



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



**NIVELES DE CONTAMINACIÓN POR BACTERIAS  
COLIFORMES EN LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO (LAGO  
TITICACA) Y SU ZONIFICACIÓN ESPACIAL CON  
TECNOLOGÍA SIG**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. JUAN CARLOS PARIONA FLORES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**NIVELES DE CONTAMINACIÓN POR BACTERIAS COLIFORMES EN LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO (LAGO TITICACA) Y SU**

AUTOR

**Juan Carlos Pariona Flores**

RECuento DE PALABRAS

**22984 Words**

RECuento DE CARACTERES

**120384 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**107 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**3.7MB**

FECHA DE ENTREGA

**Aug 1, 2024 2:24 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Aug 1, 2024 2:26 PM GMT-5**

● **16% de similitud general**

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

- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados
- 6% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

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

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO

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



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

NIVELES DE CONTAMINACIÓN POR BACTERIAS COLIFORMES EN LA  
BAHÍA INTERIOR DE PUNO (LAGO TITICACA) Y SU ZONIFICACIÓN  
ESPACIAL CON TECNOLOGÍA SIG

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JUAN CARLOS PARIONA FLORES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

APROBADA POR:

PRESIDENTE:

Dr. JHON SAUL ROJAS MAMANI

PRIMER MIEMBRO:

M.Sc. IVON ROCIO GUTIERREZ FLORES

SEGUNDO MIEMBRO:

Dr. RENZO HERNAN TURPO AROQUIPA

DIRECTOR / ASESOR:

Dr. ALFREDO LUDWIG LOZA DEL CARPIO

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 02/08/2024

ÁREA: Ciencias Biomédicas

SUBLINEA: Calidad Ambiental



V<sup>o</sup>B<sup>o</sup> Dra. VICKY CRISTINA GONZALES ALCOS  
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN-FCCBB



## DEDICATORIA

*A Dios, por haberme dado la vida.*

*A mi amado hijo en el cielo y a mis queridos padres, por apoyarme siempre en todo.*

**Juan Carlos Pariona Flores**



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, por guiarme con su sabiduría en los momentos más difíciles y frustrantes, por ser mi fortaleza en momentos de debilidad.

A mis padres Marcelina Flores Mamani Viuda de Pariona y Claudio Pariona Pampas (Q.E.P.D) por ser mis guías y ejemplo.

A mi alma mater, la Universidad Nacional del Altiplano, a la Facultad de Ciencias Biológicas, en especial a los docentes del Programa de Microbiología por todas las enseñanzas y conocimientos que me brindaron a lo largo de mi formación profesional.

A mi director D.Sc. Alfredo Loza Del Carpio, por sus orientaciones e instrucciones durante el proceso de la investigación.

A los jurados conformado por el Dr. Jhon Saul Rojas Mamani, Mg. Ivon Rocío Gutierrez Flores y Dr. Renzo Hernán Turpo Aroquipa, por las correcciones y sugerencias en la redacción del informe final.

Al Biólogo Darío Flores Mamani, por apoyarme siempre en el ámbito profesional y familiar.

A Diana Melanny Bermúdez Macedo, mi pareja y confidente por motivarme siempre a seguir adelante.

Al Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales Salud y Biodiversidad (IICASB) por el apoyo logístico para el desarrollo de la tesis.

**Juan Carlos Pariona Flores**



# ÍNDICE GENERAL

Pág.

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ACRÓNIMOS**

**RESUMEN** ..... 14

**ABSTRACT** ..... 15

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. OBJETIVO GENERAL** ..... 18

**1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS** ..... 18

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES** ..... 19

**2.2. MARCO TEÓRICO** ..... 26

2.2.1. Contaminación del agua ..... 26

2.2.2. Contaminación y problemática por aguas residuales ..... 28

2.2.3. Eutroficación de las aguas ..... 29

2.2.4. Microorganismos del agua ..... 30

2.2.5. Las bacterias coliformes ..... 34

2.2.6. La bahía interior de Puno ..... 38



|  |    |
|--|----|
| 2.2.7. Métodos de análisis bacteriológico en aguas .....                     | 39 |
| 2.2.8. Marco normativo: estándares de calidad ambiental de aguas en el Perú  | 41 |
| 2.2.9. Otros parámetros para determinar calidad de aguas con coliformes..... | 43 |

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>                                 | <b>45</b> |
| <b>3.2. ÁREA EXPERIMENTAL.....</b>                                      | <b>45</b> |
| <b>3.3. MATERIALES.....</b>   | <b>49</b> |
| <b>3.4. METODOLOGÍA .....</b>   | <b>49</b> |
| 3.4.1. Población y muestra .....  | 49        |
| 3.4.2. Objetivo 1: Determinación de la concentración de coliformes..... | 50        |
| 3.4.3. Objetivo 2: Zonificación de la contaminación por coliformes..... | 55        |

### CAPÍTULO IV

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4.1. CONCENTRACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, FECALES Y</b>               |           |
| <b><i>Escherichia coli</i> EN LAS AGUAS DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO</b> | <b>58</b> |
| 4.1.1. Coliformes totales .....  | 58        |
| 4.1.2. Coliformes termotolerantes.....                                   | 64        |
| 4.1.3. <i>Escherichia coli</i> .....                                     | 73        |
| <b>4.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONTAMINACIÓN POR</b>                |           |
| <b>COLIFORMES EN LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO .....</b>                     | <b>79</b> |
| 4.2.1. Distribución de los coliformes totales.....                       | 79        |
| 4.2.2. Coliformes termotolerantes.....                                   | 82        |
| 4.2.3. <i>Escherichia coli</i> .....                                     | 85        |
| <b>V. CONCLUSIONES.....</b>  | <b>89</b> |



**VI. RECOMENDACIONES ..... 90**

**VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 91**

**ÁREA:** Ciencias Biomédicas

**SUBLÍNEA:** Calidad ambiental

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 02 de agosto del 2024





## ÍNDICE DE FIGURAS

|   | Pág. |
|---|------|
| <b>Figura 1</b> Los diferentes subgrupos de coliformes en un medio acuático (WSDH, 2016)<br>.....   | 37   |
| <b>Figura 2</b> Croquis del ámbito de estudio y puntos de muestreo de aguas para la<br>determinación de coliformes en la BIP .....  | 48   |
| <b>Figura 3</b> Concentraciones promedio $\pm$ DE de coliformes totales en la bahía interior de<br>Puno y testigos según zonas de muestreo. Línea en rojo (A) indica el límite<br>para uso recreacional en contacto secundario y en azul (B) para contacto<br>primario (WHO, 1991) y la línea amarilla, el máximo permisible para<br>protección de vida acuática (Reinheimer, 1994). Letras diferentes indican<br>diferencias significativas a la prueba de Tukey. ....               | 61   |
| <b>Figura 4</b> Niveles promedio y estadígrafos descriptivos de coliformes totales en la BIP<br>según épocas de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas<br>entre cajas, con la Prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). ....  | 63   |
| <b>Figura 5</b> Concentraciones de coliformes termotolerantes en la bahía interior de Puno y<br>testigos según zonas de muestreo y meses. Línea en negro (A) indica el límite<br>de los ECAs para ser utilizada previa desinfección como agua potable; en rojo<br>(B) para uso recreativo en contacto secundario, para bebida de animales y<br>para conservación del ambiente acuático. En violeta (C) para uso como agua<br>potable con tratamiento convencional (MINAM, 2017). .... | 68   |
| <b>Figura 6</b> Niveles promedio y estadígrafos descriptivos de coliformes termotolerantes<br>en la BIP según épocas de muestreo. Letras diferentes indican diferencias<br>significativas entre cajas, con la Prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). ....  | 72   |



|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>Figura 7</b>  | Concentraciones de Escherichia coli en la bahía interior de Puno y testigos según zonas de muestreo y meses. Línea roja: límite para ser utilizada previa desinfección, así como para uso recreativo en contacto primario y secundario de los ECAs (MINAM, 2017)..... | 77 |
| <b>Figura 8</b>  | Niveles promedio y estadígrafos descriptivos de Escherichia coli en la BIP según épocas de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre cajas, con la Prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).....   | 79 |
| <b>Figura 9</b>  | Distribución de coliformes totales en aguas de la bahía interior de Puno....  | 81 |
| <b>Figura 10</b> | Distribución de coliformes termotolerantes en aguas de la bahía interior de Puno, respecto a una zona de la bahía exterior. ....  | 84 |
| <b>Figura 11</b> | Distribución de Escherichia coli en aguas de la bahía interior de Puno, comparativo a una zona de la bahía exterior.....  | 87 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| <b>Tabla 1</b> Concentración de patógenos entéricos en heces.....   | 32          |
| <b>Tabla 2</b> Estándares de calidad ambiental de cuerpos acuáticos según los ECAS Perú (MINAM, 2017).....  | 42          |
| <b>Tabla 3</b> Clasificación para la contaminación bacterial del agua para provisión municipal.....   | 44          |
| <b>Tabla 4</b> Riesgo de enfermedad por la presencia de bacterias coliformes fecales en aguas .....   | 44          |
| <b>Tabla 5</b> Ubicación de los puntos de muestreo para la evaluación de bacterias coliformes en la bahía interior de Puno y sus puntos testigo.....  | 47          |
| <b>Tabla 6</b> Cálculo del NMP de coliformes presentes en la muestra de agua según reacción positiva de los tubos de prueba (OPS, 1988).....  | 53          |
| <b>Tabla 7</b> Valoración conceptual indicativa del grado de contaminación microbiológica para cuerpos acuáticos (los porcentajes se obtienen del total de puntos de muestreo).....                               | 56          |
| <b>Tabla 8</b> Estadísticos descriptivos de las concentraciones de coliformes totales (NMP/100 mL) en la BIP y puntos testigo (14 y 15).....  | 60          |
| <b>Tabla 9</b> Estadísticos descriptivos de las concentraciones de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) en la BIP. Letras diferentes entre filas a la prueba de Tukey, indican diferencias significativas..... | 66          |
| <b>Tabla 10</b> Estadísticos descriptivos de las concentraciones de .....   | 75          |



## ÍNDICE DE ANEXOS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>ANEXO 1</b> Datos de los análisis de coliformes totales obtenidos en los muestreos según mes y zona ..... | 101         |
| <b>ANEXO 2</b> Panel Fotográfico.....  | 103         |



## ACRÓNIMOS

|                |   |
|----------------|---|
| <b>ANA:</b>    | Autoridad Nacional del Agua   |
| <b>APHA:</b>   | American Public Health Association  |
| <b>BIP:</b>    | Bahía Interior de Puno  |
| <b>CMPRLT:</b> | Comisión Multisectorial Para La Prevención y Recuperación<br>Ambiental de la cuenca del Lago Titicaca y sus Afluentes |
| <b>CT:</b>     | Coliformes totales  |
| <b>CTT:</b>    | Coliformes Termotolerantes  |
| <b>DBO:</b>    | Demanda Bioquímica de Oxígeno   |
| <b>DQO:</b>    | Demanda Química de Oxígeno  |
| <b>ECAs:</b>   | Estándares de Calidad Ambiental   |
| <b>IMARPE:</b> | Instituto del Mar del Perú  |
| <b>MINAM:</b>  | Ministerio del Ambiente   |
| <b>SIG:</b>    | Sistema de Información Geográfica   |
| <b>NMP:</b>    | Número Mas Probable   |
| <b>OCDE:</b>   | Organización de Cooperación y Desarrollo Económico  |
| <b>OMS:</b>    | Organismo Mundial de la Salud   |
| <b>UFC:</b>    | Unidad formadora de colonias  |
| <b>UNEP:</b>   | United Nations Environment Programme  |
| <b>WSDH:</b>   | Washington State Department of Health   |
| <b>WWDR:</b>   | United Nations World Water Development Report   |
| <b>WHO:</b>    | World Health Organization   |



## RESUMEN

La bahía interior de Puno (BIP), en el lago Titicaca, por años recibe descargas de aguas residuales desde la ciudad de Puno, considerándose un riesgo potencial para la salud pública y para los ecosistemas, siendo una forma de caracterizar estos impactos negativos mediante la evaluación de bacterias coliformes. En ese contexto se planteó como objetivos: Determinar las concentraciones de coliformes totales, termotolerantes y *Escherichia coli* en aguas superficiales de la bahía interior de Puno, según zonas y épocas y Caracterizar la distribución espacial de los niveles de contaminación por coliformes en la bahía interior de Puno mediante isolíneas. Se realizaron muestreos mensuales (seis meses) de agua superficial de la bahía interior en 13 puntos representativos y en dos puntos fuera de la bahía como testigos, analizándose coliformes totales, fecales y *Escherichia coli*, mediante la técnica de tubos múltiples de fermentación en número más probable (NMP). La zonificación se realizó mediante el uso de imágenes satelitales LANDSAT de Google Earth y el software ArcGIS v10 agregando shapefiles de georreferenciación de los puntos de muestreo. Los valores de coliformes totales estuvieron entre 1700 a 29100 NMP/100 mL en la BIP y en zona testigo entre 1100 y 3300 NMP/100 mL, siendo significativamente mayores las zonas adyacentes a la laguna Espinar ( $p < 0.05$ ) y en las épocas transitoria y lluviosa. Los coliformes termotolerantes fluctuaron entre 560 y 9380 NMP/100 mL en la BIP, mientras en que en la zona testigo de 480 y 1120 NMP/100 mL, alcanzando también más altos niveles cerca a la isla Espinar y época transitoria. Con estos niveles, según la norma nacional casi toda el área de la BIP no puede tener ningún uso, ni siquiera recreacional, ratificando las concentraciones de *Escherichia coli* la imposibilidad de uso de estas aguas, ya que alcanzaron niveles entre 380 hasta 3100 NMP/100 mL en la BIP, incluso la zona testigo presentó entre 4 a 120 NMP/100 mL. Según isolíneas, la distribución de *Escherichia coli* (indicador más representativo), es por todo el ámbito superficial de la BIP, con valores superiores a 500 NMP/100 mL y fuera de la BIP puede llegar hasta 100 NMP/100 mL. El estudio confirma que la BIP se encuentra altamente contaminada, siendo los coliformes importantes indicadores de la calidad de las aguas.

