores a los reportados en esta investigación.

Fernández y Fernández (2007), indican que la composición química del agua residual utilizadas para consumo humano, dependerán de los factores bióticos y abióticos como las fuentes de alimentación de los acuíferos, las infiltraciones de las precipitaciones atmosféricas, la lixiviación, erosión y meteorización de las rocas adyacentes y la actividad antrópica, se encuentran en concentraciones elevadas, cuando están cercanos al mar, añadiéndose la contaminación fecal que es ocasionada por vertimientos de agua residual sólidos y líquidos (Orozco *et al.*, 2003), asimismo la presencia de terrenos ricos en yesos, la contaminación con agua residual industriales, donde los contenidos superiores a 300 mg/l pueden causar trastornos gastrointestinales en los niños (Wilson *et al.*, 2007), efecto laxante a causa de sulfatos de sodio y magnesio (Guzmán, 2011), un dato muy importante es que el origen del sulfato serían las lluvias, la contaminación y a los fenómenos ambientales, ya que poseen ácido sulfúrico proveniente del dióxido de azufre presente en la atmósfera (Arboleda, 2000).

Los sulfatos, así como otras sustancias inorgánicas, también ejercen un poder incrustante, por eso la importancia de su evaluación en usos industriales, como es el caso del agua para calderas, caso contrario disminuiría su efectividad y, su tiempo de vida (Orozco *et al.*, 2005), asimismo, la descomposición de materia orgánica puede incrementar los niveles de sulfatos, en razón de que las bacterias afines al sulfato se activan (Aguilera *et al.*, 2010), mediante el proceso fisiológico de que las bacterias toman el oxígeno de los sulfatos formando sulfuro de hidrógeno, el cual es un compuesto de olor desagradable y altamente tóxico que elimina muchos organismos del medio, excepto las bacterias anaeróbicas del ecosistema (Guevara y Ortiz, 2009).

#### 4.2 Niveles de coliformes termotolerantes en agua de la laguna Orurillo

En la Tabla 12, se observa que los valores de coliformes termotolerantes del agua de diferentes ubicaciones de muestreo en la laguna Orurillo, oscilaron entre 30 NMP/100 ml y 32 NMP/100 ml con un promedio de 31.00 NMP/100 ml a la salida de la laguna y a 100m con los valores más altos que oscilan de 1385 NMP/100 ml y 580 NMP/100 ml . Los coeficientes de variabilidad variaron entre 4.56% a la salida de la laguna y a 100 m con 57.94%, por lo que se afirma que los datos presentaron una dispersión alta, apropiado para realizar una prueba no paramétrica de análisis de varianza.

Tabla 12

*Recuento de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019.*

Punto de muestreo	A 50 m	A 100 m	A 200 m	Salida
Repetición 1	880	1385	565	30
Repetición 2	370	580	1200	32
Promedio	625.00	982.50	882.50	31.00
D. E.	360.62	569.22	449.01	1.41
C. V. (%)	57.70	57.94	50.88	4.56

Donde: D. E. = desviación estándar; C. V. = coeficiente de variabilidad.

Los valores de coliformes termotolerantes obtenidos en los cuatro puntos de muestreo no se encuentran dentro de los ECAs para agua Categoría 4 (Figura 16) para conservación del ambiente acuático (coliformes termotolerantes = 1000 NMP/100ml), normado en el D. S. 004-2017-MINAM. Si comparamos las 4 ubicaciones de muestreo (a 50 m, a 100 m, a 200 m y salida de la laguna), no existió diferencia estadística significativa, ya que p-valor fue igual a 0.2277, el cual fue mayor a 0.05 (nivel de significancia estadística) (Anexo 8) (Figura 17).

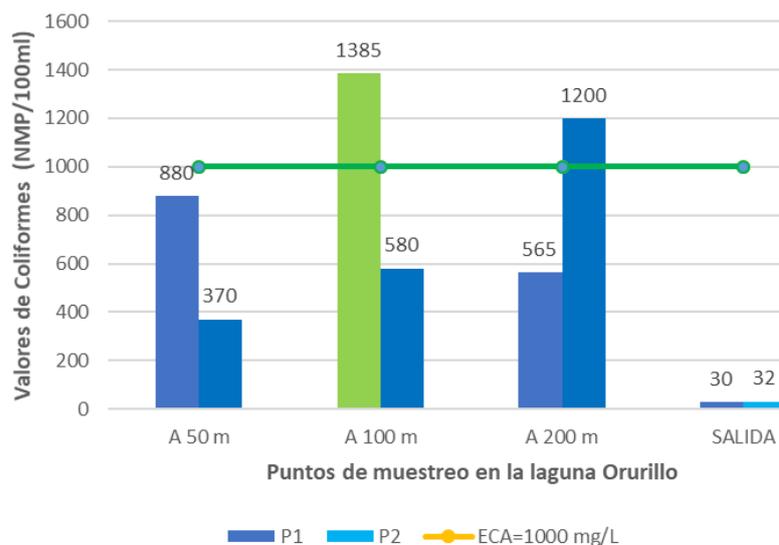


Figura 16. Recuentos de coliformes termotolerantes en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019.

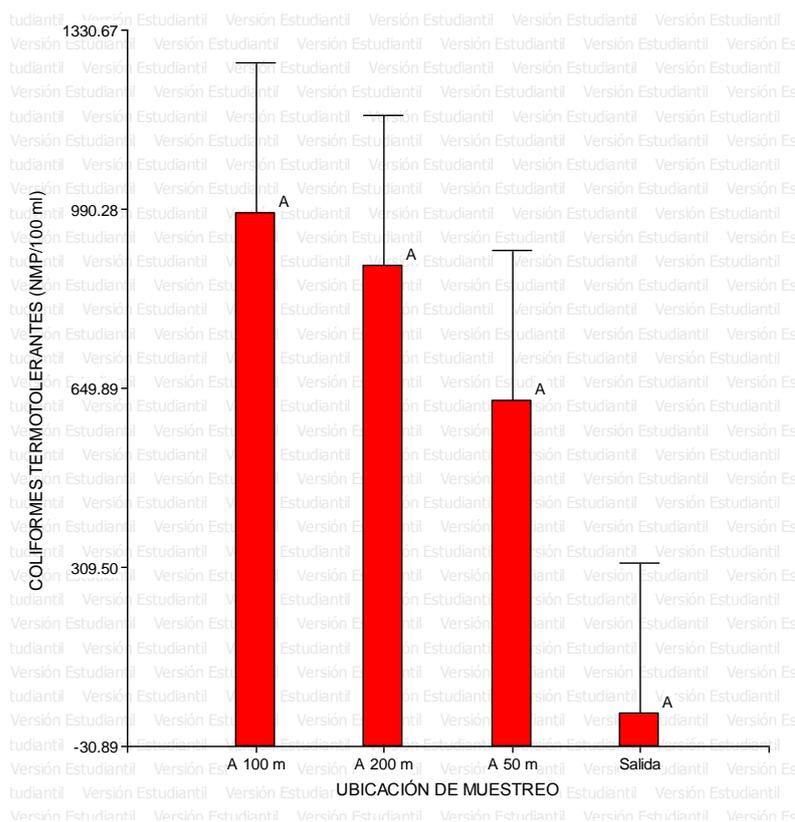


Figura 17. Prueba de Tukey para los recuentos de coliformes termotolerantes en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019.

Los resultados obtenidos en esta investigación, fueron similares y en algunos muestreos inferiores a los resultados obtenidos por Quinteros y Herrera (2009), quienes reportaron

en su estudio de Microbiología de agua subterránea en la región sur del municipio de Valledupar provincia de Cesar – Colombia, para coliformes fecales en los acuíferos, ya que se detectó la presencia de estas bacterias en todos los pozos y en todos los meses en que se realizaron los muestreos; 346 UFC/100 ml en el primer muestreo, 2600 UFC/100 ml en el segundo muestreo, 86 UFC/100 ml en el tercer muestreo, y 33 UFC/100ml en el cuarto muestreo; en contraste fueron superiores a los reportados por Calsín (2016), quien realizó un estudio de calidad bacteriológica de agua subterránea de consumo humano en el sector de Taparachi III de la Ciudad de Juliaca, fueron en promedio de 107.22 UFC/100 ml en pozos artesanales y 27.79 UFC/100 ml en pozos tubulares para coliformes fecales.

La investigación no concuerda con Cava y Ramos (2016), quienes caracterizaron físico - química y microbiológicamente el agua de consumo humano de la localidad de Las Juntas del distrito de Pacora - Lambayeque, obteniendo resultados inferiores de 1 – 2 UFC/100 ml de coliformes termotolerantes, por lo que se atrevería a afirmar que podría afectar la salud del consumidor, así como también fueron muy superiores a los mencionados por Robles *et al.* (2013) quienes realizaron el estudio de Calidad bacteriológica del agua del acuífero Tepalcingo – Axochiapan, Morelos, México, donde las pruebas bacteriológicas mostraron concentraciones de coliformes fecales en los pozos P6, P8, P2 y P7, fueron de 0.3, 0.5, 0.6, 1.08 UFC/100 ml respectivamente. Los valores obtenidos de recuentos elevados de coliformes termotolerantes se deberían a la presencia de la cercanía de pozo, hatos, bebederos de animales, letrinas por lo que el agua puede convertirse en un potencial riesgo de contraer enfermedades diarreicas si no lo realizan el proceso de desinfección por parte de la población que consume el agua. Por lo tanto la presencia de coliformes termotolerantes en el agua indica contaminación fecal hace que el agua no es apta para el consumo humano.

#### **4.3 Presencia de cadmio y plomo en agua de la laguna Orurillo.**

En la Tabla 13, se observa que los valores de cadmio del agua de diferentes ubicaciones de muestreo en la laguna Orurillo fueron de 0.002 mg/l, no se realizó ninguna prueba estadística en razón de que los datos fueron similares en todas las cuatro zonas de muestreo.

Tabla 13

Contenido de cadmio – Cd (mg/l) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019.

Punto de muestreo	A 50 m	A 100 m	A 200 m	Salida
Repetición 1	0.002	0.002	0.002	0.002
Repetición 2	0.002	0.002	0.002	0.002
Promedio	0.002	0.002	0.002	0.002
D. E.	0.00	0.00	0.00	0.00
C. V. (%)	0.00	0.00	0.00	0.00

Donde: D. E. = desviación estándar; C. V. = coeficiente de variabilidad.