**Palabras clave:** Aguas residuales, *Escherichia coli*, Isla Espinar, Isolíneas, Lago Titicaca.



## ABSTRACT

The Inner Puno Bay, in Lake Titicaca, has received wastewater discharges from the city of Puno for years, considering it a potential risk for public health and ecosystems, being a way to characterize these negative impacts through the evaluation of bacteria coliforms. In this context, the objectives were proposed: Determine the concentrations of total, thermotolerant coliforms and *Escherichia coli* in surface waters of the inner bay of Puno, according to areas and times and Characterize the spatial distribution of the levels of contamination by coliforms in the interior bay of Puno using isolines. Monthly sampling (six months) of surface water from the inner bay was carried out at 13 representative points and at two points outside the bay as controls, analyzing total coliforms, fecal and *Escherichia coli*, using the multiple fermentation tube technique in most probable number (MPN). Zoning was carried out using LANDSAT satellite images from Google Earth and ArcGIS v10 software, adding georeferencing shapes of the sampling points. The values of total coliforms were between 1700 to 29100 MPN/100 mL in the IPB and in the control zone between 1100 and MPN/100 mL, with the areas adjacent to the Espinar lagoon being significantly higher ( $p < 0.05$ ) and in the transitory seasons. and rainy Fecal coliforms fluctuated between 560 and 9380 in the BIP, while in the control area 480 and 1120 MPN/100 mL, also reaching higher levels near Espinar Island and in the transitional period, with these levels, according to the national standard. Almost the entire area of the IPB cannot have any use, not even recreational, the concentrations of *Escherichia coli* confirming the impossibility of using these waters, since they reached levels between 380 to 3100 MPN/100 mL in the IPB, including the Control zone presented between 4 to 120 MPN/100 mL. According to isolines, the distribution of *Escherichia coli* (the most representative indicator) is illustrated throughout the superficial area of the IPB, with values greater than 500 MPN/100 mL and outside the IPB it can reach up to 100 MPN/100 mL. The study confirms that the IPB is highly contaminated, with coliforms being important indicators of water quality.

**Keywords:** Wastewater, *Escherichia coli*, Spinar island, Distribution, Isolines, pollution, Titicaca lake.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Los lagos ubicados en las áreas urbanas se enfrentan al embate de distintas actividades antropogénicas con el consiguiente deterioro paulatino y constante, causando contaminación, degradación del recurso hídrico como fuente de agua y fuente de recursos e incluso en la actividad turística. Esto significa un desafío para su restauración y rehabilitación, para lo cual se requiere un conocimiento adecuado de los impactos de las actividades humanas y principalmente caracterizar la calidad sanitaria a través de la determinación de sus parámetros más importantes y particularmente coliformes totales y termotolerantes (Edberg et al., 2000; Namihira-Santillan et al., 2002), Así mismo, tener este conocimiento permite entender el riesgo epidemiológico en la salud pública por esta causa y planificar estrategias de control (Rodríguez et al., 2016). Se estima que el 4 % del total de muertes en el mundo están relacionadas con la calidad del agua, higiene y saneamiento. En América Latina y el Caribe, las enfermedades diarreicas agudas, son una de las diez causas principales de muertes por año, debido a problemas en la calidad del agua, principalmente por manejo inadecuado de aguas residuales (OMS, 2015; Rodríguez et al., 2016). En el Perú el 80.4 % de viviendas se provee de agua por red pública, lo que condiciona la presencia de enfermedades infecciosas relacionadas con el agua como las diarreas, malaria, dengue, leptospirosis, hepatitis virales A y E, entre otras (Cabezas, 2018).

El problema puntual de la bahía interior de Puno, en el lago Titicaca, es que por décadas viene recibiendo las aguas residuales de la ciudad de Puno, los cuales carecen de un adecuado tratamiento previo o simplemente no lo tienen. Esto definitivamente repercute en la salud pública de la población, especialmente en las áreas aledañas a este





ecosistema, ya que existen numerosas familias que habitan desde el sector Huaje hasta la localidad de Chimú en su ámbito litoral. Desde esta perspectiva, se considera importante estudiar las concentraciones de coliformes en sus aguas porque son los principales indicadores del estado o la condición sanitaria, incluyendo totales, termotolerantes y *Escherichia coli*, los cuales permiten identificar áreas con diferentes impactos microbiológicos y por tanto el posible efecto sanitario en las personas que habitan las inmediaciones y están directamente interactuando en estos ambientes. Además, permite verificar los niveles de contaminación fecal en las aguas y por tanto su calidad para diferentes usos humanos.

La bahía interior de Puno ha sido evaluada en cuanto a sus condiciones limnológicas y de calidad hace muchos años (en la década de los 80), luego se ha tenido evaluaciones eventuales de nivel institucional (principalmente el ANA e IMARPE), casi todas orientadas a un nivel ecológico de calidad ambiental (parámetros físicoquímicos, planctónicos, etc). Sin embargo, existe una carencia de estudios microbiológicos, orientados a definir el riesgo de este cuerpo acuático sobre la salud humana y en especial cuando estas aguas son obtenidas para uso doméstico como agua potable, captada desde la bocatoma de Chimú, ya que desde allí se distribuye a toda la ciudad de Puno.

Por ello el presente trabajo de investigación busca caracterizar las condiciones microbiológicas de las aguas de la bahía interior en áreas aledañas a la ciudad, mediante el uso de coliformes, y busca además comprender el nivel de afectación que tienen este cuerpo acuático desde el punto de vista microbiológico al cabo de varias décadas de evaluación. También se compara la calidad de las aguas en distintas zonas, ya que esto permitirá planificar alternativas de manejo y control, en la protección de este recurso



hídrico y sobre todo verificar si las aguas en estas áreas y especialmente en Chimú (Ojerani), aún cumplen con los estándares para uso humano.

### 1.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar los niveles de contaminación por coliformes y su ámbito de distribución espacial en la zona litoral y la bahía interior de la ciudad de Puno, lago Titicaca.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las concentraciones de coliformes totales, termotolerantes y *Escherichia coli* en las aguas superficiales de la bahía interior de Puno, según zonas y épocas.
- Caracterizar la distribución espacial de los niveles de contaminación por coliformes en la bahía interior de Puno mediante isolíneas utilizando tecnología SIG



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1. Uso de coliformes como indicadores de contaminación

Las coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo los humanos y su presencia es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas negras; generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo (Munn, 2004; Ramos-Ortega et al., 2008). La contaminación fecal ha sido y sigue siendo el principal riesgo sanitario en el agua, ya que supone la incorporación de microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades en la salud humana, por lo que, el control sanitario de riesgos microbiológicos es tan importante, y constituye una medida sanitaria básica para mantener un grado de salud adecuado en la población (Marín et al., 2004). Por ello, la elección cuidadosa del análisis microbiológico en aguas de recreación o de otros usos es de gran importancia para la evaluación oportuna de los riesgos y la implementación de estrategias que protejan eficazmente a los usuarios y preserven la calidad del agua (Rodrigues y Cunha, 2017).

##### 2.1.2. Contaminación en la bahía interior de Puno

Las coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo los humanos y su presencia es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas negras;



generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo (Munn, 2004; Ramos-Ortega et al., 2008). La contaminación fecal ha sido y sigue siendo el principal riesgo sanitario en el agua, ya que supone la incorporación de microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades en la salud humana, por lo que, el control sanitario de riesgos microbiológicos es tan importante, y constituye una medida sanitaria básica para mantener un grado de salud adecuado en la población (Marín et al., 2004). Por ello, la elección cuidadosa del análisis microbiológico en aguas de recreación o de otros usos es de gran importancia para la evaluación oportuna de los riesgos y la implementación de estrategias que protejan eficazmente a los usuarios y preserven la calidad del agua (Rodrigues y Cunha, 2017).

El problema de contaminación de la bahía interior de Puno (Perú) tiene un arraigo de más de 50 años, considerando que la laguna de estabilización Espinar fue construida en 1968 para recepcionar las aguas residuales de la ciudad de Puno (22.3 ha y 1.5 m de profundidad), al parecer desde siempre con escasa eficiencia; aunque la red del sistema de alcantarillado fue construida en 1929 y previo a la laguna de estabilización las aguas residuales llegaban a la bahía interior de Puno (Pacoricona et al., 1991). Sus efectos no sólo fueron a nivel del ecosistema, de los recursos naturales y de la biodiversidad, sino también a nivel de la salud humana. Para la década de los 80, se determinó las enfermedades contraídas a causa del agua contaminada en la ciudad e Puno constituyeron del 15 al 20 % de todas las enfermedades, sufriendo los niños alta incidencia de disentería, gastroenteritis, mientras que la fiebre tifoidea y hepatitis tuvo mayor persistencia en la población de mayor edad (Northcote et al., 1991).



Para 1982 no se registró bacterias coliformes fecales en la bahía exterior de Puno, pero sí en la bahía interior llegando en algunos casos a 100000 NMP/100 mL, siendo la época de lluvias los niveles más elevados por el mayor volumen de escorrentía (aguas residuales y escorrentía urbana). El cociente Cf/CT fue de 0.55 y 0.52 en enero y febrero y aumentaron a 0.60 y 0.81 en marzo y setiembre. Además, muchos de los pozos de la ciudad de Puno tuvieron importantes concentraciones de coliformes (Rivera et al., 1991). A esto se sumó una prevalencia de 63 % de parasitismo intestinal en la zona marginal de la ciudad de Puno y 36 % en la zona central de población escolar urbana (Sanchez et al., 1991). En general se conoce que el 80 % de las enfermedades del mundo esta relacionadas con la falta de un suministro de agua limpia y saneamientos adecuado (Rivera et al., 1991).

Se ha estimado a partir del aforo en el ingreso a la laguna de oxidación Espinar, que la cantidad de aguas residuales generadas por la ciudad de Puno alcanza los 187.4 L/s, que significan unos 5 911423.2 m<sup>3</sup>/año (Ocola y Laqui, 2017). Sin embargo, existen numerosos puntos que ingresan sin llegar previamente a la laguna (Pacoricona et al., 1991).

Con referencia a la calidad de la BIP (Puno, Perú), las ultimas evaluaciones indican alta contaminación por materia orgánica, conducente a niveles extremos de eutroficación. La transparencia van de 0.37 hasta 2.5 m con un promedio de 1.43 m, el oxígeno disuelto 6.62 mg/L (desde 4.56 a 8.4), el pH en promedio 9.43 (9.23 a 9.53), la dureza total 300.5 mg/L (280 a 320), los fosfatos registró 1.02 mg/L (0.67 a 1.18), los nitratos 0.12 mg/L (0.04 a 0.18), los nitritos con 0.07 mg/L (0.04 a 0.13), la conductividad 1666.95  $\mu$ S/cm (1651.6 a 1685.8) y finalmente



*Escherichia coli* presentó niveles de 502.78 UFC/100 mL en promedio (de cero a 2 872.22) (Beltrán et al., 2015). Todas estas características refieren que la BIP constituye un ecosistema altamente contaminado cuya fuente más importante de contaminación son las aguas residuales de la ciudad de Puno sin un tratamiento previo (Northcote, et al., 1991; CMPRLT, 2014). Otra evaluación reportó que los coliformes termotolerantes en más del 50 % de los puntos de muestreo superaron los 1 000 NMP/100 mL que exigen los ECAs (CMPRLT, 2014).

Para el 2013 se reportó que los coliformes totales en la bahía interior de Puno (Perú) llegaron hasta 15 000 NMP/100 mL en la parte superficial y los coliformes termotolerantes hasta 9300 NMP/100 mL, donde el 30 % de muestreos superó los estándares de calidad ambiental (CMPRLT, 2014). Así mismo, para el 2015 los parámetros microbiológicos en la bahía interior alcanzaron valores de 2 900 NMP/100 mL en coliformes fecales y 11 000 NMP/100 mL de coliformes totales (Callata, 2015).

En la BIP se reporta los niveles de coliformes totales en dos profundidades (20 y 80 % de profundidad de la columna de agua) en 15 puntos de monitoreo, encontrándose que en todos superan el límite establecido en los ECAs (Categoría 4), alcanzando valores superiores a 2 000 NMP/100 mL, sobre todo en muestras colectadas a 80 % de profundidad de la columna de agua. Respecto a los coliformes termotolerantes, en 9 puntos de monitoreo superaron el límite establecido en los ECAs categoría 4, alcanzando valores superiores a 1 000 NMP/100 mL (CMPRLT, 2014).

Entre el 2010 y 2011 se encontró valores promedios desde 105 (diciembre) a 712.5 (abril) UFC/100 mL de *Escherichia coli* en la bahía interior de Puno



(Perú), siendo la zona aledaña a la laguna de oxidación Espinar la que presentó mayores cargas con valores que llegaron hasta 2 872.22 UFC/100 mL y las de menores cargas en la parte media de la bahía que presentaron de 0 a 5.57 UFC/100 mL (Beltrán et al., 2015).

Para el año 2012 se evaluó una carga de coliformes fecales entre  $0.8 \times 10^5$  a  $5 \times 10^6$  NMP/100 mL de coliformes totales en la salida de la laguna Espinar (Puno, Perú) y  $3 \times 10^4$  a  $1.8 \times 10^6$  NMP/100 mL de coliformes termotolerantes (Ordoñez, 2013).

### **2.1.3. Contaminación bacteriológica en otras regiones**

Se estudió la contaminación bacteriológica en la bahía de Sechura (Piura), encontrándose que todos los puntos monitoreados presentaron niveles no aptos según los ECAs del Perú, tanto para uso recreativo, extracción de especies hidrobiológicas y como ecosistemas marinos costeros, siendo el 100 % de muestras positivas a coliformes totales y el 98.19 % positivos a coliformes fecales; además los factores fisicoquímicos no influyeron en la presencia de coliformes y el estudio evidencia que la bahía constituye un riesgo para la salud de las personas y el medio ambiente (Gianoli et al., 2018).

En otras latitudes se realizaron estudios en zonas acuáticas aledañas a centros poblados, como en un estuario de La Guajira (Colombia) donde la presencia de coliformes termotolerantes tuvo resultados diferenciales entre zonas y meses, evidenciándose los valores más bajos entre enero y abril, por debajo de 1000 NMP/100 mL cuyo uso sería básicamente para actividades recreativas y para actividades agrícolas y pecuarias, y los más altos en agosto, superando las 180000 NMP/100 mL, en este no serían aptas para ningún uso (Molina-Bolívar y Jiménez-



Pitre, 2017). En otro lago urbano de México (Nayahuilpas) rebasaron los niveles recomendables para la recreación con contacto primario en un 83 % de los casos en coliformes totales y en 67 % los casos de coliformes fecales para la protección de vida acuática; siendo las concentraciones de bacterias en los sedimentos unas 100 veces más altas que en el agua, donde las concentraciones más altas se dieron durante la época de más altas temperaturas también (abril a julio) (Namihira-Santillán et al., 2002).

En una bahía colombiana (Santa Marta) en el mes de septiembre presentaron valores de coliformes totales tanto en superficie como en fondo que oscilaron entre 2100-4600 x 10<sup>6</sup> NMP/100 mL; los coliformes fecales en superficie presentaron valores entre 230-240 x 10<sup>3</sup> NMP y en fondo oscilaron entre 60-4600 NMP, en todas las estaciones, tanto para coliformes totales y fecales, los valores excedieron los límites permisibles para contacto primario (Ramos-Ortega et al., 2008).

Un estudio en el Golfo Pérsico concluyó que los niveles de concentración de indicadores microbianos disminuyeron con la profundidad en los sedimentos, excepto los coliformes totales, la cantidad de otras bacterias, incluidas coliformes fecales y *Pseudomonas aeruginosa*, disminuyeron significativamente en la profundidad entre 10 y 15 cm y según los resultados, el número promedio de indicadores bacterianos que incluyen coliformes totales, coliformes fecales y *Pseudomonas aeruginosa* fueron 1 238.13, 150.87, 8.22 NMP/100 mL. (Noroozi et al., 2017).

En una ciénaga colombiana las mayores concentraciones de Coliformes fecales se encontraron en el palafito Trojas de Cataca, en la época seca mayor de





cada año (7800-9000 NMP/100 mL) y los menores niveles en la estación Buenavista (2-1100 NMP/100 mL); el patrón de comportamiento de las densidades de Coliformes en las poblaciones costeras fue similar en el tiempo y no se observó ninguna relación directa entre las variables fisicoquímicas (temperatura, oxígeno disuelto y pH) y el grupo Coliformes; se considera importante vigilar la calidad del agua, teniendo en cuenta que constituye una fuente potencial de riesgo para el desarrollo de las actividades económicas de la zona y para la salud de los pobladores (Narváez et al., 2008).

En un lago de Florida (USA) se investigó la relación entre el uso de la tierra (sin uso, pastoreo de ganado y urbano) y los niveles de bacterias indicadoras fecales en lagos artificiales; los niveles de coliformes fecales variaron con la categoría de uso, siendo significativamente mayores en sedimentos de lagos urbanos, que los lagos sin uso o afectados por el ganado; las precipitaciones estuvieron más fuertemente asociadas con los niveles de coliformes que con la categoría de uso de la tierra (Staley et al., 2013).

#### **2.1.4. Uso de sistemas de información geográfica (SIG) para la gestión del agua**

Los SIG son herramientas de gran importancia en la actualidad, que permiten de forma dinámica analizar, almacenar datos y visualizar información en sus dimensiones espacial y temporal, las características hidrológicas e hidrogeológicas de ecosistemas acuáticos (Martínez et al., 2016). Así, el uso de SIG se va difundiendo para la gestión del agua, ya que permite mapear y analizar tendencias para la toma de decisiones relacionadas con su remediación, manejo y control (Sánchez y Amorós, 2012).



Aunque no se tiene información al respecto para la BIP, por ejemplo, en México, en Sonora, se evaluó la variación espacial de la calidad del agua para uso agrícola, utilizando isolíneas en mapas que representaban los niveles de concentración de diferentes parámetros fisicoquímicos, zonificando y conociendo de esta manera las zonas de mayor contaminación, riesgo y más saludables (Martínez et al., 2016).

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Contaminación del agua**

El agua es elemento imprescindible para la vida y esencial para actividades que incluyen a la agricultura (70 % al 80 %), industria (20 %) y uso doméstico (6 %), considerándose entre los recursos más valorados del planeta (Arcos et al., 2005) y necesario de conservar y mantener su calidad natural, de modo que se garantice su sostenibilidad y uso por las generaciones venideras (ONU, 2014). Sin embargo, actualmente existe una permanente contaminación hídrica, conceptuada como la presencia de elementos químicos, físicos o biológicos en un nivel superior a su condición natural, haciendo que no reúna las características a cuyo uso se tiene destinado (Zarza, 2020). Esta modificación en las características del agua la vuelve inadecuada y riesgosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca, el turismo y otras actividades socioeconómicas, incluyendo a los animales y plantas cultivadas y de vida silvestre (Mihelcic y Zimmerman, 2011).

Hay dos fuentes básicas de contaminación del agua y son (Mihelcic y Zimmerman, 2011; Singh y Gupta, 2017):



- *Fuente puntual*: aquellas que tienen una fuente identificable directa, por ejemplo, la tubería conectada a una fábrica, derrame de petróleo de un camión cisterna, efluentes que salen de industrias, también incluyen efluentes de aguas residuales (tanto municipales como industriales) y descargas de alcantarillado pluvial.
- *Fuentes no puntuales o difusas*: provienen de diferentes fuentes de origen y número de vías por las cuales los contaminantes ingresan a las aguas subterráneas o superficiales y llegan al medio ambiente de diferentes fuentes no identificables, por ejemplo: escorrentía de campos agrícolas, residuos sólidos urbanos, entre otros.

Los principales contaminantes del agua vienen a ser los siguientes (Zarza, 2020; Singh et al., 2020):

- *Sedimentos y material suspendido*: partículas desprendidas del suelo y arrastradas por escorrentía.
- *Microorganismos patógenos*: organismos microscópicos como bacterias, virus, protozoarios, que producen enfermedades (cólera, tifoidea, gastroenteritis, hepatitis, etc); llegan al agua con las heces y con otros restos orgánicos.
- *Desechos orgánicos*: residuos biológicos producidos por los humanos (aguas residuales urbanas e industriales), ganado, agricultura, etc.
- *Sustancias químicas inorgánicas*: como ácidos, sales y metales pesados tóxicos como el plomo, mercurio, entre otros.



- ***Nutrientes vegetales inorgánicos:*** conformados por nitratos y fosfatos en cantidad excesiva, provenientes de la agricultura, propiciando eutroficación de las aguas.
- ***Compuestos orgánicos especiales:*** moléculas de plásticos, petróleo, gasolina, disolventes, plaguicidas, detergentes.
- ***Sustancias radiactivas:*** isotopos radiactivos solubles acumulables a lo largo de las cadenas tróficas. Se emite por centrales nucleares, ensayos de armas nucleares y fabricación de material radiactivo.
- ***Contaminación térmica:*** provocada por agua caliente saliente de centrales de energía o como resultado de procesos industriales que elevan la temperatura del agua.

### **2.2.2. Contaminación y problemática por aguas residuales**

El agua es un recurso esencial que requiere la máxima atención de los gobiernos por ser indispensable para la preservación de la vida y encontrarse expuesta al deterioro, a veces irreversible, debido a un uso irresponsable del recurso (Castro et al., 2014). Contaminación del agua es la adición de materia extraña que deteriora su calidad, por la presencia de elementos, sustancias o energías en concentración o niveles no deseados, siendo la calidad la propiedad del agua para sus usos actuales y/o potenciales, que le permite seguir siendo útil al hombre (Gil, 2005). Esta contaminación se ocasiona generalmente a través de los residuos industriales y los desagües de las ciudades que son arrojados a los ríos, lagos y mares (James, 2009).



Los principales efectos por el inadecuado tratamiento de aguas residuales incluyen los *efectos directos* a la Salud, relacionados con brotes de enfermedades (alimentos, agua y transmitidas por vectores), enfermedades persistentes (infecciones intestinales por helmintos, enfermedades diarreicas), enfermedades no transmisibles (aguas residuales mezcladas con desecho industrial que contiene metales pesados); y *efectos indirectos* a la salud como impactos negativos adversos en la calidad del agua de consumo y las recreacionales, así como la inocuidad de los alimentos (OMS, 2014). La mayoría de las ciudades no tienen o no asignan los recursos necesarios para la gestión de las aguas residuales; el 90 % de las aguas residuales de las ciudades de los países en desarrollo se vierte directamente sin tratar en ríos, lagos o mar (WWAP, 2017). Los ecosistemas acuáticos son de enorme importancia para la vida en la Tierra, sin embargo, son ecosistemas frágiles y muy vulnerables a la contaminación por descargas residuales, que son una mezcla de emisiones domésticas, comerciales y efluentes industriales, escorrentía urbana e infiltración (UNEP/WHO, 2004).

### **2.2.3. Eutroficación de las aguas**

La Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) define eutroficación al enriquecimiento de aguas con nutrientes con efectos en la producción acelerada de algas y otras plantas acuáticas macrofíticas, pudiendo deteriorar la calidad del agua, afectar la pesquería y el deterioro en la calidad del agua para sus diferentes formas de uso (Blancas y Hervas, 2001).

Cuando esta eutroficación es propiciada por actividades humanas se denomina “eutroficación cultural” y conlleva un acelerado aporte de nutrientes, los que incluyen fósforo y nitrógeno en el cuerpo de agua, alterando a las



comunidades acuáticas, e interfiriendo con el uso del agua por el hombre (Bravo, 2003).

Los efectos de la eutroficación en el agua son (Blancas y Hervas, 2001):

- Disminución importante del oxígeno disuelto, pudiendo eliminar la vida acuática.
- Aumento de turbidez
- Incremento de los sedimentos

#### **2.2.4. Microorganismos del agua**

Existen numerosos microorganismos relacionados con la transmisión de enfermedades por el agua, estos incluyen virus, protozoarios, bacterias, cianobacterias y helmintos, que pueden provocar condiciones de gravedad en las personas, sin embargo, se pueden incluir desde una gastroenteritis simple hasta fiebre tifoidea, disentería, hepatitis y diarreas (Prescott et al., 1996), al margen que en la actualidad están relacionados con una alta incidencia de microorganismos emergentes (dengue, cólera) y reemergentes como la tuberculosis, malaria, peste (Arcos et al., 2005; Suárez y Berdasquera, 2000).

Estos últimos tipos de enfermedades está relacionado con drásticos cambios en el ambiente, procesos intensivos de urbanización, incremento de pobreza, ocupación de áreas naturales, migraciones incontroladas y facilidad de movimientos poblacionales humanos y de animales (WHO, 2003), a lo que se aúna la progresiva resistencia de los microorganismos a los antibióticos que reducen su eficiencia, incrementando la mortalidad y los costos de su tratamiento (Parven et al., 1998).



Por ello es imprescindible identificar el tipo de microorganismos presentes en el agua y determinar sus concentraciones, ya que permite conocer su calidad y tomar decisiones para su control y tratamiento; además de posibilitar estrategias para la conservación de los ecosistemas acuáticos (Arcos et al., 2005). Entre los microorganismos del agua, las bacterias coliformes son los más apropiados indicadores de contaminación microbiológica, ya que una gran proporción son propios del tracto gastrointestinal de animales de sangre caliente y de humanos y se mantienen por más tiempo activos en el agua (Arcos et al., 2005).

La gestión y tratamiento de aguas residuales siempre tuvo como objetivo principal, la eliminación de elementos que ocasionen enfermedades en los humanos, teniendo en cuenta que ya se conocía que muchos microorganismos causaban enfermedades en el hombre y estos se encontraban principalmente en aguas residuales provenientes de los excrementos de las personas y también de la industria alimentaria (López et al., 2017). La Tabla 1, refiere los rangos de concentraciones de diferentes microorganismos patógenos en las heces humanas.