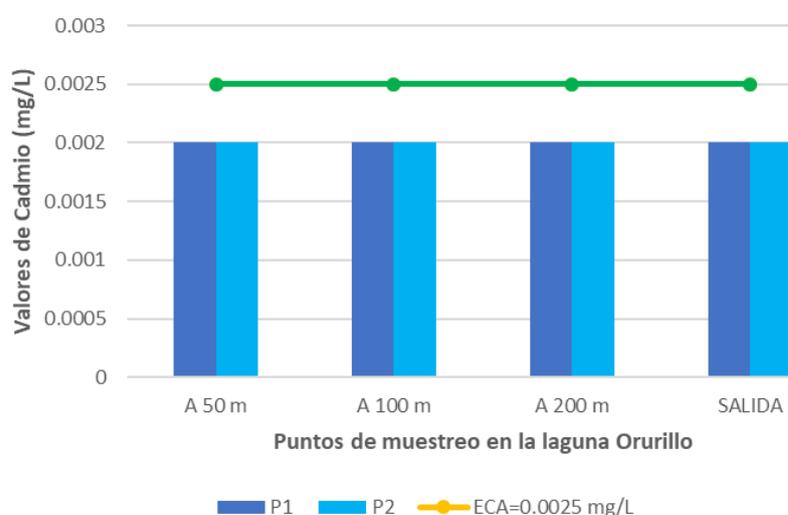


Figura 18. Contenido de cadmio en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019.

En la Tabla 14, se observa que los valores de plomo del agua de diferentes ubicaciones de muestreo en la laguna Orurillo, oscilaron entre 0.01 mg/l y 0.014 mg/l con un promedio de 0.01 mg/l a 200 m y de 0.014 mg/l y 0.014 mg/l con un promedio de 0.014 mg/l a la salida de la laguna. Los coeficientes de variabilidad variaron entre 0.00% a la salida de la laguna y a 50 m con 0.014 mg/l, por lo que se afirma que los datos presentaron una dispersión leve, adecuado para realizar la prueba paramétrica de análisis de varianza.

Tabla 14

Contenido de plomo – Pb (mg/l) de muestras de agua de la laguna Orurillo a 50, 100, 200 y salida de la laguna (n=2), marzo y julio 2019.

Punto de muestreo	A 50 m	A 100 m	A 200 m	Salida
Repetición 1	0.014	0.012	0.01	0.014
Repetición 2	0.00482	0.00387	0.014	0.014
Promedio	0.014	0.012	0.01	0.014
D. E.	0.00482	0.00387	0.014	0.00
C. V. (%)	0.014	0.012	0.01	0.00

Donde: D. E. = desviación estándar; C. V. = coeficiente de variabilidad.

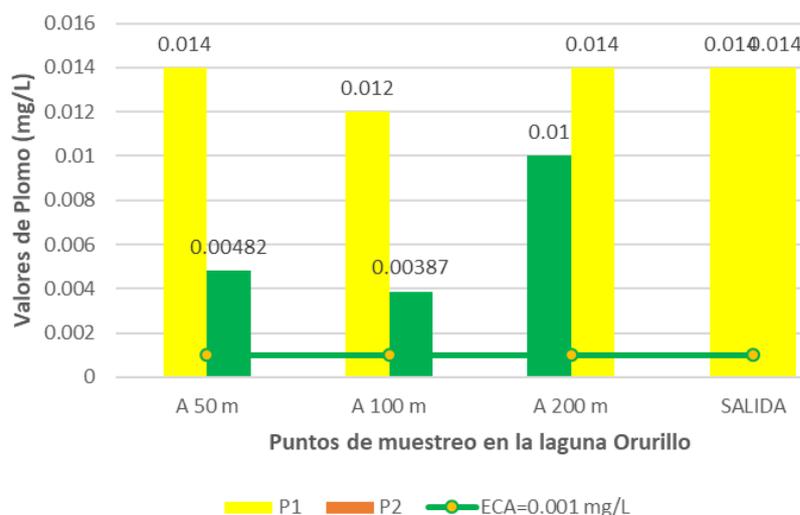


Figura 19. Contenido de plomo en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019.

Los valores de plomo obtenidos en los cuatro puntos de muestreo no se encuentran dentro de los ECAs para agua Categoría 4 (Figura 19) para conservación del ambiente acuático (plomo = 0.00025), normado en el D. S. 004-2017-MINAM. Si comparamos las 4 ubicaciones de muestreo (a 50 m, a 100 m, a 200 m y salida de la laguna), no existió diferencia estadística significativa, ya que p-valor fue igual a 0.2277, el cual fue mayor a 0.05 (nivel de significancia estadística) (Anexo 9) (Figura 20).

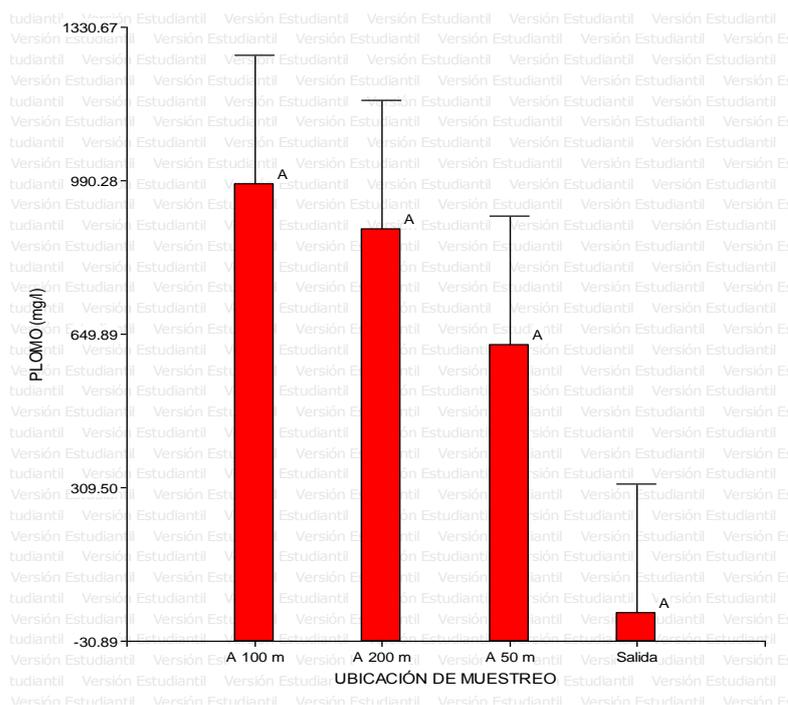


Figura 20. Prueba de Tukey para los contenidos de plomo en agua de la laguna Orurillo en diferentes lugares de muestreo, marzo y julio 2019.

Las muestras de agua presentaron valores de cadmio (Cd) aptas para riego de vegetales (Cd = 0.01 mg/l), para consumo de animales (Cd = 0.05 mg/l) y para potabilizar para consumo humano (Cd = 0.03), más no para conservación de ambientes acuáticos (Cd = 0.00025 mg/l). El cadmio que ingresa por vía respiratoria o por vía oral, se transporta a la sangre y se concentra en el hígado y el riñón. El cadmio tiene la capacidad de acumularse en estos órganos vitales lo que produce daños irreversibles aún para concentraciones reducidas. De otra parte, el tiempo de permanencia en estos órganos puede ser muy elevado. Así, el tiempo de vida media del cadmio en el riñón puede alcanzar los 30 años. Al cadmio se le reconoce como uno de los metales pesados con mayor tendencia a acumularse en las plantas. El cadmio causa severos desequilibrios en los procesos de nutrición y transporte de agua en las plantas (Singh y Tewari, 2003). La favorabilidad de acumulación de cadmio en las plantas ha llevado a considerarlas como potenciales candidatos para tareas de fitoremediación de este metal (Reyes *et al.*, 2016).

Para el caso de contaminación por metales pesados en agua, los límites máximos permisibles en concentración de cadmio por la Unión Europea y la FAO es de 0.05 mg/l (Códex, 1995; Unión Europea, 2016). Una de las causales responsables de incorporación de metales pesados en alimentos es a través de los sistemas hídricos. Ya sea por uso de

agua contaminada para riego de cultivos o por los procesos que tienen lugar en la cadena alimenticia en agua contaminada. Los numerosos estudios e inversiones resaltan el gran interés y preocupación en diferentes países del mundo sobre la necesidad de evaluar la contaminación de metales pesados en sistemas de agua que interactúan con productos de consumo humano tales como los alimentos de origen vegetal y animal (Reyes *et al.*, 2016).

La importancia que tiene el estudio de metales pesados como el cadmio y plomo en diferentes matrices es por la elevada toxicidad, la alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos, sus efectos no se detectan fácilmente a corto plazo, donde la toxicidad de estos metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos (Reyes *et al.*, 2016), de los trabajos realizados en la cuenca del río Bogotá, cabe destacar el estudio y evaluación del impacto de contaminación sobre la salud en el embalse del Muña, ubicado en Bogotá, donde se determinó concentraciones de Hg, Cd, Pb y As en cultivos hortícolas, en los suelos y en los cultivos de apio, repollo, lechuga y Brócoli, regados con agua provenientes del río Bogotá, a través del distrito de riego La Ramada (Miranda *et al.*, 2008).

A nivel mundial y regional se observa una creciente contaminación por metales pesados, que compromete severamente la salud, seguridad alimentaria y medio ambiente, los estudios demuestran que la leche de bovinos que pastorean e ingieren agua, pastos o forrajes contaminados por metales pesados (Hg, As, Cd y Pb) influye sobre las concentraciones de dichos elementos en la leche y carne, similar forma las condiciones de cultivo influyen en la concentración de metales pesados sobre las diferentes matrices (aire, agua, suelo y plantas), los límites máximos permisibles de concentración de metales están muy bien establecidos en agua por lo que varían según la entidad; sin embargo, aún falta por definir los límites de concentración y riesgo de Hg, As y Cd en hortalizas, legumbres y cereales, para permitir estandarizar y consensuar los estudios de contaminación que se están realizando, así como los efectos tóxicos y en ambiente (Reyes *et al.*, 2016).