**Tabla 1**

*Concentración de patógenos entéricos en heces.*

| Organismo                  | por gramo de heces |
|----------------------------|--------------------|
| Parásitos protozoarios     | $10^6-10^7$        |
| Helmintos                  |                    |
| <i>Áscaris</i>             | $10^4-10^5$        |
| Virus Entéricos            |                    |
| Enterovirus                | $10^3-10^7$        |
| Rotavirus                  | 1010               |
| Adenovirus                 | 1011               |
| Bacterias entéricas        |                    |
| <i>Salmonella</i> sp.      | $10^4-10^{10}$     |
| <i>Shigella</i>            | $10^5-10^9$        |
| Bacterias indicadoras      |                    |
| Coliformes totales         | $10^7-10^9$        |
| Coliformes termotolerantes | $10^6-10^9$        |

**Fuente:** López (2017).

- **Bacterias:** La función de las bacterias es importante en los procesos de descomposición y estabilización de materia orgánica en ambientes naturales, artificiales, así como en plantas de tratamiento de aguas residuales, por lo que es altamente relevante conocer sus características, funciones, metabolismos y proceso de síntesis, así como su identificación correcta (Metcalf & Eddy, 1995). En aguas residuales, las bacterias tienen abundante alimento en forma de materia orgánica lo que influencia en su elevado crecimiento (Von Sperling, 2007). Un grupo importante como indicadores de contaminación microbiológica lo constituyen los coliformes.
- **Virus:** agentes microscópicos compuestos sólo de ácido nucleico (que contiene la información genética) rodeado por la cápside o una capa protectora, algunos también tienen una capa lipídica que rodea la capa proteica y su ácido nucleico puede ser ácido ribonucleico (ARN) o bien ácido desoxirribonucleico (ADN); los virus no pueden desarrollarse fuera del organismo huésped (que pueden ser incluyen bacterias, plantas o animales),





pero no necesitan alimentos para sobrevivir, por lo que son capaces de sobrevivir por largos períodos de tiempo, sobre todo en situaciones de ambientes extremos. Los que se desarrollan en el tracto intestinal se denominan virus entéricos y tienen un huésped específico, adquiriéndose muchas veces desde el agua; así; una ingesta de pocos virus (1-10) puede ocasionar una peligrosa infección, comparado con los miles de bacterias entéricas que tienen que ingerirse para que ocurra ello (López et al., 2017).

- **Hongos:** constituyen organismos eucariotas aeróbicos, no realizan fotosíntesis, son multicelulares y quimio heterótrofos; muchas de ellos son saprófitos y se alimentan de materia orgánica muerta. Junto con bacterias, son los principales descomponedores del carbono en la biosfera; sus ventajas frente a las bacterias, son que crecen y desarrollan en zonas de baja humedad y ambientes con pH bajos y sin su participación en los procesos de descomposición, la materia orgánica se acumularía en inmensas cantidades en todos los tipos de ecosistemas, aunque existen algunas especies de importancia sanitaria (Metcalf y Eddy, 1995).
- **Protozoarios:** microorganismos eucarióticos, unicelulares, sin paredes celulares, su fuente alimenticia son bacterias y otros organismos; son principalmente de vida libre y pueden ser hallados en aguas superficiales; pero existen especies que pueden parasitar animales y humanos, manifestándose algunos tipos de enfermedades. La respuesta más común son problemas gastrointestinales, de corta duración, aunque individuos sensibles, como niños, ancianos e inmuno deprimidos, suelen tener efectos más graves, crónicos e incluso fatales (FUNASA, 2013).

- **Algas:** son importantes productores primarios, aunque pueden representar algunos problemas en aguas superficiales, ya que se reproducen muy rápido en condiciones favorables, ocurriendo el fenómeno conocido con el nombre bloom algal, que puede conducir a que los ecosistemas acuáticos se cubran con grandes colonias flotantes. Estos crecimientos explosivos son propios de ecosistemas acuáticos eutróficos (Metcalf y Eddy, 1995).

#### 2.2.5. Las bacterias coliformes

Este tipo de bacterias se definen como bacilos anaerobios facultativos, Gram-negativos, que no forman esporas, fermentan la lactosa a ácido y forman gas a  $35 \pm 2$  °C en 24 o 48 h; generalmente pertenecen a cuatro géneros de la familia Enterobacteriaceae, entre ellos: *Citrobacter freundii*, *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter aerogenes*, *Escherichia coli* y *Klebsiella pneumoniae* y algunas de ellas están asociadas con los intestinos de animales de sangre caliente y otras están relacionadas con material vegetal (Halkman y Halkman, 2014).

- **Tipos de bacterias coliformes (Figura 1)**

- **Coliformes totales:** Como ejemplo se incluyen a *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Citrobacter*) que viven siendo saprófitos independientes y patógenos del intestino (Canosa, 1995). Estas pueden ser comunes en plantas, suelo, animales y humanos (Ramos-Ortega et al., 2008), siendo parte de este grupo *Escherichia coli* y *Enterobacter* inofensivas, organismos intestinales comunes y patógenos ocasionales como los géneros *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Kluyvera* y *Leclercia* y algunos miembros del género *Serratia* (Saxena et al., 2015). Cuando se detecta solo coliformes totales en el agua, significa que la fuente es ambiental y la



contaminación fecal es improbable. La presencia de coliformes totales se interpreta dependiendo del tipo de aguas: deberían estar ausentes en el 85 % de muestras de aguas potables tratadas y si están presentes, su número no debe superar los 2-3 coliformes; esta contaminación al margen de ser baja, no debe ocurrir en tres muestras colectadas en días consecutivos (Arcos et al., 2005). En aguas sometidas a tratamiento, la presencia de coliformes totales alertan de que ocurre contaminación, sin identificar el origen, pero refieren que hubo fallas durante el tratamiento, durante la distribución o en las mismas fuentes domiciliarias (Harwood et al., 2005).

- ***Coliformes fecales:*** Tienen un origen propiamente intestinal (Canosa, 1995), por lo que se encuentran en las heces de humanos y animales de sangre caliente (WSDH, 2016), llamados también termotolerantes ya que pueden crecer y fermentar lactosa con la producción de ácido y gas a 44.5 °C en presencia de sales biliares (Saxena et al., 2015). *Escherichia coli* es un subgrupo de coliformes fecales y la mayoría de estas bacterias son inofensivas, sin embargo, algunas cepas (como *Escherichia coli* 0157:H7) pueden causar enfermedades y su presencia en agua indica contaminación fecal reciente, lo que significa un mayor riesgo de presencia de patógenos (WSDH, 2016). Estos coliformes se encuentran dentro de la familia Enterobacteriaceae, son anaerobios facultativos, bacilos Gram negativos, no esporulantes y fermentadores de lactosa con producción de gas, representan el 10% de microorganismos del tracto intestinal en humanos y otros animales (Prescott et al., 1996). Si bien tienen capacidad reproductiva fuera del intestino de animales homeotermos, lo cual se favorece por ciertas condiciones de materia orgánica, pH, humedad, entre



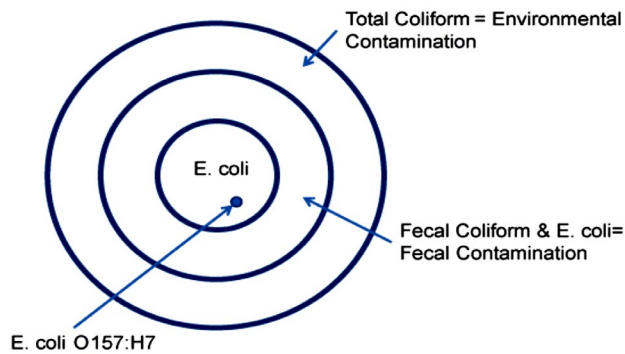
otros (Arcos et al., 2005), no suelen sobrevivir en el medio acuático, ya que pasan por estrés fisiológico y pierden gradualmente su capacidad de generar colonias en medios diferenciales y selectivos, su ritmo de mortalidad depende de las temperatura del agua, de la incidencia de luz solar, de poblaciones de otras bacterias y de la composición química del agua (Arcos et al., 2005). Por ello, la presencia de coliformes termotolerantes en las aguas, indican contaminación bacteriana reciente y son importantes indicadores de la degradación de recursos hídricos (Fernández et al., 2001).

- ***Escherichia coli***: Es miembro predominante de la porción anaeróbica facultativa de la flora normal del colon humano y es una bacteria Gram negativa en forma de bastoncillo que se encuentra en el intestino delgado de animales endotermos; su único hábitat natural es el intestino grueso de estos animales y generalmente no sobrevive bien fuera del tracto intestinal. Su sola presencia en alimentos o agua no indica necesariamente que haya microorganismos patógenos en la muestra, pero sí indica que existe mayor riesgo de presencia de otras bacterias y virus transmitidos por heces, como *Salmonella spp* o el virus de la hepatitis A, que son patógenos; por esta razón *Escherichia coli* se usa como indicador para identificar muestras de agua y alimentos que pueden contener niveles inaceptables de contaminación fecal (Odonkor y Ampofor, 2013).
- ***Escherichia coli***: Fermenta la lactosa a temperaturas entre 44°C y 44.5°C, son de origen específicamente fecal, ya que está siempre presente en grandes cantidades en las heces de los seres vivos de sangre caliente;

además su presencia en muestras de agua, indica fallas en la eficacia del tratamiento de aguas o en el sistema de tratamiento, por lo que es evidencia de contaminación con riesgos en la salud pública (Pullés, 2014).

### Figura 1

*Los diferentes subgrupos de coliformes en un medio acuático (WSDH, 2016)*



- **Sobrevivencia de *Escherichia coli* en hábitat primario y secundario**

- *Escherichia coli* reside en la parte baja del intestino de los seres humanos y animales homeotermos, siendo este un lugar que provee cantidad de nutrientes para su desarrollo (Larrea et al., 2013) y se ha estimado que su tiempo de sobrevivencia en este hábitat es de dos días (Winfield et al., 2003); además se sugiere que la mitad de la población de *Escherichia coli* reside en su hábitat primario del hospedante y la otra mitad en el ambiente externo o hábitat secundario (Faust et al., 1975). Según ello. *Escherichia coli* crece y se divide en su hábitat primario, pero tiene una proporción neta negativa de crecimiento en el hábitat secundario, con una supervivencia de aproximadamente un día en el agua (Faust et al., 1975), 1.5 días en sedimentos (Gerba et al., 1976) y tres días en el suelo (Temple et al., 1981). Según esta



información *Escherichia coli* tiene limitaciones en ambientes inertes, aunque con el continuo volumen transferido de fuentes humanas y animales se mantiene una estable población fuera del hospedante animal; es decir, sus poblaciones encontradas en el hábitat secundario son mantenidas por el permanente arribo de poblaciones del hábitat primario (Winfield et al., 2003).

- Estudios en diferentes ecosistemas acuáticos naturales demostraron que la concentración de *Escherichia coli* en sus aguas fueron muy bajas, por lo que se concluyó, que esta bacteria no constituye un miembro de la microbiota de estos ecosistemas y su presencia es muestra del aporte de materia fecal, posiblemente por animales de vida salvaje (Larrea et al., 2013)

#### **2.2.6. La bahía interior de Puno**

La bahía interior de Puno, según últimas estimaciones, presenta una superficie de 15.9 km<sup>2</sup> y una profundidad máxima de 7.19 m, en áreas aledañas a la ciudad de Puno, aunque con la mayor área a profundidades menores a 1 m, recibiendo altas cantidades de sedimentos procedentes de las aguas residuales y de las escorrentías en la época de lluvias, acelerando sus procesos de eutroficación y degradación ambiental (Loza-Del Carpio et al., 2016). Sus aguas contienen altas concentraciones de nutrientes y materia orgánica, que proceden justamente de las descargas de aguas residuales, con lo que ingresa también contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos (Northcote et al., 1991).

Desde hace décadas y aún en la actualidad, la bahía interior de Puno, es la vía de acceso a las islas Uros, así como Amantaní y Taquile, por transporte



lacustre, continúa siendo receptor de aguas residuales y otros desperdicios sólidos (basura), es fuente de agua potable, a veces la usan como letrina comunal, de zona de recreación, de fuente de forraje para ganado (totoras, llachos), para pesca, se aprecian asentamientos y agricultura cuando baja el nivel del lago y las aguas de pozo de las inmediaciones son de muy baja calidad, con lo que se genera un gran riesgo para la salud de la gente local y de los turistas que con frecuencia arriban a este ecosistema (Northcote y Morales, 1991).

Estudios más recientes indican que la mayoría de parámetros fisicoquímicos se encuentran con valores inadecuados, siendo el área próxima a la salida de la laguna de estabilización de Espinar, la más críticamente contaminada y las altas cantidades de coliformes fecales, son resultado de las descargas directas de aguas residuales desde la ciudad de Puno (Beltrán et al., 2015). Además, se ha determinado un alto riesgo por exposición ambiental de metales pesados en las aguas de la Bahía Interior, cuyas concentraciones son permanentes durante todo el año y mayores concentraciones en la época de estiaje, sobre todo en los metales cobre, zinc plomo y cadmio (Moreno et al., 2017), los cuales superaron los límites establecidos en los ECAS para calidad de aguas de lagos y lagunas (MINAM, 2017).

#### **2.2.7. Métodos de análisis bacteriológico en aguas**

- **Muestras**

La toma de muestras se puede realizar utilizando frascos, de plástico o preferentemente de vidrio, los que deben estar provistos de tapones de corcho, goma o de rosca, que cierren adecuadamente y no contengan ningún material tóxico (previo a ello frascos y tapones deben esterilizarse), los cuales



deben tener una capacidad mínima de 200 mL; para muestrear en cuerpos acuáticos, el frasco debe sumergirse unos 20 cm de profundidad, con la boca ligeramente inclinada hacia arriba y luego tapar el frasco (OMS, 1998). y Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (ANA, 2016).

El tiempo transcurrido entre toma de muestra y su análisis no debe exceder de 6 horas y 24 horas se considera como el plazo máximo establecido, presuponiendo que las muestras se mantienen en una caja aislada a prueba de luz, conteniendo hielo en fusión o bolsas de agua helada para mantener frías las muestras y si no se dispone de hielo, el tiempo de transporte no debe exceder de las dos horas. Es necesario que las muestras se conserven a oscuras y que la refrigeración sea rápida, si no se cumplen estas condiciones, las muestras deben desecharse (OMS, 1998) y Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (ANA, 2016).

- **Métodos de análisis microbiológico (OMS, 1998)**

- a) **Método de tubos múltiples**

En este caso se inoculan una serie de tubos que contienen un medio de cultivo selectivo apropiado con porciones de ensayo de una muestra de agua y luego de un periodo de incubación a una temperatura dada, cada uno de los tubos en que se observa formación de gas se considera como un "presunto positivo" ya que el gas indica la posible presencia de coliformes; sin embargo, hay otros microorganismos que también producen gas, por lo que es indispensable una prueba de confirmación; ambas pruebas se conocen respectivamente con los





nombres de prueba presuntiva y prueba confirmativa. Para la prueba confirmativa, se inocular un medio de cultivo más selectivo con material tomado de los tubos positivos. Después de un tiempo de incubación apropiado, se examinan los tubos, como antes, para observar si se ha formado gas. El número más probable (NMP) de bacterias presentes puede estimarse entonces a partir del número de tubos inoculados y del número de tubos positivos obtenidos en la prueba confirmatoria, utilizando unos cuadros estadísticos especialmente elaborados con este fin.

#### **b) Método de filtro de membrana**

Consiste en recuento directo de coliformes totales y termotolerantes presentes en una determinada muestra de agua, se basa en el filtrado de un volumen conocido de agua a través de un filtro de membrana constituido por un compuesto de celulosa y con un diámetro de poro uniforme de 0.45 ó 0.2  $\mu\text{m}$ ; las bacterias quedan retenidas en la superficie del filtro de membrana y al incubar la membrana que contiene las bacterias en un recipiente estéril a temperatura apropiada con un medio de cultivo diferencial selectivo, se desarrollan colonias características de los coliformes posibles de contar directamente.

#### **2.2.8. Marco normativo: estándares de calidad ambiental de aguas en el Perú**

La legislación peruana desde el año 2017 tiene una normativa que establece los límites establecidos para diferentes elementos fisicoquímicos y biológicos según tipos de cuerpos de agua y sus usos a los cuales están destinados,

mediante el DS N° 004-2017-MINAM; dentro del cual también se establece los límites para coliformes termotolerantes en ecosistemas lacustres, según categorías, que pueden ser: para aguas destinadas a la producción de agua potable, para riego, consumo de animales y de conservación del ambiente acuático (MINAM, 2017), ilustrándose un extracto de esta norma en la tabla 2 siguiente.

**Tabla 2**

*Estándares de calidad ambiental de cuerpos acuáticos según los ECAS Perú (MINAM, 2017).*

| Eca Agua Estándares De Calidad De Agua Perú |            | Categoría 1: Poblacional y Recreacional  |                                  |                              | Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales           |                         | Categoría 4: Conservación del ambiente acuático      |                        |                      |
|---|------------|--|----------------------------------|------------------------------|--|-------------------------|--|------------------------|----------------------|
|   |            | Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable |                                  |                              | Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación |                         | Subcategoría D1: Riego de vegetales                  | D2: Bebida de animales | Subcategoría E       |
| Parámetro                                   | Unidad     | A1: Con simple desinfección  | A2: Con tratamiento convencional | A3: Con tratamiento avanzado | B1: Contacto primario  | B2: Contacto secundario | Agua para riego de vegetales tallo alto y tallo bajo | Bebida de animales     | E 1: Lagunas y lagos |
| Coliformes Totales                          | NMP/100 mL | 50   | **                               | **                           | **   | **                      | **   | **                     | **                   |
| Coliformes Termotolerantes (44.5 °C)        | NMP/100 mL | 20   | 2 000                            | 20 000                       | 200  | 1 000                   | 1 000  | 1 000                  | 1 000                |
| <i>Escherichia coli</i>                     | NMP/100 mL | 0  | **                               | **                           | Ausencia   | Ausencia                | 1 000  | **                     | **                   |

La WHO (2011) establece que la concentración de *Escherichia coli* para el agua potable debe ser de 0 CFU/100 mL y los criterios de calidad del agua recreativa de la Agencia de Protección Ambiental de USA es de 126 CFU/100 mL, que corresponde a una tasa de enfermedad estimada de 36 enfermedades por cada 1000 recreadores de contacto primario (USEPA, 2012).



### **2.2.9. Otros parámetros para determinar calidad de aguas con coliformes**

Principalmente las bacterias coliformes fecales o termotolerantes se encuentran en grandes cantidades en heces humanas y son utilizadas como indicadores de la presencia de materia fecal animal y/o humana en el agua, y cuando hay materia fecal presente, existe un alto riesgo de que presenten organismos patógenos como bacterias, virus y parásitos; sin embargo, los coliformes fecales no son en sí mismos peligrosos para la salud, pero sirven como marcadores de materia fecal y por tanto la posibilidad de que patógenos peligrosos pueden estar presentes (Tyrrel, 2011).

Las pautas actuales de la OMS estipulan un recuento de cero bacterias de coliformes fecales en el agua para ingestión; aunque esta información es poco práctica para suministros comunitarios en países en desarrollo; incluso muchas personas en zonas rurales de Europa beben agua que contiene hasta 100 NMP/100 mL, sin efectos nocivos, otras normas citan un límite de 10 NMP/100 mL, por lo que a veces resulta más práctico establecer parámetros más integrales para determinar la condición y calidad del agua (Tyrrel 2011).

Uno de estos son los indicadores de riesgos que propone Valiente y Pedley (1997) y que suele ser utilizado como estándar de calidad de agua en diferentes países de Latinoamérica, el cual se describe a continuación, en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Clasificación para la contaminación bacterial del agua para provisión municipal*

|   | Conteo de coliformes termotolerantes/100 mL | Clasificación del riesgo para enfermedad |
|---|---|--|
| 1 | 0   | Sin riesgo                               |
| 2 | 1 – 4                                       | Bajo riesgo                              |
| 3 | 5 – 100                                     | Riesgo intermedio                        |
| 4 | 101 – 1000                                  | Alto riesgo                              |
| 5 | > 1000                                      | Muy alto riesgo                          |

**Fuente:** Valiente y Pedley (1997)

Otra propuesta es la utilizada en la normativa del gobierno sudafricano que da una interpretación algo más estricta del riesgo de enfermedad en sus parámetros nacionales de calidad del agua y se detalla en la Tabla 4 (Tyrrel, 2011).

**Tabla 4**

*Riesgo de enfermedad por la presencia de bacterias coliformes fecales en aguas*

| Nivel de riesgo | Conteo de coliformes termotolerantes/100 mL | Efectos  |
|-----------------|---|--|
| 1               | 0   | Riesgo insignificante de infección microbiana  |
| 2               | 0 - 10                                      | Ligero riesgo de infección microbiana con exposición continua; riesgo leve con exposición ocasional.   |
| 3               | 10 – 20                                     | Riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas con exposición continua; riesgo leve con exposición ocasional  |
| 4               | > 20  | Riesgo significativo y creciente de transmisión de enfermedades infecciosas. A medida que aumentan los niveles de coliformes fecales, disminuye la cantidad de agua ingerida necesaria para causar la infección. |

**Fuente:** Tyrrel (2011)



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio es de tipo descriptivo – cuantitativo - explicativo. Se considera descriptivo porque describe las características microbiológicas, específicamente coliformes, de las aguas de la bahía interior de Puno, buscando el “qué” como objeto de estudio. Además, es cuantitativo porque cuantifica los elementos del estudio (tres tipos de coliformes) de acuerdo a tratamientos determinados y es explicativo porque a la vez que describe, explica lo que se investiga, ayudando a comprender el problema de manera más eficiente, estudiando fenómenos relativamente nuevos y que no se han profundizado antes. En general, tiene como objetivo ampliar el conocimiento ya existente sobre algo de lo que se sabe poco.

#### 3.2. ÁREA EXPERIMENTAL

El estudio incluye el ámbito de la bahía interior de Puno, abarcando el área litoral aledaña a la ciudad de Puno, desde el sector Huaje e isla Estévez hasta la bocatoma de Chimu y la bahía exterior en Ojerani. Además, se considera aguas adentro de la bahía para conocer la distancia a la cuál llega los niveles de contaminación por coliformes. Así mismo, se ha considerado puntos referenciales o testigos que se encuentran fuera de la bahía interior (Chimu y Ojerani) para realizar las respectivas comparaciones con los puntos de muestreo de la bahía interior. El área que abarca el ámbito de estudio es de aproximadamente 16 ha (Loza-Del Carpio et al., 2016), dentro de la cual se distribuyen representativamente los puntos de muestreo (Figura 2). Las coordenadas representativas del lugar son: 15°30'37" S y 69°59'44" O, a una cota aproximada en el año 2021 de 3809.5 msnm. En el lugar se desarrollan actividades de transporte lacustre en



embarcaciones turísticas principalmente y en zonas litorales o de orilla adyacentes a la ciudad de Puno se práctica actividades de recreación, como canotaje y paseo en botes, Además que en las riberas están asentadas numerosas viviendas urbanas. Los puntos de muestreo (Tabla 5 y Figura 2), se han establecido siguiendo la propuesta de Northcote et al. (1991) y de CMPRLT (2014), considerando que dichos autores reportan información de coliformes obtenida de puntos de muestreo que abarcan zonas representativas de la bahía interior, recabados durante la década de los 80 y durante el año 2013. Los análisis de coliformes en las muestras de aguas fueron realizadas en el Laboratorio de Ecología Acuática de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNA Puno.

**Tabla 5**

*Ubicación de los puntos de muestreo para la evaluación de bacterias coliformes en la bahía interior de Puno y sus puntos testigo.*

| PM | Zona                | UTM (m) |         | Descripción referencial  |
|----|---------------------|---------|---------|--|
|    |                     | Este    | Norte   |  |
| 1  | Isla Estévez        | 393534  | 8249639 | Orilla, al sur de la isla.   |
| 2  | Huaje               | 392965  | 8250012 | Orilla, en cercanías de la base de la Marina.  |
| 3  | UNAP                | 391460  | 8249650 | Muestreo de orilla, frente del estadio de la universidad                                       |
| 4  | Muelle Puno         | 391401  | 8249041 | Muestreo de orilla, del extremo del muelle   |
| 5  | Interior BIP muelle | 392263  | 8248958 | Muestreo pelágico, a unos 1000 m de la orilla.   |
| 6  | Ricardo Palma       | 391382  | 8248508 | Muestreo de orilla, a la altura del hospital.  |
| 7  | Muelle Laykakota    | 391454  | 8247996 | Muestreo de orilla, extremo del muelle.  |
| 8  | Costado Espinar     | 392382  | 8247512 | Muestreo de orilla, ingresando hacia el lado izquierdo de la isla.                             |
| 9  | Salida Espinar      | 393289  | 8247181 | Muestreo de orilla, cercano al punto de emisión de aguas residuales de la laguna de oxidación. |
| 10 | Hotel San Antonio   | 394792  | 8246680 | Muestreo de orilla, frente al hotel  |
| 11 | Canal lanchas       | 395085  | 8248090 | Muestreo pelágico, saliendo de la BIP y antes de la zona de totorales.                         |
| 12 | Isla del Diablo     | 394315  | 8248767 | Muestreo pelágico, cercano a la isla de roquedales.  |
| 13 | Centro BIP          | 393432  | 8248653 | Muestreo pelágico, casi en la parte central de la BIP.   |
| 14 | Bocatoma            | 397015  | 8247270 | TESTIGO: muestreo de orilla, de inmediaciones se capta el agua para la ciudad de Puno.         |
| 15 | Ojerani             | 398090  | 8247187 | TESTIGO: muestreo pelágico, zona exterior de la bahía  |

**Fuente :** Northcote et al. (1991); CMPRLT (2014).

De todos los puntos de muestreo un total de 10 puntos corresponde a zona litoral o de orilla, cuyas muestras fueron tomadas a unos 2 a 3 m desde la ribera, cuyas profundidades no superan los 2 m y los cinco restantes corresponde a zonas pelágicas o de aguas interiores de la BIP cuyas profundidades son mayores a 3 m. En todos los casos los muestreos fueron superficiales. Los muestreos de orilla fueron realizados ingresando con botas por la ribera y los muestreos pelágicos mediante embarcaciones con motor fuera de borda.