Los valores cuantificados de plomo en muestras de agua, fueron inferiores a los mencionados por Huaranga *et al.* (2012), quienes evaluaron la contaminación del agua de la cuenca alta, media y baja del río Moche (Trujillo, Perú), reportando contenidos de plomo de 100.37 mg/l; a los registrados por Venero y Tupayachi (2012), quienes

registraron valores de 0.00 mg/l en agua de la laguna Orurillo; a los reportados por Afán y Flores (2015), quienes evaluaron la presencia de plomo y arsénico en agua potable en el distrito de Hualgayoc, provincia Hualgayoc, Departamento de Cajamarca, la concentración promedio de plomo fue de 0.0564 mg/l (0.0105 mg/l – 0.1587 mg/l) encontrándose que el 100% superan las concentraciones del LMP dados por DIGESA (0.010 mg/l).

Por otro lado, fueron similares a los registrados por en la desembocadura del río Ramis, donde las muestras de agua presentaron contenidos de plomo de 0.014 mg/l y a los citados por Meza (2018), quien cuantificó plomo y arsénico, en agua de caño para consumo humano y del reservorio central provenientes del río Cañete en el anexo de Huancapuquio, distrito de Chocos, de la provincia de Yauyos, en 10 muestras de agua de los caños encontró que la concentración promedio de plomo, en las muestras proveniente de caño fue de 0.012 mg/l; en el reservorio central se encontró un promedio de 0.009 mg/l.

El principal riesgo del plomo es su toxicidad, la intoxicación se manifiesta en las enfermedades profesionales. El consumo industrial de plomo se viene incrementando y los consumidores tradicionales se han ido reemplazando por nuevos. El plomo se absorbe vía tracto digestivo, debido a la generación de polvo conteniendo plomo y que sedimentan sobre las plantas y los acuáticos, estos son consumidos posteriormente por el hombre y los animales. El plomo inhalado y depositado en el sistema respiratorio bajo, se absorbe por completo, alteran la fisiología de los huesos, la sangre, los riñones, el hígado y el cerebro y los dientes, en tal sentido, para que se desarrolle una intoxicación por plomo, no es necesaria una exposición aguda importante, ya que el organismo humano acumula este metal durante toda su vida y es liberado lentamente, en tal sentido dosis pequeñas producen, con el transcurrir del tiempo, una intoxicación por plomo, ya que diversos órganos están expuestos a dichos efectos adversos (Repetto y Repetto, 2009).

Los principales procesos fisiológicos afectados por la fitotoxicidad del Pb son la actividad enzimática, la nutrición mineral, el potencial hídrico, el estatus hormonal, la estructura de la membrana y el transporte de electrones. A altas concentraciones de Pb, ocurre una inhibición de crecimiento de la raíz y del mismo modo a bajas concentraciones de Pb, existe una mayor sensibilidad en el desarrollo y extensión de la raíz principal. Debido a

esto, se dice que la inhibición del crecimiento radicular bajo toxicidad con Pb puede ser un resultado de la inhibición de la división celular de la raíz (Vargas *et al.*, 2007).

#### 4.4 Implementación de un Sistema Experto de Información para la evaluación de la calidad del agua de la laguna Orurillo.

En estos tiempos de competencia las partes más importantes del lenguaje de programación Prolog es ejecutar la función de un sistema experto de información en diferentes áreas, en este caso el ambiente de desarrollo y el ambiente de consulta a realizar en una cuenca hidrográfica laguna Orurillo. El ambiente de desarrollo es utilizado por el constructor para crear los componentes e introducir conocimiento en la base de datos. El ambiente de consulta puede ser utilizados por los no-expertos para obtener conocimiento experto sobre la calidad de agua en diferentes parámetros que nos permita la predicción, simulación y diagnóstico del problema.

Lógica de código fuente:

fpH(X,Y):-

$X < 7 \rightarrow Y = \text{'Acido'}$  ;

$X > 7 \rightarrow Y = \text{'Básico'}$  ;

$X = 7 \rightarrow Y = \text{'Neutro'}$  .

fConductividad(X,Y):-

$X < 1000 \rightarrow Y = \text{'Normal'}$  ;

$X > 1000 \rightarrow Y = \text{'Sales en exceso'}$  .

fAlcalinidad(X,Y):-

$X < 20 \rightarrow Y = \text{'No permitido'}$  ;

$X = 20 \rightarrow Y = \text{'Mínimo Aceptable'}$  ;

$X > 20, X < 25 \rightarrow Y = \text{'Pobrementemente Amortiguadas'}$ ;

$X \geq 25, X \leq 75 \rightarrow Y = \text{'Moderadamente Amortiguadas'}$ ;

$X > 75 \rightarrow Y = \text{'Muy Amortiguadas'}$ .

fCloruro(X,Y):-

$X < 500 \rightarrow Y = \text{'Normal'}$  ;

$X > 500 \rightarrow Y = \text{'Agua Salda'}$ ;

fnitrito(X,Y):-

$X < 0.06 \rightarrow Y = \text{'Aceptable'}$  ;

$X > 0.06 \rightarrow Y = \text{'Posible Riesgo'}$ ;

fnitrato(X,Y):-

$X < 13 \rightarrow Y = \text{'Aceptable'}$ ;

$X > 13 \rightarrow Y = \text{'Posiblemente Riesgo'}$ ;

fsulfato(X,Y):-

$X < 1000 \rightarrow Y = \text{'Normal'}$  ;

$X > 1000 \rightarrow Y = \text{'Bebida Laxante'}$ ;

fTemperatura(X,Y):-

$X = 7 \rightarrow Y = \text{'Riesgo'}$  ;

$X < 10 \rightarrow Y = \text{'Helado'}$  ;

$X > 25 \rightarrow Y = \text{'Calor'}$  ;

fplomo(X,Y):-

$X < 0 \rightarrow Y = \text{'Observable'}$  ;

$X > 0.001 \rightarrow Y = \text{'Riesgo'}$ ;

fcadmio(X,Y):-

$X < 0.00025 \rightarrow Y = \text{'Apto'}$  ;

$X > 0.00026 \rightarrow Y = \text{'Riesgo'}$ ;

fcoliforme(X,Y):-

$X < 1000 \rightarrow Y = \text{'Agua Limpia'}$  ;

$X > 1000 \rightarrow Y = \text{'Contaminación Origen Fecal'}$ ;

## CONCLUSIONES

- Los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua de la laguna Orurillo fueron: pH de 7.68 a 8.02, conductividad eléctrica de 2.279 a 4.576 mS/cm, alcalinidad de 92.09 a 136.19 mg/l, cloruros de 91.15 a 224.19 mg/l, nitritos todos con 0.03 mg/l, nitratos de 0.04 a 0.40 mg/l, sulfatos de 1019.91 a 1719.75 mg/l, todos los valores no presentaron diferencia estadística significativa ( $P \geq 0.05$ ), donde los valores de conductividad eléctrica, alcalinidad y sulfatos superaron los valores permisibles de la norma vigente.
- Los niveles de coliformes termotolerantes en el agua de la laguna Orurillo, sobrepasan los valores permisibles del D. S. 004-2017-MINAM de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua, categoría 4 con valores de 31 a 982.50 NMP/100 ml, sin presentar diferencia estadística significativa entre los puntos de muestreo.
- La presencia de cadmio y plomo en el agua de la laguna Orurillo osciló de 0.002 mg/l y 0.01 a 0.014 mg/l respectivamente, no existiendo diferencia estadística significativa ( $P \geq 0.05$ ), pero superan los valores recomendados en la norma vigente.
- El sistema experto de información PROLOG es útil para la evaluación del agua de la laguna Orurillo, donde luego de ingresar los datos de las muestras se obtuvo que la conductividad eléctrica, alcalinidad y los sulfatos se encuentran por encima de las normas ECAs.

### RECOMENDACIONES

- A la Municipalidad Distrital de Orurillo, realizar monitoreo y detección de contaminantes en agua, fauna y flora, para trazar mapas de concentración de estos contaminantes y favorecer los planes de acción conducentes a tareas de mitigación y remediación. Es importante atender puntos estratégicos de Colombia, como el río Bogotá y el Lago de Tota, entre otros.
- A las entidades de salud relacionadas a la calidad de agua (DIGESA, EMSA, entre otros), realizar estudios sistemáticos, científicos y complementarios del contenido de metales pesados en diferentes matrices que permitan la elaboración de informes fehacientes y con visión del futuro sobre el estado de la laguna Orurillo e incidir directamente sobre la calidad y la localización, con ello se puede facilitar una mejor identificación y control de dichas afluencias para que los organismos pertinentes puedan tomar medidas preventivas y decisiones de mejora.

## BIBLIOGRAFÍA

- Afán, K. y Flores V. (2015). *Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del distrito Hualgayoc, Cajamarca – octubre 2017*. Tesis de Químico Farmacéutico. Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Norberth Wiener. Lima – Perú. 93 p.
- Aguilera, I., Pérez R. y Marañón A. (2010). *Determinación de sulfato por el método turbidimétrico en aguas y aguas residuales*. Validación del método. Revista Cubana de Química. Vol. 22, No. 3.
- ANA. (2015). *Informe Técnico N<sup>o</sup> -2015- ANA - AAA*. SDGCRH. TIT. Legislativo. Lima - Perú.
- Andersen, S., Olesen, K., Jensen, F. y Jensen F. (1989). *Hugin: A shell building bayesian belief universes for expert systems*. In proceedings of the 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence (UCAI - 89). San Mateo - Canadá: Publicaciones Morgan Kaufmann.
- Andreis, J. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR. Programa Calidad Ambiental. Colombia. 148 p.
- Apaza, R., Calcina, M. (2014). *Contaminación natural de aguas subterráneas por arsénico en la zona de Carancas y Huata, Puno – Perú*. Revista Investigaciones Altoandinas. Vol. 16, No. 1: 51 - 58.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Colombia: Ed. McGraw Hill. p. 31.