## Figura 2

*Croquis del ámbito de estudio y puntos de muestreo de aguas para la determinación de coliformes en la BIP.*



**Nota:** Lo puntos testigos son PM14, PM15, las coordenadas de cada PM se muestran en la Tabla N





### 3.3. MATERIALES

Los materiales utilizados en la investigación se detallan a continuación:

- **Toma de muestras:** Frascos con tapa rosca de 0.5 litros (20 unidades), botas de jebe, bote con motor fuera de borda, cooler de 20 litros, hielo (20 kg), guantes quirúrgicos (01 ciento), balde, jarras.
- **Medios De Cultivo:** Caldo lactosado, medio de cultivo lauril Sulfato, caldo bilis verde brillante 2 %, caldo triptonado y caldo EC.
- **Reactivos:** Reactivo Kovacs, alcohol al 70 %, agua destilada
- **De laboratorio:** Frascos de muestreo esterilizados, tubos de fermentación (Campanas Durham), placas Petri, asas de inoculación con aro de platino, matraz, pipetas, frascos boca ancha de 500 mL, frascos de vidrio boca ancha de 100 mL, gradillas, mechero, espátulas, probetas
- **Equipos.** -Autoclave, estufa para esterilizar, destilador de agua, incubadora, balanza analítica, GPS Garmin 20, equipo de cómputo e impresora
- **De caracterización de distribución espacial de datos.** -Software GIS v10.8, software Surfer v23.4
- **Análisis de datos.** - Software SPSS v27

### 3.4. METODOLOGÍA

#### 3.4.1. Población y muestra

Se considera como población a todo el volumen de agua superficial de la bahía interior de Puno, abarcando los ámbitos desde el sector Huaje hasta la



bocatoma de Chimu. La muestra constituye volúmenes de 0.5 L de capacidad en 15 puntos representativos de la zona litoral adyacente a la ciudad y del interior de la bahía (área pelágica), además de dos puntos testigo, distribuidos aleatoriamente y muestreados mensualmente por un período de seis meses que abarcaron la época lluviosa (febrero y marzo), época seca (junio y julio) y época transitoria (octubre, noviembre), según las variaciones climáticas en el altiplano de Puno. En total se tomaron 90 muestras no probabilísticas para el análisis bacteriológico correspondiente (coliformes totales, fecales y *Escherichia coli*); es decir, 15 muestras mensuales durante seis meses.

### **3.4.2. Objetivo 1: Determinación de la concentración de coliformes**

Se determinó la concentración de coliformes totales, termotolerantes y *E. coli* en los 15 puntos de muestreo mencionados, que incluyeron zonas litorales aledañas a la ciudad de Puno y el ámbito pelágico de la bahía interior, incluyendo además un punto testigo ubicado en la bocatoma para agua potable de Chimu. La técnica utilizada fue mediante el Número más Probable (NMP) o tubos múltiples de fermentación, con una serie de tres tubos, de acuerdo a las instrucciones de APHA (1992) y la norma peruana de MINSA (2011), considerando diluciones de  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ , y  $10^{-4}$ . Para esto se consideraron dos fases: presuntiva y confirmativa. Los resultados fueron cotejados con los Estándares de calidad de Aguas del MINAM (2017).

#### **3.4.2.1. Toma de muestras en campo**

Los muestreos de los 15 puntos se realizaron utilizando frascos de vidrio previamente esterilizados de un litro de capacidad considerando una distancia del litoral de 2 m (siete muestras) y al interior de la bahía a una



distancia aproximada de 500 m desde la orilla (cinco muestras). Todos los puntos de muestreo fueron georreferenciados con ayuda de GPS Garmin 20. Las muestras fueron obtenidas de aguas superficiales colectados preferentemente en horas de la mañana y utilizando una embarcación fuera de borda para zonas interiores y botas de jebe en zonas litorales, las que inmediatamente fueron trasladadas a laboratorio para su respectivo análisis microbiológico. Además, para los muestreos se tomó en cuenta el Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales (MINSa, 2007) y el Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (ANA, 2016), considerando muestreo puntual, zonas accesibles, área donde hay impacto de actividades humanas, punto de referencia o “blanco” y respectivos protocolos de seguridad (botas de jebe, mandil, mascarilla, gafas de protección y guantes descartables).

#### **3.4.2.2. Análisis de laboratorio**

- **Fase presuntiva**

Se inoculó muestras de aguas procedentes desde los muestreos en la bahía interior, considerando volúmenes de 0.01 mL, 0.001 mL y 0.0001 mL respectivamente completando un volumen de 10 mL de agua destilada en los respectivos tubos de fermentación, con campanas Durham invertidos en su interior en una serie de tres tubos con 10 mL del medio de cultivo caldo Lauril sulfato, luego se procedió a incubar a 37°C durante 24 a 48 horas; al cabo de este tiempo se examinaron los tubos de las series, verificando la presencia de gas en la campana Durham para considerarla



como prueba positiva y en este caso se procede a desarrollar la fase confirmativa.

- **Fase confirmativa**

En esta fase solo se analizaron los tubos positivos de la fase presuntiva para determinar la presencia de Coliformes Totales (CT) y Coliformes Termotolerantes (CTT).

- a) Confirmación de coliformes totales**

Para la confirmación de coliformes totales, se inoculó una azada de los tubos positivos en series de 3 tubos de fermentación en cuyo interior se colocaron las campanas de Durham invertidas y 10 mL de caldo bilis verde brillante 2 %, luego se les incubó a 37°C durante 24 a 48 horas, al cabo de este tiempo se registró el número de tubos de las series que presentaron formación de gas en este medio y se calculó el número de coliformes totales en NMP/100 mL con ayuda de la tabla de NMP (Tabla 1).

- b) Confirmación de coliformes termotolerantes**

Para este caso se inoculó una azada de los tubos positivos en series de 3 tubos de fermentación con campanas Durham en su interior y 10 mL de caldo E.C. luego se les incubó a 44.5°C durante 24 a 48 horas en baño María. Al cabo de este tiempo se examinaron los tubos de las series, constituyendo la presencia de gas como muestra positiva. A partir de los tubos que resultaron positivos, se

procedió a determinar el número de coliformes termotolerantes por 100 mL, con la ayuda de la tabla del NMP (Tabla 6).

Todos los resultados se compararon con la Norma de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua ECAs (MINAM, 2017).

**Tabla 6**

*Cálculo del NMP de coliformes presentes en la muestra de agua según reacción positiva de los tubos de prueba (OPS, 1988)*

| Número más probable por 100 mL de muestra, usando series de tres tubos inoculados con 10, 1 y 0,1 mL de agua la muestra original |                 |                   |                             | Límites de confianza |           |          |           |
|--|-----------------|-------------------|-----------------------------|----------------------|-----------|----------|-----------|
| N.º tubo que dan reacción positiva entre   |                 |                   | NMP $\mu\text{o}/100$<br>mL | al 95 %              |           | al 99%   |           |
| 3 tubos<br>10 mL   | 3 tubos<br>1 mL | 3 tubos<br>0.1 mL |                             | lim. Inf             | lim. Sup. | lim. Inf | lim. Sup. |
| 0  | 0               | 0                 | < 3                         |                      |           |          |           |
| 0  | 0               | 1                 | 3                           | < 1                  | 17        | < 1      | 23        |
| 0  | 1               | 0                 | 3                           | < 10                 | 17        | < 1      | 23        |
| 0  | 2               | 0                 | 6.2                         | 2                    | 23        | 1        | 29        |
| 1  | 0               | 0                 | 3.6                         | 1                    | 21        | < 1      | 28        |
| 1  | 0               | 1                 | 7.2                         | 2                    | 27        | 1        | 35        |
| 1  | 1               | 0                 | 7.3                         | 2                    | 28        | 1        | 36        |
| 1  | 1               | 1                 | 11                          | 4                    | 34        | 2        | 43        |
| 1  | 2               | 0                 | 11                          | 4                    | 35        | 2        | 44        |
| 1  | 2               | 1                 | 15                          | 6                    | 41        | 4        | 51        |
| 1  | 3               | 0                 | 16                          | 6                    | 42        | 4        | 52        |
| 2  | 0               | 0                 | 9.1                         | 2                    | 38        | 1        | 50        |
| 2  | 0               | 1                 | 14                          | 5                    | 48        | 3        | 62        |
| 2  | 1               | 0                 | 15                          | 5                    | 50        | 3        | 65        |
| 2  | 1               | 1                 | 20                          | 8                    | 61        | 5        | 77        |
| 2  | 2               | 0                 | 21                          | 8                    | 63        | 5        | 80        |
| 2  | 2               | 1                 | 18                          | 11                   | 75        | 7        | 93        |
| 2  | 3               | 0                 | 29                          | 12                   | 78        | 8        | 97        |
| 3  | 0               | 0                 | 23                          | 7                    | 129       | 4        | 177       |
| 3  | 0               | 1                 | 39                          | 10                   | 180       | 10       | 230       |
| 3  | 0               | 2                 | 64                          | 20                   | 230       | 10       | 290       |
| 3  | 1               | 0                 | 43                          | 20                   | 210       | 10       | 290       |
| 3  | 1               | 1                 | 75                          | 20                   | 280       | 20       | 370       |
| 3  | 1               | 2                 | 120                         | 40                   | 350       | 20       | 450       |
| 3  | 2               | 0                 | 93                          | 30                   | 390       | 20       | 620       |
| 3  | 2               | 1                 | 150                         | 50                   | 510       | 30       | 650       |
| 3  | 2               | 2                 | 210                         | 80                   | 540       | 50       | 820       |
| 3  | 2               | 3                 | 290                         | 120                  | 800       | 80       | 990       |
| 3  | 3               | 0                 | 240                         | 100                  | 1400      | < 100    | 1 900     |
| 3  | 3               | 1                 | 460                         | 200                  | 2 400     | 100      | 3 200     |
| 3  | 3               | 2                 | 1 100                       | 300                  | 4 800     | 200      | 6 400     |
| 3  | 3               | 3                 | > 2 400                     |                      |           |          |           |

lim. Inf. = límite inferior; lim. Sup. = límite superior.



### c) **Confirmación *Escherichia coli***

La presencia de *Escherichia coli* se detectó aplicando la prueba Indol, para lo cual se utilizó tubos de ensayo de 13 x 100 mm agregando 2 mL de caldo triptonado y se inoculó la muestra con un asa bacteriológica (2 asadas), luego se incubó a 44°C por 48 h. Después de ello se agregó gotas de reactivo Kovacs a cada tubo, considerándose positivos aquellos en los que se observe la formación de un anillo grosella en la superficie.

#### • **Variables**

- Variables independientes: Puntos de muestreo (15) y fechas de muestreo (06).
- Variables dependientes: Concentraciones de coliformes totales, termotolerantes y *Escherichia coli*, en NMP/100 mL.

#### • **Diseño estadístico**

Se aplicó estadística descriptiva (promedios, desviación estándar, intervalos de confianza), según cada punto y fecha de muestreo. Además, se utilizó como estadística inferencial un ANVA en DBCA (al no presentarse interacción factorial), considerando como tratamientos los 15 puntos de muestreo y los bloques tres épocas de muestreo: lluviosa (febrero, marzo), seca (junio, julio) y transitoria (octubre, noviembre). Previamente se realizó las pruebas de Levene y Shapiro-Wilk para confirmar el

cumplimiento de supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad de datos respectivamente, caso contrario se realizaron transformaciones de datos a  $\sqrt{n}$  y si aun así no cumplieron los supuestos, se utilizó la prueba de Kruskal Wallis, tal fue el caso de *Escherichia coli* cuyos registros no cumplieron el supuesto de normalidad de datos. Las fechas se consideraron como repeticiones. Las variables independientes fueron las zonas de muestreo y épocas, las variables dependientes las concentraciones de coliformes según cada zona y época.

### 3.4.3. Objetivo 2: Zonificación de la contaminación por coliformes.

Con este objetivo se busca elaborar un mapa de la bahía interior de Puno a partir de las cartas nacionales del Perú digitalizadas (GeoGPS Perú, 2020) y de imágenes satelitales Landsat de Google Earth (2020). A partir de ello se determinó el área total de la bahía interior de Puno utilizando tecnología SIG mediante el software ArcGis v10 a una escala predeterminada, obteniéndose el primer shapefile de la superficie (Datum WGS 84 y coordenadas UTM 19 Sur). A este shapefile se le agregó luego la georreferenciación de los 15 puntos de muestreo, con los datos de la respectiva cuantificación de los coliformes totales, termotolerantes y *Escherichia coli*.

Los datos del monitoreo de coliformes se ingresaron al SIG mediante la opción Spline, para luego obtener un mapa preliminar mediante Mask. Luego se realizó la respectiva clasificación y interpolación de los mapas, con lo que se pudo obtener áreas con diferentes niveles de contaminación por tipos de coliformes (por colores), cuantificando el área además según categoría en hectáreas.

La información procesada en ArcGIS ver. 10.8 tuvo la siguiente secuencia:

- Creación del Shapefile de concentración de coliformes.
- Creación digital de superficie utilizando herramienta 3D Analyst Tools/Ráster Interpolation
- Spline y adicionalmente el software Golden Surfer 10, obteniéndose un archivo de interpolación ráster donde cada pixel tendrá un valor de niveles de coliformes. Las isolíneas se construirán a partir de la imagen ráster de interpolación.

Además, se usó una tabla de valoración conceptual del grado de contaminación para los contaminantes microbiológicos, la cual se aprecia en la Tabla 7 (Garay et al., 2001; Ramos-Ortega et al., 2008):7

**Tabla 7**

*Valoración conceptual indicativa del grado de contaminación microbiológica para cuerpos acuáticos (los porcentajes se obtienen del total de puntos de muestreo)*

| Valoración          | Coliformes fecales (NMP/100 mL) | Coliformes Totales (NMP/100 mL) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| No Contaminado      | 0 % - 20 % > 200                | 0 % - 20 % > 1000               |
| Contaminación Media | 41 % - 60 % > 200               | 41 % - 60 % > 1000              |
| Contaminación Alta  | 61 % - 100 % > 200              | 61 % - 100 % > 1000             |

**Fuente:** Garay et al., 2001; Ramos-Ortega et al., 2008)

- **Variables**

Para este caso las variables a considerar fueron las concentraciones de coliformes en NMP por cada punto de muestreo, tanto para coliformes totales,





fecales y *Escherichia coli*, categorizadas en rangos, las que luego fueron representadas en mapas temáticos del factor microbiológico.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. CONCENTRACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, FECALES Y *Escherichia coli* EN LAS AGUAS DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO

##### 4.1.1. Coliformes totales

Los coliformes totales tuvieron una elevada concentración en las aguas de la bahía interior, siendo la de mayor concentración el punto 9, por la salida de la laguna de oxidación en la isla Espinar, con un promedio de  $16366.67 \pm 3552.7$  NMP/100 mL y el de menor concentración el punto 11, canal de circulación de lanchas, con  $3983.33 \pm 1397.74$ ; en comparación los puntos testigo de la bocatoma de agua para distribución de agua potable en la ciudad de Puno en Chimu (punto 14) y de Ojerani (punto 15), sus concentraciones fueron mucho más bajas con  $1583.33 \pm 172.24$  y  $1750 \pm 804.36$  NMP/100 mL respectivamente, indicando que la BIP tiene realmente elevadas concentraciones de este grupo de bacterias coliformes. Además, los niveles de concentración en los diferentes puntos de muestreo de la BIP y sus estadísticos descriptivos, se detallan en la Tabla 8. La normatividad peruana no contempla estándares o límites para este parámetro, considerando que estos microorganismos no necesariamente refieren la presencia de riesgos por bacterias patógenas, ya que pueden contener organismos de diversa índole y no siempre se trata de microorganismos patógenos (Sidhu y Toze, 2009), pero que dentro de ellos también se encuentran bacterias infecciosas que ocasionan enfermedad en humanos y otros animales (Zhang et al., 2015), por lo que su evaluación aún resulta importante.



Por ello, para Reinheimer (1994), el número máximo permisible para la protección de la vida acuática no debe superar los 500 NMP/100 mL de coliformes totales, lo cual este valor ha sido rebasado en todos los puntos y zonas de muestreo de la BIP, incluyendo en los puntos testigo como la bocatoma de Chimu y en Ojerani, lo que implicaría que en todo este ámbito evaluado, la vida acuática de este ecosistema podría estar siendo afectada en alguna medida. La OMS (1998) estableció como límite en lagos con fines recreacionales bajo contacto primario una concentración máxima de 2 000 NMP/100 mL de coliformes totales y para un contacto secundario de 5 000 NMP/100 mL, esto significa que en ningún lugar de la BIP se debería practicar algún tipo de actividad recreativa bajo contacto primario (nadar por ejemplo) y para un contacto secundario (canotaje, paseo en lancha por ejemplo), sólo estarían consideradas, zonas adentro de la BIP, mas no las ribereñas o litorales, como se hace actualmente. Finalmente, los ECAs nacionales (MINAM, 2017) indican que las aguas de la Categoría 1: uso poblacional y recreacional y la Subcategoría A aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, si tienen un límite de 50 NMP/100 mL de coliformes totales, pueden ser aprovechadas con desinfección (A1), caso contrario no. (Figura 3).

**Tabla 8**

*Estadísticos descriptivos de las concentraciones de coliformes totales (NMP/100 mL) en la BIP y puntos testigo (14 y 15).*

| PM | Zona                    | PROMEDI<br>O(NMP/100<br>mL) | DE       | Mediana | IC (95%)                | Max. –<br>Min.     | Tu<br>ke<br>y* |
|----|-------------------------|-----------------------------|----------|---------|-------------------------|--------------------|----------------|
| 1  | Isla Estevez            | 7 216.67                    | 3 775.40 | 6 900   | 3 254.62 – 11<br>178.71 | 3 200 – 12<br>100  | b              |
| 2  | Huaje                   | 6 000.00                    | 2 646.51 | 4 850   | 3 222.66 – 8 777.34     | 3 800 – 9<br>400   | b              |
| 3  | UNAP                    | 6 316.67                    | 3 034.74 | 5 950   | 3 131.89 – 8 501.43     | 3 400 – 11<br>200  | b              |
| 4  | Muelle Puno             | 5 583.33                    | 2 599.55 | 5 650   | 2 855.27 – 8 311.39     | 1 800 – 9<br>700   | b              |
| 5  | Interior BIP<br>muelle  | 4 233.33                    | 1 838.11 | 4 100   | 2 304.35 – 6 162.32     | 2 300 – 6<br>300   | b,c            |
| 6  | Ricardo Palma           | 4 250.00                    | 1 709.68 | 3 950   | 2 455.80 – 6 044.19     | 2 400 – 6<br>300   | b,c            |
| 7  | Muelle<br>Laykakota     | 4 783.33                    | 3 552.70 | 3 950   | 1 055.01 – 8 511.66     | 1 700 – 11<br>200  | b,c            |
| 8  | Costado<br>Espinar      | 12 383.33                   | 5 142.92 | 10 700  | 6 986.16 – 1<br>7780.50 | 6 300 – 21<br>100  | a              |
| 9  | Salida Espinar          | 16 366.67                   | 8 166.68 | 11 650  | 7 796.26 – 2<br>4937.07 | 10 300 – 29<br>100 | a              |
| 10 | Hotel San<br>Antonio    | 4 983.33                    | 1 928.13 | 4 900   | 2 959.99 – 7 006.77     | 2 700 – 8<br>200   | b              |
| 11 | Canal lanchas           | 3 983.33                    | 1 397.74 | 4 000   | 2 516.49 – 5 450.17     | 2 200 – 5<br>600   | b,c            |
| 12 | Isla del Diablo         | 4 483.33                    | 1 278.15 | 4 400   | 3 141.99 – 5 824.67     | 2 600 – 6<br>300   | b,c            |
| 13 | Centro BIP              | 4 900.00                    | 1 869.76 | 4 900   | 2 937.81 – 6 862.19     | 2 200 – 7<br>600   | b              |
| 14 | Bocatoma<br>(Testigo 1) | 1 583.33                    | 172.24   | 1 600   | 1 402.58 – 1 764.08     | 1 400 – 1<br>800   | c              |
| 15 | Ojerani<br>(Testigo 2)  | 1 750.00                    | 804.36   | 1 500   | 905.87 – 2 594.13       | 1 100 – 3<br>300   | c              |

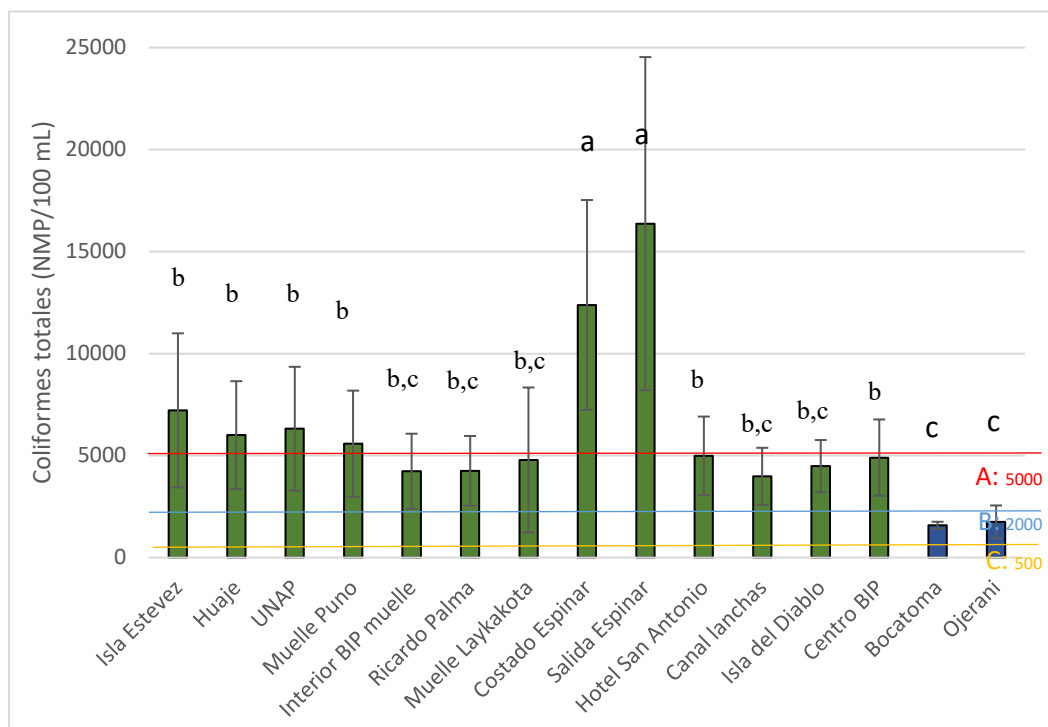
\* Letras diferentes indican diferencias significativas, con la Prueba de Tukey ( $p < 0.05$ )

En la Figura 3 se aprecia que la mayoría de las zonas de la BIP superan el límite establecido para el uso recreacional de contacto primario e incluso secundario, excepto los testigos de la bocatoma de Chimu y Ojerani; pero el límite para la protección de la vida acuática fue superado por todos los puntos de muestreo, incluyendo estas dos últimas zonas. Esto implica que, de acuerdo al parámetro de coliformes totales, la totalidad de la BIP tiene altos niveles de contaminación bacteriana, lo cual se extiende peligrosamente incluso hasta las zonas testigo, mucho más cuando de la bocatoma se capta agua para su

distribución como agua potable a la ciudad de Puno, repercutiendo además en la degradación del ecosistema mismo, como fuente de recursos naturales y hábitat para la vida silvestre. Cabe indicar que, aunque no hay evidencia de contacto primario, se incluye este análisis, alertando la condición de la calidad de estas aguas para este fin.

### Figura 3

Concentraciones promedio  $\pm$  DE de coliformes totales en la bahía interior de Puno y testigos según zonas de muestreo. Línea en rojo (A) indica el límite para uso recreacional en contacto secundario y en azul (B) para contacto primario (WHO, 1991) y la línea amarilla, el máximo permisible para protección de vida acuática (Reinheimer, 1994). Letras diferentes indican diferencias significativas a la prueba de Tukey.



Otros estudios reportan que las zonas con mayores niveles de coliformes totales en la BIP son también, como en nuestro caso, las aledañas a la isla Espinar



con 11000 NMP/100 mL, coincidiendo con este estudio; pero además el muelle Laykakota y cercanías a la UNA Puno, también presentaron esta misma concentración, difiriendo con el presente estudio ya que en este caso no superaron los 10000 NMP/100 mL (Callata, 2015). El CMPRLT (2014) refiere también que durante el año 2013, las mayores concentraciones de coliformes totales ocurrieron en la salida de la laguna de oxidación de la isla Espinar, alcanzando 15000 NMP/100 mL, coincidente también con nuestra evaluación, pero además indican que áreas cercanas a la UNAP llegó a una concentración de 10 000 NMP/mL, algo más elevada que en el presente estudio.

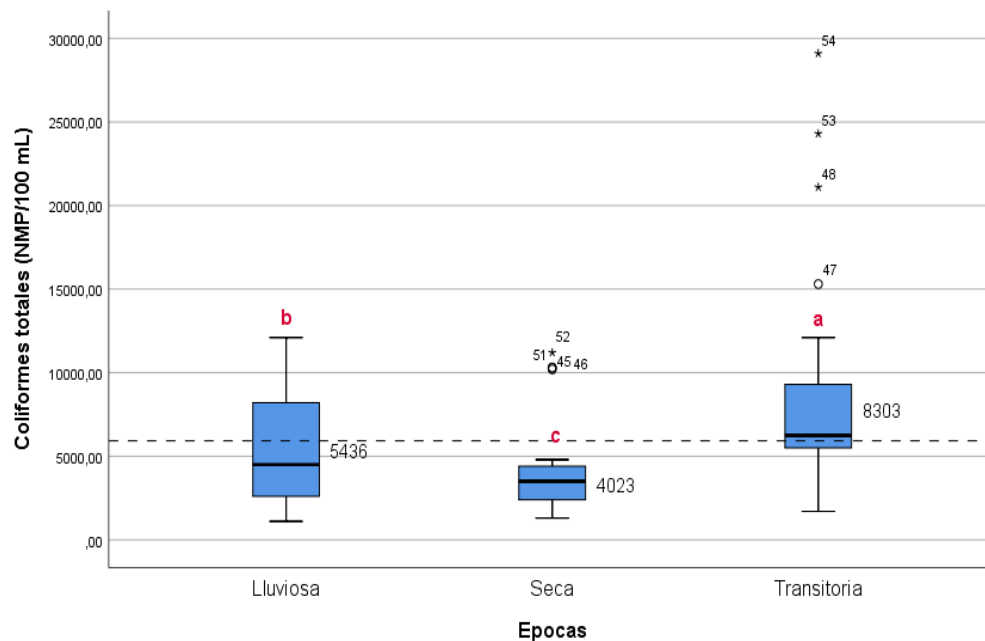
De acuerdo al ANVA en DBCA, hubo diferencias altamente significativas entre zonas de muestreo ( $F = 16.25$ ;  $p < 0.00001$ ) y con la prueba de Tukey se estableció que las zonas con mayor concentración de coliformes totales fueron las cercanas a la laguna Espinar (puntos de muestreo 8 y 9), ello considerando que es esta zona la que emite las aguas residuales de la ciudad de Puno deficientemente tratadas hacia la BIP; y las que contienen las concentraciones significativamente menores ( $p < 0.0001$ ) incluyen los puntos de muestreo 14 y 15 (bocatoma y Ojerani), lugares que si bien tiene aún menores niveles, al parecer con el tiempo se viene incrementando. Los restantes puntos de muestreo, presentaron niveles similares y no significativos en su mayor parte a la prueba de Tukey ( $p > 0.05$ ), lo que indica que la mayor parte de la BIP contienen niveles muy similares en cuanto a coliformes totales.