- Autoridad Administrativa del Agua XIV – Titicaca. (2015). *Evaluación de la calidad de agua en la unidad hidrográfica Coata – Puno*. Subdirección de gestión de calidad de recursos hídricos Puno – Perú. 40 p.
- Baccaro, K., Degorgue, M., Lucca, M., Picone, L., Zamuner, E. y Ancheoli Y. (2006) *Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar de Plata*. Revista Investigaciones Agropecuarias. Argentina. Vol. 35, No. 3.
- Bachman, R., Levesque, H. y Reiter R. (1991). *Artificial Intelligence*. Special Volume on Knowledge Representation. 49 p.
- Baird, C. y Cann M. (2012). *Química ambiental*. Segunda edición. Editorial Reverté. Barcelona – España. 776 p.
- Belizario, E. (2011). *Evaluación de la calidad de agua subterránea para fines de consumo humano de la comunidad de Carata del distrito de Coata*. Tesis de Ingeniero Agrícola. Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. 131 p.
- Calisaya, J. (2016). *Aplicación de sistema experto para el diagnóstico de fallas en networking de área local de la ciudad de Chucuito Juli 2015*. Tesis de Ingeniero de Sistemas. Facultad de Ingeniería de Sistemas, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. Juliaca – Perú. 74 p.
- Calsín, K. (2016). *Calidad física, química y bacteriológica de aguas subterráneas de consumo humano en el sector de Taparachi III de la ciudad de Juliaca, Puno – 2016*. Tesis de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. 64 p.
- Canales, A. (2010). *Evaluación de la biomasa y manejo de Lemna gibba (lenteja de agua) en la bahía interior del lago Titicaca, Puno*. Revista Ecología Aplicada. Vol. 9, No. 2: 91 – 99.
- Carreon, T. y Díaz J. (2013). *Evaluación de la calidad del agua en la laguna de Yuriria, Guanajuato, Mexico, mediante técnicas multivariadas: un análisis de valoración paa dos épocas 2005, 2009-2010*. Revista Contaminación Ambiental. Vol. 29, No. 3: 147-163.

- Castaño, D. y Serna D. (2012). *Estudio limnológico de la laguna negra. zona amortiguadora del P.N.N. los nevados*. Boletín científico centro de museos, Museo de Historia Natural. Vol. 16, No. 2: 23 – 38 p.
- Cava, T. y Ramos F. (2016). *Caracterización físico – química y microbiológica de agua para consumo humano de la localidad Las Juntas del distrito Pacora – Lambayeque, y propuesta de tratamiento*. Tesis de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque – Perú. 161 p.
- Clark, A. y Bloch H. (2004). *Restauración de Humedales - Manejo Silvestre de Humedales y Lagos Someros*. España: Global Nature Fund.
- Clsceri, L. y Greenberg, A. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. NorteAmerica. 20 th Et.
- Codex Stand. 1995. *Norma general del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos*. Recuperado de: [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/livestockgov/documents/CXS\\_193s.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXS_193s.pdf)
- Curasi, L. (2010). *Evaluación de la calidad de agua subterránea con fines de consumo doméstico de la ciudad de Puno*. Tesis de Ingeniero Agrícola. Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. 172 p.
- De Miguel, C. y Vázquez Y. (2006). *Origen de los nitratos ( $NO_3$ ) y nitritos ( $NO_2$ ) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas*. Revista Minería y Geología. Holguín – Cuba. Vol. 22 (3): 1- 9.
- Doria, C., Daza, A., Deluque, H., López, A. y Serna, J. (2009). *Caracterización físico – química y microbiológica de las aguas de reservorios en los resguardos indígenas localizados en la zona de influencia del Complejo Carbonífero Cerrejón, La Guarija – Colombia*. Tesis de Magíster en Química. Universidad de Zulia. Venezuela.
- Durkin, J. (1994). *Expert Systems: Design and Development*. New York: Maxwell Macmillan.

- El Peruano, diario oficial. (2008). *Decreto Supremo N<sup>o</sup> 002 - 2008 - MINAM*. Lima. Normas Legales del Diario Oficial El Peruano.
- Espinal, E. (2013). *Evaluación de la calidad del agua en Laguna de Yuriria Guanajuato Mexico*. Revista Contaminación Ambiental. 17 p.
- Fajardo, D. (2008). *Manejo Integrado de cuencas Asociadas al complejo Hidrológico*. Unidad Mundial Para la Naturaleza. 48 p.
- Fernández, M. (2009). *Características biológicas y físico-químicas de la laguna de Punta Catedral, Parque Nacional Manuel Antonio, Quepos*. Tesis de Biólogo. Vicerrectoría de Vida Estudiantil, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 41 p.
- Fernández, M. y Fernández O. (2007). *Evaluación de la calidad físico – química y bacteriológica del agua subterránea en pozos criollos del municipio de Moa*. Revista de Minería y Geología. Vol. 23 (4).
- Fontúrbel, F. (2005). *Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del lago Titicaca (Bolivia)*. Revista de Ecología Aplicada. Vol. 4, No. 1,2: p. 135 – 141.
- Galledos, L. y Rodríguez F. (2001). *Evaluación de la calidad el agua de la laguna Blanca: sus causas y respuestas*. Proyecto financiado por aguas de la costa S.A. y CSIC (programa de vinculación con el sector productivo). 65 p.
- Garzon, L. (1999). *Hidrogeoquímica*. España: Croserf.
- González, O., Aguirre J., Saugar G., Orozco L., Alvarez G., Palacios K. y Guevara O. (2007). *Diagnóstico de la calidad del agua de consumo en las comunidades del sector rural nor este del municipio de León, Nicaragua*. Revista Universitas, Vol. 1, No. 1: p. 7 – 13.
- Guerra, F. (1979). *Edafología General*. Editorial DAP. La Habana – Cuba. 350 p.
- Guevara, P. y Ortiz M. (2009). *Adaptación a microescala del método potenciométrico con electrodo ión selectivo para la cuantificación de fluoruro*. México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Vol. 25, No. 2.

- Guzmán, G. (2011). *Evaluación espacio temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México*. México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Vol. 27, No. 2.
- Hernández, A. (2001). *Depuración y desinfección de aguas residuales*. Quinta Edición. Editorial Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puentes. Madrid – España. 1151 p.
- Hernández, J. (2016). *Contaminación de lagunas por metales pesados. Propuesta de remediación sustentable*. Revista de Ingeniería Tecnología y Ciencias Aplicadas. 5 p.
- Huaranga, F., Méndez E., Quilcat V. y Huaranga F. (2012). *Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 – 2010, La Libertad – Perú*. Revista Scientia Agropecuaria. Vol. 3: 235 – 247.
- IMARPE y PELT. (2015). *Monitoreo ecológico y limnológico de la laguna Lagunillas, Lampa - Puno*. Informe técnico. Convenio Instituto del Mar del Perú – Proyecto Especial Lago Titicaca. Puno – Perú. 56 p.
- Jackson M. (1970). *Análisis Químico de Suelos*. Wisconsin, USA. 288 p.
- Kirchner, N. (2003). *Línea de base Ambiental cap IV*. Argentina: Represa Patagonia.
- Kirchner, N. y Cepernic J. (2015). *EIA. Aprovechamiento hidroeléctrica del río Santa Cruz*. Capítulo 4 - Línea de Base Ambiental. 58 p.
- López, G. (2011). *Creación de un sistema experto aplicado a estimación de estado para centros de control de energía*. Tesis de Ingeniera de Sistema y Computación. Facultad de Ingenierías. Universidad Tecnológica de Pereira. 75 p.
- Mamani, E. (2007). *Análisis físico – químico y biológico del agua para consumo humano en el distrito de Huanuara en Tacna*. Revista Ciencia y Desarrollo. No. 11: 67 -70.
- Mamani, J. (2016). *Evaluación de la calidad Físico Química y Bacteriológica del agua de riego de la estación experimental de Cota Cota*. Tesis de Licenciado en Agronomía. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz – Bolivia. 150 p.

- Mejía, M. (2005). *Análisis de la calidad de Agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías aprobadas para su desinfección a escala domiciliar en la microcuenca el Limón, San Geronimo, Honduras*. Tesis de Magíster Scientiae en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba – Costa Rica. 123 p.
- Melgarejo, J. (2003). *Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada*. Editorial Universitat. Barcelona – España.
- Meza, M. (2018). *Determinación de plomo y arsénico por absorción atómica en aguas de río para consumo humano provenientes de caños y reservorio en el anexo de Huancapuquio, distrito de Chocos, Provincia de Yauyos, 2017*. Tesis de Químico Farmacéutico. Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Particular Norbert Wiener. 87 p.
- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C. A., Jerez, C. M., Fischer, G. y Zurita, J. (2011). *Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá*. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. Vol. 2, No. 2: 180 – 191.
- Moreno, T. (2013). *Lagunas altoandinas del sur del Perú: características químicas*. Revista Ciencia & Desarrollo. Vol. 3: 89 – 95.
- Mossel, D., Moreno, B. y Struijk, C. (2006). *Microbiología de alimentos*. 2da Edición. Editorial ACRIBIA S.A. Zaragoza – España. 703 p.
- Olarte, L. (2006). *Análisis Estadístico Multivariado de los Parámetros de calidad del agua en vertimientos urbanos en la ciudad de Bogotá*. IAMB. 105 p.
- Orosco, M., Ramírez, F. y Cruz J. (2008). *Aguas subterráneas de pozos artesanales y efluentes hídricos de la costa de Chiapas (México)*. Revista Higiene y Sanidad Ambiental. Vol. 8: 348 – 354 p.
- Orozco, C., Pérez A., González N., Rodríguez F. y Alfayate J. (2005). *Contaminación ambiental, una visión desde la química*. Editorial Thomson. Madrid – España. 678 p.

- Oruna, C. (2010). *Calidad bacteriológica, física - química del agua potable de la ciudad de Puno*. Tesis de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú.
- Paredes, A. (2013). *Calidad fisicoquímica y biológica de agua en la zona de captación – Chimu, del lago Titicaca destinada para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Puno*. Tesis de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú.
- Pascual, M. y Calderón V. (1999). *Microbiología Alimentaria*. 2da edición. Ediciones Díaz de Santos. Madrid – España. 464 p.
- Perez, A. y Alvarez Ñ. (2016). *Índice de calidad del agua según NSF del humedal laguna Los Milagros (Tingo María)*. Revista Indes. 10 p.
- Pérez, E. (2016). *Control de calidad en aguas para consumo en la región occidental de Costa Rica*. Revista Tecnología en marcha. Vol. 29, No. 3: 3 – 14.
- Petro A. y Wees T. (2014). *Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del municipio de Turbaco – Bolívar, Caribe Colombiano*. Tesis de Ingeniero Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena de Indias – Colombia. 95 p.
- Petro, A. y Wees, T. (2014). *Evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua de municipio de Tubarco – Bolívar, Caribe Colombia*. Tesis para optar el Título de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Tecnológica de Bolívar. Colombia. 95 p.
- Pezo, W. y Calderón V. (2016). *Estudio y análisis Físico-Químico y Bacteriológico del cuerpo de agua del Lago Morona Cocha-Iquitos-Loreto*. Tesis de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos – Perú. 111 p.
- Quinteros, D. y Herrera I. (2009). *Microbiología de aguas subterráneas en la región sur del municipio de Valledupar – Cesar – Colombia*. Tesis de Microbiólogo. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Popular del Cesar. 75 p.

- Quispe, H. (2010). *Componentes físico – químicos e indicadores bacterianos de contaminación fecal en aguas de consumo humano de la ciudad de Aplao, Valle de Majes, Arequipa*. Tesis de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú.
- Ramírez, C. (2011). *Calidad de agua Evaluación y Diagnóstico..* Ediciones de la Universidad. Colombia.
- Repetto, M. y Repetto G. (2009). *Toxicología fundamental*. 4ª edición. España. Díaz Santos.
- Reyes, Y. (2015). *Sistema portable de pretratamiento para asistir nanosensores con capacidad de detección y cuantificación In situ de muestras de agua*. Tesis de Magíster en Hidrosistemas. Facultad de Ingenierías, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá – Colombia. 114 p.
- Reyes, Y., Vergara I., Torres O., Díaz M. y González E. (2016). *Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria*. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo. Vol. 16 (2): 66 – 77.
- Robles, E, Ramírez E., Durán A., Martínez M. y Gonzales M. (2013). *Calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua del acuífero Tepalcingo – Axochiapan, Morelos México*. Revista Avances en Ciencia y Tecnología. Vol. 4 No. 1: 19 – 28.
- Rodríguez, C., Mancini M., Prospero C., Weyers A., Alcantú G. (2001). *Calidad de agua de una laguna recreacional del Centro-Oeste de la provincia de Cordoba, Argentina*. Revista Aquatic. No. 12. 9 p.
- Romero, R. (2009). *Calidad de aguas*. 3ra edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.
- Ruesta, C. (2008). *Evaluación, optimización y rediseño de las lagunas de estabilización El Cucho, Sullana*. Tesis de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de Piura. Piura – Perú. 142 p.
- Serrano, A. y Martínez R. (2006). *Guía básica de control de calidad de agua*. ONGAWA Ingeniería para el desarrollo humano. Madrid.

- Sierra, C. y Ramírez J. (2011). *Calidad de agua Evaluación y Diagnóstico*. Ediciones de la Universidad. Universidad de Medellín. Colombia. 460 p.
- Singh, P. y Tewari, K. (2003). *Cadmium toxicity induced changes in plant water relations and oxidative metabolism of Brassica juncea L. plants*. Journal of Environmental Biology. Vol. 24, No. 1: 107 – 112.
- Sotil, L. y Flores H. (2016). *Determinación de parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos del contenido de las aguas a del río Mazan - Loreto 2016*. Tesis de Ingeniero Químico. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos – Perú. 70 p.
- Spiegel, J., y Preul, H. C. (2011). *Control de la Contaminación del agua*. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. 60 p.
- Spiegel, M. y Stephens L. (2009). *Estadística Schaum*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Stevens, L. (1984). *Artificial Intelligence. The Search for the Perfect Machine*. Hasbrouck Heights: Hayden Book Company.
- Swatuk, L., Mengiste A. y Jembere K. (2008). *Habilidad de resolución de conflictos y negociación para la gestión integrada de los recursos hídricos*. Manual de Capacitación. Cap – Net. 115p.
- UNICEF. (2003). *Conjunto de monitoreo para el abastecimiento y saneamiento del agua*. Manual practico. OMS. 54 p.
- Unión Europea. (2016). *Contenidos máximos en metales pesados en productos alimenticios*. Recuperado de: <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf>
- Vargas, L., Martínez M., Ortiz R. y López. J. (2007). *Efecto de metales pesados sobre el crecimiento de la raíz primaria de Arabodopsis thaliana*. Revista Ciencia Nicolaita. p. 49.
- Vargas, M. y Estudillo J. (2005). *Caracterización de algunos parámetros físicos químicos de agua y sedimento de lago Zempoala México*. Acta Universitaria. 65 p.
- Velasco, J. y Rubio A. (2002). *Características Físico- Químicas de diferentes masas de agua: cuenca de Tajo*. Revista de Ecología. N° 16. p. 35.

- Venero, J. y Tupayachi A. (2012). *Guía de aves y flora laguna Orurillo*. Editorial Alpha Servicios Graficos. Cuzco.
- Vera, A. (1996). *Control de calidad del agua métodos de análisis para la evaluación de la calidad del agua*. OPS/CEPIS/96 Original. España. 51 p.
- Vilca, C. (2011). *Calidad Bacteriológica y Físico – química del agua de consumo humano en la localidad de Vilque*. Tesis de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú.
- Vilchez, R. (2004). *Aplicación de los sistemas expertos en el sector pesquero*. Tesis de Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú.
- Villamarín, Ch. (2008). *Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos altoandinos del Ecuador y Perú, diseño de un sistema de medida de la calidad del agua con índices multimétricos*. Tesis de Doctor en Ecología Fundamental y Aplicada. Facultad de Biología, Universidad de Barcelona. Barcelona – España. 207 p.
- Wilson D., Fernández A. y Zayas Y. (2007). *Desarrollo y validación de un método de valoración anemométrica para la determinación del ion sulfato en muestras de aguas naturales y residuales*. Revista Cubana de Química. Vol. 19, No. 2.
- Yael, V., Perillo E. y Piccolo C. (2004). *Calidad y aprovechamiento del agua de la laguna Unamuno (Argentina)*. Revista Papeles de geografía. Vol. 40: 173 - 184.
- Zamora, F., Rodríguez N., Torres D. y Yendis H. (2008). *Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, Estado Falcón*. Revista Bioagro. Vol. 20, No. 3: 193 – 199.
- Zevallos S. (2018). *Calidad de agua, bioacumulación de metales pesados y niveles de estrés en la trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss) en Challhuahuacho, Apurímac*. Tesis de Magíster en Sanidad Acuicola. Escuela de Posgrado Víctor Alzamora Castro. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima – Perú. 62 p.

## ANEXOS

## Anexo 1

*Análisis de varianza y prueba de Tukey de los valores de pH en cuatro ubicaciones de muestreo en la laguna de Orurillo.*

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.42	3	0.14	1.13	0.4366
Ubicación	0.42	3	0.14	1.13	0.4366
Error	0.49	4	0.12		
Total	0.91	7			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.43140

Error: 0.1236 gl: 4

Ubicación	Mediasn	E.E.	
Salida	8.32	2	0.25 A
A 50 m	7.99	2	0.25 A
A 200 m	7.95	2	0.25 A
A 100 m	7.68	2	0.25 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

## Anexo 2

*Análisis de varianza y prueba de Tukey de los valores de conductividad eléctrica en cuatro ubicaciones de muestreo en la laguna de Orurillo.*

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	399.49	3	133.16	0.31	0.8158
Ubicación	399.49	3	133.16	0.31	0.8158
Error	1696.49	4	424.12		
Total	2095.98	7			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=83.83606

Error: 424.1217 gl: 4

Ubicación	Mediasn	E.E.	
A 50 m	64.57	2	14.56 A
A 200 m	62.50	2	14.56 A
Salida	58.89	2	14.56 A
A 100 m	46.36	2	14.56 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

## Anexo 3

*Análisis de varianza y prueba de Tukey de los valores de alcalinidad en cuatro ubicaciones de muestreo en la laguna de Orurillo.*

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2170.77	3	723.59	0.52	0.6918
Ubicación	2170.77	3	723.59	0.52	0.6918
Error	5581.75	4	1395.44		
Total	7752.52	7			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=152.06911

Error: 1395.4387 gl: 4

Ubicación	Mediasn	E.E.
A 100 m	136.19 2	26.41 A
A 50 m	125.56 2	26.41 A
A 200 m	112.05 2	26.41 A
Salida	92.09 2	26.41 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### Anexo 4

*Análisis de varianza y prueba de Tukey de los valores de cloruros en cuatro ubicaciones de muestreo en la laguna de Orurillo.*

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	23107.45	3	7702.48	1.18	0.4213
Ubicación	23107.45	3	7702.48	1.18	0.4213
Error	26030.66	4	6507.67		
Total	49138.11	7			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=328.39629

Error: 6507.6652 gl: 4

Ubicación	Mediasn	E.E.
Salida	224.19 2	57.04 A
A 100 m	118.50 2	57.04 A
A 200 m	97.27 2	57.04 A
A 50 m	91.15 2	57.04 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### Anexo 5

*Análisis de varianza y prueba de Tukey de los valores de nitratos en cuatro ubicaciones de muestreo en la laguna de Orurillo.*

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.18	3	0.06	1.23	0.4079
Ubicación	0.18	3	0.06	1.23	0.4079
Error	0.20	4	0.05		
Total	0.38	7			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.90170

Error: 0.0491 gl: 4

Ubicación	Mediasn	E.E.
A 100 m	0.40 2	0.16 A
Salida	0.09 2	0.16 A
A 200 m	0.04 2	0.16 A
A 50 m	0.04 2	0.16 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

Anexo 6

*Análisis de varianza y prueba de Tukey de los valores de sulfatos en cuatro ubicaciones de muestreo en la laguna de Orurillo.*

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	663181.25	3	221060.42	0.22	0.8787
Ubicación	663181.25	3	221060.42	0.22	0.8787
Error	4036813.09	4	1009203.27		
Total	4699994.34	7			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4089.54474

Error: 1009203.2729 gl: 4

Ubicación	Medias	n	E.E.
Salida	1719.75	2	710.35 A
A 100 m	1434.84	2	710.35 A
A 200 m	1057.06	2	710.35 A
A 50 m	1019.91	2	710.35 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

Anexo 7

*Análisis de varianza y prueba de Tukey de los recuentos de coliformes termotolerantes en cuatro ubicaciones de muestreo en la laguna de Orurillo.*

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1093676.50	3	364558.83	2.22	0.2277
Ubicación	1093676.50	3	364558.83	2.22	0.2277
Error	655677.00	4	163919.25		
Total	1749353.50	7			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1648.16474

Error: 163919.2500 gl: 4

Ubicación	Mediasn	E.E.
A 100 m	982.50 2	286.29 A
A 200 m	882.50 2	286.29 A
A 50 m	625.00 2	286.29 A
Salida	31.00 2	286.29 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

Anexo 8

*Análisis de varianza y prueba de Tukey de los contenidos de plomo en cuatro ubicaciones de muestreo en la laguna de Orurillo.*

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1093676.50	3	364558.83	2.22	0.2277
Ubicación	1093676.50	3	364558.83	2.22	0.2277
Error	655677.00	4	163919.25		
Total	1749353.50	7			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1648.16474

Error: 163919.2500 gl: 4

Ubicación	Mediasn	E.E.
A 100 m	982.50 2	286.29 A
A 200 m	882.50 2	286.29 A
A 50 m	625.00 2	286.29 A
Salida	31.00 2	286.29 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

Anexo 9

*Galería de fotografías del trabajo de investigación.*



Materiales para muestreo de agua



Laguna Orurillo, vista oeste



Laguna Orurillo, visto lado norte



Laguna Orurillo, vista lado sur



Laguna Orurillo, vista lado Este



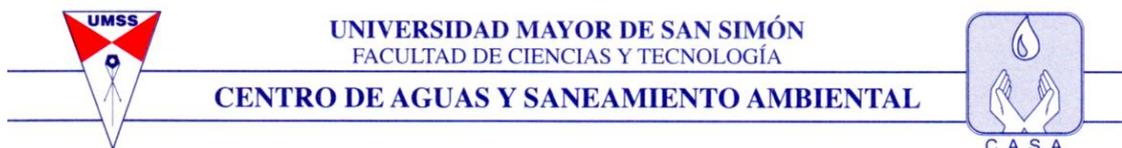
Toma de muestra de agua en la laguna Orurillo



Llegada al laboratorio de Cochabamba – Bolivia.

Anexo 10

Certificado de análisis de estudio.



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN**  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
**CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**LABORATORIO REGIONAL DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS**  
**LABORATORIO PILOTO A NIVEL NACIONAL**  
**REPORTE DE ENSAYO FÍSICOQUÍMICO y MICROBIOLÓGICO MATRIZ AGUA**  
NUMERO DE REGISTRO:50732-SC-38773  
NUMERO DE MUESTRA:369/19

PRESTATARIO : SIMEON CONDORI QUIÑONEZ  
DIRECCION TELEFONO : 0051974011747

**DATOS DE LA MUESTRA:**  
DEPARTAMENTO : PUNO - PERU  
PROVINCIA : MELGAR  
LOCALIDAD : ORURILLO  
TIPO DE FUENTE : LAGUNA  
PUNTO DE MUESTREO : A 50 m. DEL INGRESO A .R.  
LUGAR DE MUESTREO : LAGUNA ORURILLO  
PRESERVADA : SI  
APARIENCIA : CLARA  
TIPO DE ENSAYO : ESPECIAL  
MUESTREADOR : CLIENTE

**EL LABORATORIO NO SE RESPONSABILIZA POR LOS DATOS OBTENIDOS**

FECHA DE MUESTREO : 20/03/19 HORA DE MUESTREO :08:30  
FECHA INGRESO LAB. : 21/03/19 HORA INGRESO LAB. :09:00  
FECHA DE ENSAYO : 21/03/19 HORA DE ENSAYO :11:10  
FECHA CONTROL : 15/05/19 HORA CONTROL :18:00

**RESULTADOS**

**ANALISIS FISICOQUIMICO**

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
pH	4500-HB	ELECTROQUÍMICO	0,10	-	7,79
CONDUCTIVIDAD	2510 B	ELECTROQUÍMICO	0,10	µS/cm	1051,00

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
ALCALINIDAD	2320	TITULACION	0,01	mgCaCO <sub>3</sub> /L	162,18
CLORUROS	4500-Cl B	TITULACION	0,12	mgCl/L	29,84
NITRITOS	4500- NO <sub>2</sub> B-	ESPECTROFOTOMETRIA	0,03	mgNO <sub>2</sub> /L	<0,03
NITRATOS	4500- NO <sub>3</sub> -	REDUCCION CON CADMIO	0,04	mgNO <sub>3</sub> /L	<0,04
SULFATOS	4500-SO <sub>4</sub> E	TURBIDIMETRIA	0,94	mgSO <sub>4</sub> /L	377,81
CADMIO	3500-Cd B	A. A. HORNO DE GRAFITO	2 x 10 <sup>-6</sup>	mgCd/L	0,002
PLOMO	3500-Pb B	A. A. HORNO DE GRAFITO	2 x 10 <sup>-6</sup>	mgPb/L	0,014

**ANALISIS MICROBIOLÓGICO**

FECHA CONTROL : 29/03/19 HORA CONTROL :08:30

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	CONCENTRACION UFC/100 mL
COLIFORMES TERMO TOLERANTES	9222-D	M.F.	0	880

UFC = Unidad formadora de Colonias

M.F. = Membrana Filtrante

Cochabamba, 27 de mayo del 2019

Lic. MSc. Rosario Montaña Mérida  
RESPONSABLE LABORATORIOS C.A.S.A.

Lic. M.Cs. Ana María Romero J.  
DIRECTORA

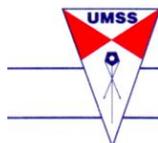
CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

1 de 4

**Agua es salud, ahorre y cuide su calidad**

Calle Sucre frente al Parque La Torre , Telf. 4250660, 4549227, Fax 4229480, Cochabamba-Bolivia, email:aguas@ficyt.umss.edu.bo  
Pagina web: http://casa.ficyt.umss.edu.bo, Casilla 5783

Ciencia y Conocimiento  
DESDE 1832



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL



LABORATORIO REGIONAL DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS  
LABORATORIO PILOTO A NIVEL NACIONAL  
REPORTE DE ENSAYO FISICOQUÍMICO y MICROBIOLÓGICO MATRIZ AGUA  
NUMERO DE REGISTRO:50733-SC-38774  
NUMERO DE MUESTRA:370/19

PRESTATARIO : SIMEON CONDORI QUIÑONEZ  
DIRECCION TELEFONO : 0051974011747

**DATOS DE LA MUESTRA:**  
DEPARTAMENTO : PUNO - PERU  
PROVINCIA : MELGAR  
LOCALIDAD : ORURILLO  
TIPO DE FUENTE : LAGUNA  
PUNTO DE MUESTREO : A 100 m. INGRESO A.R.  
LUGAR DE MUESTREO : LAGUNA ORURILLO  
PRESERVADA : SI  
APARIENCIA : CLARA  
TIPO DE ENSAYO : ESPECIAL  
MUESTREADOR : CLIENTE

**EL LABORATORIO NO SE RESPONSABILIZA POR LOS DATOS OBTENIDOS**

FECHA DE MUESTREO : 20/03/19 HORA DE MUESTREO : :08:35  
FECHA INGRESO LAB. : 21/03/19 HORA INGRESO LAB. : :09:00  
FECHA DE ENSAYO : 21/03/19 HORA DE ENSAYO : :11:30  
FECHA CONTROL : 15/05/19 HORA CONTROL : :18:00

**RESULTADOS**

**ANALISIS FISICOQUIMICO**

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
pH	4500-HB	ELECTROQUÍMICO	0,10	-	7,48
CONDUCTIVIDAD	2510 B	ELECTROQUÍMICO	0,10	µS/cm	1223,00

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
ALCALINIDAD	2320	TITULACION	0,01	mgCaCO <sub>3</sub> /L	164,30
CLORUROS	4500-Cl B	TITULACION	0,12	mgCl/L	87,04
NITRITOS	4500- NO2 B-	ESPECTROFOTOMETRIA	0,03	mgNO <sub>2</sub> /L	0,03
NITRATOS	4500- NO3-	REDUCCION CON CADMIO	0,04	mgNO <sub>3</sub> /L	0,71
SULFATOS	4500-SO <sub>4</sub> E	TURBIDIMETRIA	0,94	mgSO <sub>4</sub> /L	393,17
CADMIO	3500-Cd B	A. A. HORNO DE GRAFITO	2 x 10 <sup>-6</sup>	mgCd/L	0,002
PLOMO	3500-Pb B	A. A. HORNO DE GRAFITO	2 x 10 <sup>-6</sup>	mgPb/L	0,012

**ANALISIS MICROBIOLÓGICO**

FECHA CONTROL : 24/09/18 HORA CONTROL : :18:00

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	CONCENTRACION UFC/100 mL
COLIFORMES TERMO TOLERANTES	9222-D	M.F.	0	1385

UFC = Unidad formadora de Colonias

M.F. = Membrana Filtrante

Cochabamba, 27 de mayo del 2019

Lic. MSc. Rosario Montaña Mérida  
RESPONSABLE LABORATORIOS C.A.S.A.

Lic. M.Cs. Ana María Romero J.  
DIRECTORA

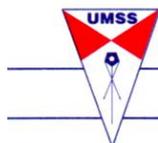
CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

2 de 4

**Agua es salud, ahorre y cuide su calidad**

Calle Sucre frente al Parque La Torre , Telf. 4250660, 4549227, Fax 4229480, Cochabamba-Bolivia, email:aguas@ficyt.umss.edu.bo  
Pagina web: http://casa.ficyt.umss.edu.bo, Casilla 5783

Ciencia y Conocimiento  
DESDE 1832



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL



LABORATORIO REGIONAL DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS  
LABORATORIO PILOTO A NIVEL NACIONAL  
REPORTE DE ENSAYO FISCOQUÍMICO y MICROBIOLÓGICO MATRIZ AGUA  
NUMERO DE REGISTRO:50735-SC-38776  
NUMERO DE MUESTRA:371/19

PRESTATARIO : SIMEON CONDORI QUIÑONEZ  
DIRECCION TELEFONO : 0051974011747

**DATOS DE LA MUESTRA:**  
DEPARTAMENTO : PUNO - PERU  
PROVINCIA : MELGAR  
LOCALIDAD : ORURILLO  
TIPO DE FUENTE : LAGUNA  
PUNTO DE MUESTREO : a 200 m. DEL INGRESO A R  
LUGAR DE MUESTREO : LAGUNA ORURILLO  
PRESERVADA : SI  
APARIENCIA : CLARA  
TIPO DE ENSAYO : ESPECIAL  
MUESTREADOR : CLIENTE

**EL LABORATORIO NO SE RESPONSABILIZA POR LOS DATOS OBTENIDOS**

FECHA DE MUESTREO : 20/03/19 HORA DE MUESTREO :08:30  
FECHA INGRESO LAB. : 21/03/19 HORA INGRESO LAB. :09:00  
FECHA DE ENSAYO : 21/03/19 HORA DE ENSAYO :11:5  
FECHA CONTROL : 27/05/18 HORA CONTROL :18:00

**RESULTADOS**

**ANALISIS FISICOQUIMICO**

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
pH	4500-HB	ELECTROQUIMICO	0,10	-	8,23
CONDUCTIVIDAD	2510 B	ELECTROQUIMICO	0,10	µS/cm	1342,00

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
ALCALINIDAD	2320	TITULACION	0,01	mgCaCO <sub>3</sub> /L	93,28
CLORUROS	4500-Cl B	TITULACION	0,12	mgCl/L	44,76
NITRITOS	4500- NO <sub>2</sub> B-	ESPECTROFOTOMETRIA	0,03	mgNO <sub>2</sub> /L	<0,03
NITRATOS	4500- NO <sub>3</sub> -	REDUCCION CON CADMIO	0,04	mgNO <sub>3</sub> /L	<0,04
SULFATOS	4500-SO <sub>4</sub> E	TURBIDIMETRIA	0,94	mgSO <sub>4</sub> /L	330,92
CADMIO	3500-Cd B	A. A. HORNO DE GRAFITO	2 x 10 <sup>-5</sup>	mgCd/L	0,002
PLOMO	3500-Pb B	A. A. HORNO DE GRAFITO	2 x 10 <sup>-5</sup>	mgPb/L	0,01

**ANALISIS MICROBIOLÓGICO**

FECHA CONTROL : 24/09/18 HORA CONTROL :18:00

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	CONCENTRACION UFC/100 mL
COLIFORMES TERMO TOLERANTES	9222-D	M.F.	0	565

UFC = Unidad formadora de Colonias

M.F. = Membrana Filtrante

Cochabamba, 27 de mayo del 2019

Lic. MSc. Rosario Montaña Mérida  
RESPONSABLE LABORATORIOS C.A.S.A.

Lic. M.Cs. Ana María Romero J.  
DIRECTORA

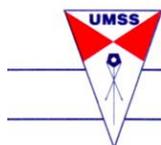
CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

3 de 4

**Agua es salud, ahorre y cuide su calidad**

Calle Sucre frente al Parque La Torre , Telf. 4250660, 4549227, Fax 4229480, Cochabamba-Bolivia, email:aguas@fcyt.umss.edu.bo  
Pagina web: http://casa.fcyt.umss.edu.bo, Casilla 5783

Ciencia y Conocimiento DESDE 1832



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**



**LABORATORIO REGIONAL DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS**  
**LABORATORIO PILOTO A NIVEL NACIONAL**  
**REPORTE DE ENSAYO FISCOQUÍMICO y MICROBIOLÓGICO MATRIZ AGUA**  
 NUMERO DE REGISTRO:50736-SC-38777  
 NUMERO DE MUESTRA:372/19

**PRESTATARIO** : SIMEON CONDORI QUIÑONEZ  
**DIRECCION TELEFONO** : 0051974011747

**DATOS DE LA MUESTRA:**  
 DEPARTAMENTO : PUNO - PERU  
 PROVINCIA : MELGAR  
 LOCALIDAD : ORURILLO  
 TIPO DE FUENTE : LAGUNA  
 PUNTO DE MUESTREO : SALIDA LAGUNA  
 LUGAR DE MUESTREO : LAGUNA ORURILLO  
 PRESERVADA : SI  
 APARIENCIA : CLARA  
 TIPO DE ENSAYO : ESPECIAL  
 MUESTREADOR : CLIENTE

**EL LABORATORIO NO SE RESPONSABILIZA POR LOS DATOS OBTENIDOS**

FECHA DE MUESTREO : 20/03/19 HORA DE MUESTREO :09:00  
 FECHA INGRESO LAB. : 21/03/19 HORA INGRESO LAB. :09:00  
 FECHA DE ENSAYO : 21/03/19 HORA DE ENSAYO :12:10  
 FECHA CONTROL : 15/05/19 HORA CONTROL :18:00

**RESULTADOS**

**ANALISIS FISICOQUIMICO**

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
pH	4500-HB	ELECTROQUÍMICO	0,10	-	8.62
CONDUCTIVIDAD	2510 B	ELECTROQUÍMICO	0,10	µS/cm	3640,00

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
ALCALINIDAD	2320	TITULACION	0,01	mgCaCO <sub>3</sub> /L	74,20
CLORUROS	4500-Cl B	TITULACION	0,12	mgCl/L	298,42
NITRITOS	4500- NO <sub>2</sub> - B-	ESPECTROFOTOMETRIA	0,03	mgNO <sub>2</sub> /L	<0,03
NITRATOS	4500- NO <sub>3</sub> -	REDUCCION CON CADMIO	0,04	mgNO <sub>3</sub> /L	0,04
SULFATOS	4500-SO <sub>4</sub> E	TURBIDIMETRIA	0,94	mgSO <sub>4</sub> /L	1765,49
CADMIO	3500-Cd B	A. A. HORNO DE GRAFITO	2 x 10 <sup>-6</sup>	mgCd/L	0,002
PLOMO	3500-Pb B	A. A. HORNO DE GRAFITO	2 x 10 <sup>-6</sup>	mgPb/L	0,014

**ANALISIS MICROBIOLÓGICO**

FECHA CONTROL : 29/03/19 HORA CONTROL :08:30

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	CONCENTRACION UFC/100 mL
COLIFORMES TERMO TOLERANTES	9222-D	M.F.	0	30

UFC = Unidad formadora de Colonias

M.F. = Membrana Filtrante

Cochabamba, 27 de mayo del 2019

Lic. MSc. Rosario Montaña Mérida  
 RESPONSABLE LABORATORIOS C.A.S.A.

Lic. M.Cs. Ana María Romero J.  
 DIRECTORA

CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

4 de 4

Ciencia y Conocimiento DESDE 1832

**Agua es salud, ahorre y cuide su calidad**

Calle Sucre frente al Parque La Torre , Telf. 4250660, 4549227, Fax 4229480, Cochabamba-Bolivia, email:aguas@ficyt.umss.edu.bo  
 Pagina web: http://casa.ficyt.umss.edu.bo, Casilla 5783



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**



**LABORATORIO REGIONAL DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS**  
**LABORATORIO PILOTO A NIVEL NACIONAL**  
**REPORTE DE ENSAYO FISICOQUIMICO y MICROBIOLÓGICO MATRIZ AGUA**

NUMERO DE REGISTRO:51538-SC-39513  
 NUMERO DE MUESTRA:1175/19

PRESTATARIO : SIMEON CONDORI QUIÑONEZ  
 DIRECCION TELEFONO : 0051974011747  
**DATOS DE LA MUESTRA:**  
 DEPARTAMENTO : PUNO - PERU  
 PROVINCIA : MELGAR  
 LOCALIDAD : ORURILLO  
 TIPO DE FUENTE : LAGUNA  
 PUNTO DE MUESTREO : A 50 m. DEL INGRESO A. R.  
 LUGAR DE MUESTREO : LAGUNA ORURILLO  
 PRESERVADA : SI  
 APARIENCIA : CLARA  
 TIPO DE ENSAYO : ESPECIAL  
 MUESTREADOR : CLIENTE

**EL LABORATORIO NO SE RESPONSABILIZA POR LOS DATOS OBTENIDOS**

FECHA DE MUESTREO	: 10/07/19	HORA DE MUESTREO	:06:00
FECHA INGRESO LAB.	: 11/07/19	HORA INGRESO LAB.	:09:10
FECHA DE ENSAYO	: 11/07/19	HORA DE ENSAYO	:10:00
FECHA CONTROL	: 15/08/19	HORA CONTROL	:18:00

**RESULTADOS**

**ANALISIS FISICOQUIMICO**

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
pH	4500-HB	ELECTROQUÍMICO	0,10	-	8,18
CONDUCTIVIDAD	2510 B	ELECTROQUÍMICO	0,10	µS/cm	3330,00

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
ALCALINIDAD	2320	TITULACION	0,01	mgCaCO <sub>3</sub> /L	89,11
CLORUROS	4500-CI B	TITULACION	0,12	mgCl/L	152,45
NITRITOS	4500-NO <sub>2</sub> B-	ESPECTROFOTOMETRIA	0,03	mgNO <sub>2</sub> /L	<0,03
NITRATOS	4500-NO <sub>3</sub> -	REDUCCION CON CADMIO	0,04	mgNO <sub>3</sub> /L	0,04
SULFATOS	4500-SO <sub>4</sub> E	TURBIDIMETRIA	0,94	mgSO <sub>4</sub> /L	1662,00
CADMIO	3500-Cd B	A. A. HORNO DE GRAFITO	2 x 10 <sup>-5</sup>	mgCd/L	<2 x 10 <sup>-5</sup>
PLOMO	3500-Pb B	A. A. HORNO DE GRAFITO	2 x 10 <sup>-5</sup>	mgPb/L	48,2 x 10 <sup>-4</sup>

**ANALISIS MICROBIOLÓGICO**

FECHA CONTROL :17/07/19 HORA CONTROL :08:30

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	CONCENTRACION UFC/100 mL
COLIFORMES TERMO TOLERANTES	9222-D	M.F.	0	370

UFC = Unidad formadora de Colonias

M.F. = Membrana Filtrante

Cochabamba, 19 de agosto del 2019

Lic. MSc. Rosalío Montaña Mérida  
 RESPONSABLE LABORATORIOS C.A.S.A.

Lic. M.Cs. Ana María Romero J.  
 DIRECTORA

CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

1 de 4

Ciencia y Conocimiento DESDE 1832

**Agua es salud, ahorre y cuide su calidad**

Calle Sucre frente al Parque La Torre , Telf. 4250660, 4249227, Fax 4229480, Cochabamba-Bolivia, email:aguas@fcyt.umss.edu.bo  
 Pagina web: http://casa.fcyt.umss.edu.bo, Casilla 5783



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA



CASA

CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

LABORATORIO REGIONAL DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS  
LABORATORIO PILOTO A NIVEL NACIONAL  
REPORTE DE ENSAYO FISCOQUÍMICO y MICROBIOLÓGICO MATRIZ AGUA  
NUMERO DE REGISTRO:51539-SC-39514  
NUMERO DE MUESTRA:1176/19

PRESTATARIO : SIMEON CONDORI QUIÑONEZ  
DIRECCION TELEFONO : 0051974011747  
DATOS DE LA MUESTRA:  
DEPARTAMENTO : PUNO - PERU  
PROVINCIA : MELGAR  
LOCALIDAD : ORURILLO  
TIPO DE FUENTE : LAGUNA  
PUNTO DE MUESTREO : A 100 m. INGRESO A.R.  
LUGAR DE MUESTREO : LAGUNA ORURILLO  
PRESERVADA : SI  
APARIENCIA : CLARA  
TIPO DE ENSAYO : ESPECIAL  
MUESTREADOR : CLIENTE

EL LABORATORIO NO SE RESPONSABILIZA POR LOS DATOS OBTENIDOS

FECHA DE MUESTREO : 10/07/19 HORA DE MUESTREO : :06:15  
FECHA INGRESO LAB. : 11/07/19 HORA INGRESO LAB. : :09:10  
FECHA DE ENSAYO : 11/07/19 HORA DE ENSAYO : :10:15  
FECHA CONTROL : 15/08/19 HORA CONTROL : :18:00

RESULTADOS

ANALISIS FISICOQUIMICO

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
pH	4500-HB	ELECTROQUÍMICO	0,10	-	7,87
CONDUCTIVIDAD	2510 B	ELECTROQUÍMICO	0,10	µS/cm	3335,00

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
ALCALINIDAD	2320	TITULACION	0,01	mgCaCO <sub>3</sub> /L	108,07
CLORUROS	4500-Cl B	TITULACION	0,12	mgCl/L	149,95
NITRITOS	4500- NO <sub>2</sub> B-	ESPECTROFOTOMETRIA	0,03	mgNO <sub>2</sub> /L	<0,03
NITRATOS	4500- NO <sub>3</sub> -	REDUCCION CON CADMIO	0,04	mgNO <sub>3</sub> /L	0,09
SULFATOS	4500-SO <sub>4</sub> E	TURBIDIMETRIA	0,94	mgSO <sub>4</sub> /L	2472,50
CADMIO	3500-Cd B	A. A. HORNO DE GRAFITO	2 x 10 <sup>-6</sup>	mgCd/L	<2 x 10 <sup>-6</sup>
PLOMO	3500-Pb B	A. A. HORNO DE GRAFITO	2 x 10 <sup>-6</sup>	mgPb/L	39,7 x 10 <sup>-4</sup>

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

FECHA CONTROL : 17/07/19 HORA CONTROL : :18:00

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	CONCENTRACION UFC/100 mL
COLIFORMES TERMO TOLERANTES	9222-D	M.F.	0	580

UFC = Unidad formadora de Colonias

M.F. = Membrana Filtrante

Cochabamba, 19 de agosto del 2019

Lic. MSc. Rosario Montaña Mérida  
RESPONSABLE LABORATORIOS C.A.S.A.

Lic. M.Cs. Ana María Romero J.  
DIRECTORA

CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

2 de 4

Agua es salud, ahorre y cuide su calidad

Calle Sucre frente al Parque La Torre , Telf. 4250660, 4549227, Fax 4326480, Cochabamba-Bolivia, email:aguas@ficyt.umss.edu.bo  
Pagina web: http://casa.ficyt.umss.edu.bo, Casilla 5783

Ciencia y Conocimiento  
DESDE 1832



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA



C A S A

**CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

LABORATORIO REGIONAL DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS  
LABORATORIO PILOTO A NIVEL NACIONAL  
REPORTE DE ENSAYO FISCOQUIMICO y MICROBIOLÓGICO MATRIZ AGUA

NUMERO DE REGISTRO:51541-SC-39516  
NUMERO DE MUESTRA:1178/19

PRESTATARIO : SIMEON CONDORI QUIÑONEZ  
DIRECCION TELEFONO : 0051974011747  
DATOS DE LA MUESTRA:  
DEPARTAMENTO : PUNO - PERU  
PROVINCIA : MELGAR  
LOCALIDAD : ORURILLO  
TIPO DE FUENTE : LAGUNA  
PUNTO DE MUESTREO : a 200 m. DEL INGRESO A R  
LUGAR DE MUESTREO : LAGUNA ORURILLO  
PRESERVADA : SI  
APARIENCIA : CLARA  
TIPO DE ENSAYO : ESPECIAL  
MUESTREADOR : CLIENTE

**EL LABORATORIO NO SE RESPONSABILIZA POR LOS DATOS OBTENIDOS**

FECHA DE MUESTREO : 10/07/19 HORA DE MUESTREO : :06:30  
FECHA INGRESO LAB. : 11/07/19 HORA INGRESO LAB. : :09:10  
FECHA DE ENSAYO : 11/07/19 HORA DE ENSAYO : :10:45  
FECHA CONTROL : 15/08/19 HORA CONTROL : :18:00

**RESULTADOS**

**ANALISIS FISICOQUIMICO**

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
pH	4500-HB	ELECTROQUÍMICO	0,10	-	7,66
CONDUCTIVIDAD	2510 B	ELECTROQUÍMICO	0,10	µS/cm	7810,00

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
ALCALINIDAD	2320	TITULACION	0,01	mgCaCO <sub>3</sub> /L	130,82
CLORUROS	4500-CI B	TITULACION	0,12	mgCl/L	749,77
NITRITOS	4500- NO2 B-	ESPECTROFOTOMETRIA	0,03	mgNO <sub>2</sub> /L	<0,03
NITRATOS	4500- NO3-	REDUCCION CON CADMIO	0,04	mgNO <sub>3</sub> /L	0,04
SULFATOS	4500-SO <sub>4</sub> E	TURBIDIMETRIA	0,94	mgSO <sub>4</sub> /L	1783,20

**ANALISIS MICROBIOLÓGICO**

FECHA CONTROL : 17/07/19 HORA CONTROL : :08:30

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	CONCENTRACION UFC/100 mL
COLIFORMES TERMO TOLERANTES	9222-D	M.F.	0	1,2 x 10 <sup>3</sup>

UFC = Unidad formadora de Colonias

M.F. = Membrana Filtrante

Cochabamba, 24 de julio del 2019

Lic. MSc. Rosario Montaña Mérida  
RESPONSABLE LABORATORIOS C.A.S.A.

Lic. MSc. Ana María Romero J.  
DIRECTORA

CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

4 de 4



Ciencia y Conocimiento  
DESDE 1832

**Agua es salud, ahorre y cuide su calidad**

Calle Sucre frente al Parque La Torre , Telf. 4250660, 4549227; Fax 4229480, Cochabamba-Bolivia, email:aguas@fcyt.umss.edu.bo  
Pagina web: http://casa.fcyt.umss.edu.bo, Casilla 5783



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA



C A S A

CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

LABORATORIO REGIONAL DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS  
LABORATORIO PILOTO A NIVEL NACIONAL  
REPORTE DE ENSAYO FISICOQUÍMICO y MICROBIOLÓGICO MATRIZ AGUA

NUMERO DE REGISTRO:51540-SC-39515

NUMERO DE MUESTRA:1177/19

PRESTATARIO : SIMEON CONDORI QUIÑONEZ  
DIRECCION TELEFONO : 0051974011747  
DATOS DE LA MUESTRA:  
DEPARTAMENTO : PUNO - PERU  
PROVINCIA : MELGAR  
LOCALIDAD : ORURILLO  
TIPO DE FUENTE : LAGUNA  
PUNTO DE MUESTREO : SALIDA LAGUNA  
LUGAR DE MUESTREO : LAGUNA ORURILLO  
PRESERVADA : SI  
APARIENCIA : CLARA  
TIPO DE ENSAYO : ESPECIAL  
MUESTREADOR : CLIENTE

EL LABORATORIO NO SE RESPONSABILIZA POR LOS DATOS OBTENIDOS

FECHA DE MUESTREO : 10/07/19 HORA DE MUESTREO : :06:50  
FECHA INGRESO LAB. : 11/07/19 HORA INGRESO LAB. : :09:10  
FECHA DE ENSAYO : 11/07/19 HORA DE ENSAYO : :10:30  
FECHA CONTROL : 15/08/19 HORA CONTROL : :18:00

RESULTADOS

ANALISIS FISICOQUIMICO

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
pH	4500-HB	ELECTROQUÍMICO	0,10	-	8,02
CONDUCTIVIDAD	2510 B	ELECTROQUÍMICO	0,10	µS/cm	3300,00

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	UNIDADES	CONCENTRACION
ALCALINIDAD	2320	TITULACION	0,01	mgCaCO <sub>3</sub> /L	109,97
CLORUROS	4500-CI B	TITULACION	0,12	mgCl/L	149,95
NITRITOS	4500- NO2 B-	ESPECTROFOTOMETRIA	0,03	mgNO <sub>2</sub> /L	<0,03
NITRATOS	4500- NO3-	REDUCCION CON CADMIO	0,04	mgNO <sub>3</sub> /L	0,13
SULFATOS	4500-SO <sub>4</sub> E	TURBIDIMETRIA	0,94	mgSO <sub>4</sub> /L	1674,00
CADMIO	3500-Cd B	A. A. HORNO DE GRAFITO	2 x 10 <sup>-6</sup>	mgCd/L	2 x 10 <sup>-6</sup>
PLOMO	3500-Pb B	A. A. HORNO DE GRAFITO	2 x 10 <sup>-6</sup>	mgPb/L	2 x 10 <sup>-6</sup>

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

FECHA CONTROL : 17/07/19 HORA CONTROL : :18:00

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	LIMITE DE DETECCION	CONCENTRACION UFC/100 mL
COLIFORMES TERMO TOLERANTES	9222-D	M.F.	0	32

UFC = Unidad Formadora de Colonias

M.F. = Membrana Filtrante

Cochabamba, 19 de agosto del 2019

Lic. MSc. Rosario Montaña Mérida  
RESPONSABLE LABORATORIOS C.A.S.A.

Lic. MSc. Ana María Romero J.  
DIRECTORA

CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

3 de 4

Agua es salud, ahorre y cuide su calidad

Calle Sucre frente al Parque La Torre , Telf. 4250660, 4549227, Fax 4229480, Cochabamba-Bolivia, email:aguas@cyt.umss.edu.bo  
Pagina web: http://casa.cyt.umss.edu.bo, Casilla 5783

Ciencia y Conocimiento  
DESDE 1832