Respecto a la época (bloques), el ANVA DBCA, también evidenció diferencias significativas ( $F = 28.13$ ;  $p < 0.0001$ ), siendo la época transitoria (meses de octubre y noviembre) la que presentó significativamente mayores valores,

seguido por la época lluviosa (febrero y marzo) y finalmente la época seca (junio y julio), según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). La Figura 4, evidencia los detalles de estas diferencias según época del año en la BIP y los respectivos valores como promedios, teniendo como referencia el promedio general en línea punteada.

#### Figura 4

*Niveles promedio y estadígrafos descriptivos de coliformes totales en la BIP según épocas de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre cajas, con la Prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).*



Es probable que la época transitoria, presente mayores niveles debido al cambio de las condiciones ambientales más benignas que de la época seca, sobre todo en cuanto a temperatura, lo que posibilita mejores condiciones para el mantenimiento y proliferación de diferentes tipos de coliformes, sobre todo los no patógenos y de vida libre, seguido luego por la época lluviosa que también tiene mejores condiciones que la época seca y fría. Al respecto, durante la década de



los 80s, Rivera et al. (1991) en la BIP reportan también que los coliformes totales aumentan en períodos lluviosos (enero y febrero), debido al incremento de la escorrentía que arrastra coliformes totales desde tierra firme y de las plantas, para ingresar también a la BIP y sumarse al resto de coliformes. Aunque Cusiche y Miranda (2019) encontraron para el lago Junín que los coliformes totales fueron menos abundantes en época lluviosa que en la época seca o de estiaje en tres puntos de muestreo, esta diferencia podría deberse a que no existe tratamiento alguno de las aguas residuales de las ciudades circundantes (Ondores, Junin, Carhuamayo).

#### 4.1.2. Coliformes termotolerantes

Los coliformes fecales también tuvieron elevadas concentraciones en toda la BIP, incluyendo las zonas testigo en los puntos de muestreo 14 y 15; sin embargo, el más alto valor se presentó en la salida de la laguna de oxidación en la isla Espinar, con un valor promedio de  $5\,908.33 \pm 1\,939.59$  NMP/100 mL y al costado de la misma con  $5\,291.67 \pm 2\,567.10$  NMP/100 mL (puntos de muestreo 9 y 8 respectivamente), coincidiendo con lo reportado por Beltrán et al. (2015) que también hallaron en esta zona los mayores valores. En el resto de zonas promediaron niveles entre  $1\,841.67 \pm 750.21$  (UNAP, punto 03) y  $3\,058.33 \pm 1\,637.32$  NMP/100 mL (canal de lanchas, punto 11) de coliformes termotolerantes, todos dentro de la BIP. Los puntos testigo tuvieron menores concentraciones, pero también indican alta presencia de coliformes termotolerantes en dichas aguas, que incluso no tienen una adyacencia directa con la ciudad de Puno y por tanto es evidencia que la contaminación fecal está llegando hasta dichas zonas, ya que sus valores promediaron valores de  $778.33 \pm 239.28$  NMP/100 mL en la bocatoma de





la captación de agua para la ciudad de Puno (punto 14) y con  $816.67 \pm 228.88$  NMP/100 mL en el sector Ojerani, fuera de la BIP (punto 15). Los detalles de estos resultados y la información de los estadísticos descriptivos más importantes se muestran en la Tabla 9.

Comparando estos resultados con los ECAs de la normatividad nacional, para la Categoría 1 (Poblacional y recreacional), Subcategoría A1 (aguas para potabilizar con desinfección), el límite es de 20 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes; por tanto, las aguas de ninguna zona de la BIP puede ser utilizada para un consumo directo previa desinfección simple, ni siquiera de la bocatoma de Chimu ni del sector Ojerani, aunque si pueden ser utilizados cuando se aplique un tratamiento convencional como el que se hace en la actualidad, siendo en ese caso el límite 2000 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes, pero de ninguna otra zona de la BIP. Los valores hallados de este parámetro considerando la zona y el mes de evaluación se ilustra en la Figura 5, comparado con los límites establecidos en los ECAs (MINAM, 2017).

**Tabla 9**

*Estadísticos descriptivos de las concentraciones de coliformes termotolerantes*

*(NMP/100 mL) en la BIP. Letras diferentes entre filas a la prueba de Tukey,*

*indican diferencias significativas.*

| Punto de Muestreo | Zona                 | PROMEDIO<br>(NMP/100<br>mL) | DE       | Mediana | IC (95%)        | Max. –<br>Min. | Tukey |
|-------------------|----------------------|-----------------------------|----------|---------|-----------------|----------------|-------|
| 1                 | Isla Estévez         | 2 258.33                    | 1 931.12 | 1 055   | 231.75-4282.92  | 960-4800       | bc    |
| 2                 | Huaje                | 2 241.67                    | 769.69   | 2 220   | 1433.93-3049.40 | 1320-3400      | b     |
| 3                 | UNAP                 | 1 841.67                    | 750.21   | 1 655   | 1054.37-2628.96 | 980-2800       | bcd   |
| 4                 | Muelle Puno          | 2 425.00                    | 996.87   | 2 190   | 1378.85-3471.15 | 980-3800       | b     |
| 5                 | Interior BIP muelle  | 2 215.00                    | 905.89   | 2 155   | 1264.33-3165.67 | 720-3300       | b     |
| 6                 | Ricardo Palma        | 2 108.33                    | 1 149.96 | 1 575   | 901.52-3315.15  | 980-3800       | bc    |
| 7                 | Muelle Laykakota     | 2 075.00                    | 843.18   | 1 605   | 1190.14-2959.86 | 1360-3300      | bc    |
| 8                 | Costado Espinar      | 5 291.67                    | 2 567.10 | 5 855   | 2597.67-7985.67 | 1360-7900      | a     |
| 9                 | Salida Espinar       | 5 908.33                    | 1 939.59 | 5 460   | 3872.86-7943.81 | 4360-9380      | a     |
| 10                | Hotel San Antonio    | 2 058.33                    | 680.31   | 2 125   | 1344.39-2772.27 | 880-2700       | bc    |
| 11                | Canal lanchas        | 3 058.33                    | 1 637.32 | 3 455   | 1340.07-4776.59 | 980-4800       | b     |
| 12                | Isla del Diablo      | 2 491.67                    | 1 774.94 | 1 800   | 628.98-4354.35  | 560-4700       | b     |
| 13                | Centro BIP           | 1 891.67                    | 696.57   | 1 640   | 1160.66-2622.67 | 1080-2800      | bcd   |
| 14                | Bocatoma (Testigo 1) | 778.33                      | 239.28   | 700     | 527.22-1029.45  | 510-1120       | d     |
| 15                | Ojerani (Testigo 2)  | 816.67                      | 228.88   | 800     | 576.47-1056.86  | 480-1100       | cd    |

El límite para uso recreacional en contacto primario (B1), es de 200 NMP/100 mL según los ECAs, implicando que en ninguna zona de la BIP, ni de las zonas testigo, puede practicarse actividades de natación, canotaje o pesca, ya que en todos los muestreos y zonas superaron ese valor. Pero para uso en contacto secundario, como paseo en botes o lanchas o similares, si es factible aprovecharlo solo en los sectores testigo (bocatoma y Ojerani), ya que el límite según ECAs es de 1 000 NMP/100 mL y este valor es superado en todas las zonas de la BIP, tal como se observa en la Figura 5. Al respecto cabe indicar, que en diferentes zonas de la BIP como en el muelle Puno y muelle de Laykakota en la actualidad se practica actividades recreativas como paseos en botes, lo cual según los ECAs no



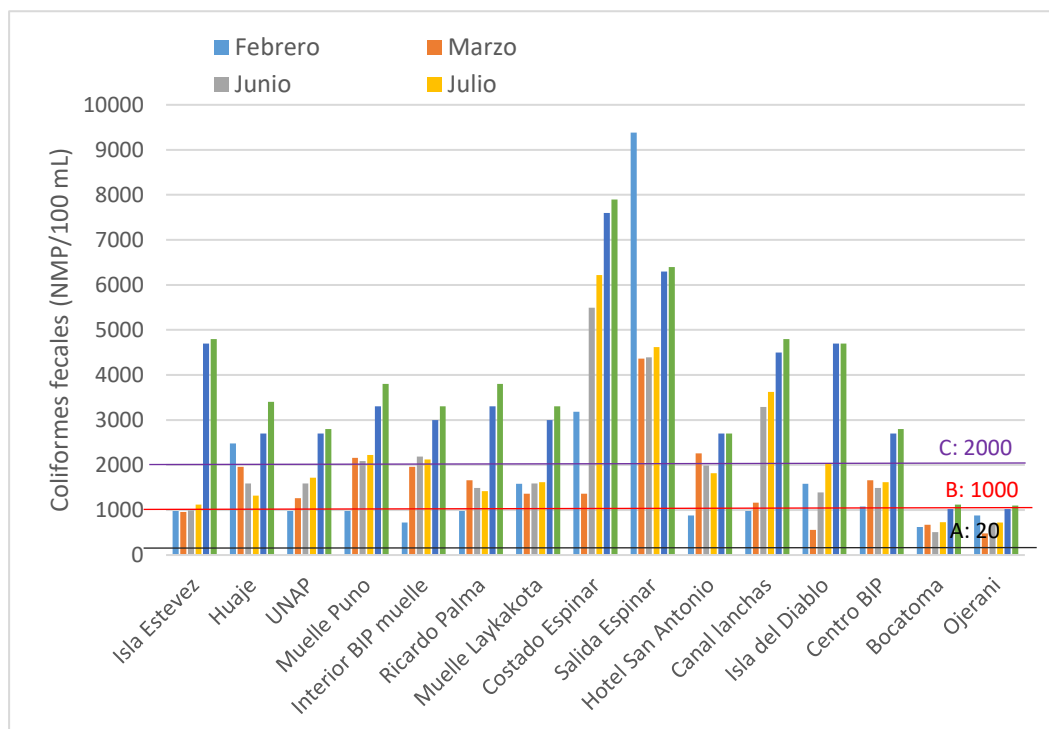
estaría permitido, con lo que se pone en riesgo la salud pública de los usuarios de estos servicios.

Para el caso del uso de estas aguas como bebida de animales (Subcategoría D2), tampoco estaría permitido en ninguna zona de la BIP, ya que el límite es también de 1 000 NMP/100 mL (MINAM, 2017) y en la mayoría de muestreos y zonas superaron estos niveles, como se aprecia en la Figura 5. Sin embargo, en muchas zonas litorales de la BIP el ganado es alimentado mediante pastoreo directo para el consumo de ciertas macrófitas como llachos y totoras e incluso se realizan extracciones de estas plantas para luego proporcionarlas a los animales, y por el contacto directo con el agua que esto implica, dichos animales estarían expuestos a riesgos sanitarios.

Similarmente sucede con el caso de la categoría 4 conservación del ambiente acuático (E1), cuyo límite en los ECAs es también de 1 000 NMP/100 mL (Figura 5), los cuales son superados en toda la BIP (excepto en las zonas testigo), lo que conlleva a riesgos a la vida silvestre y mucho más cuando se trata de la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional del Titicaca, hacia lo cual esta enfatizado esta categoría según el MINAM (2017).

### Figura 5

*Concentraciones de coliformes termotolerantes en la bahía interior de Puno y testigos según zonas de muestreo y meses. Línea en negro (A) indica el límite de los ECAs para ser utilizada previa desinfección como agua potable; en rojo (B) para uso recreativo en contacto secundario, para bebida de animales y para conservación del ambiente acuático. En violeta (C) para uso como agua potable con tratamiento convencional (MINAM, 2017).*



Si consideramos normas internacionales como de la WHO (1991), estas indican que el límite de coliformes termotolerantes para uso agrícola es de 1000 NMP/100 mL, valor que también es superado en todo el ámbito de la BIP, para uso recreativo en contacto primario es de 1000 NMP/100 mL.

Según el ANVA para las concentraciones de coliformes termotolerantes (Anexo 1), existe diferencias significativas entre zonas ( $F = 14.34$ ;  $p < 0.00001$ ), explicando que las zonas significativamente más contaminadas con coliformes fecales son adyacencias a isla Espinar (punto 8) y a la salida de la laguna de

oxidación en la misma isla (punto 9), de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ), luego las zonas significativamente menos contaminadas incluirían a los puntos testigo de la bocatoma de Chimu (punto 14) y Ojerani (punto 15). Y en general casi todas las demás zonas de la BIP tienen el mismo nivel de contaminación por este parámetro, ya que entre la mayoría de ellos no se presentaron diferencias significativas a la prueba de Tukey ( $p > 0.05$ ) (Tabla 9).

En los años de 1980, las zonas de Chimu y Ojerani no registraron coliformes fecales durante nueve meses de evaluación (Rivera et al., 1991), lo que nos indica que la contaminación por coliformes en la actualidad ha superado la superficie de la BIP, traspasando zonas que ya corresponden a la bahía exterior. Esta situación estaría ocurriendo paulatinamente, considerando que las aguas residuales producidas en la ciudad de Puno continúan ingresando directamente a la BIP o por un tratamiento deficiente en la laguna de oxidación Espinar, aumentando además los caudales de aguas residuales y por tanto la concentración de contaminantes, conforme ha ido aumentando también la población humana en la ciudad de Puno.

Respecto a los niveles de coliformes fecales, este estudio concuerda también con lo encontrado por Beltrán et al. (2015), quienes reportan los mayores niveles en zonas adyacentes a la isla Espinar, obviamente porque en esta zona se concentra la principal descarga de aguas residuales de la ciudad de Puno cuyo tratamiento en la laguna de oxidación es totalmente deficiente. Ello también coincide con los resultados de Callata (2015), quien refiere que la salida de la laguna de oxidación Espinar presenta la mayor carga contaminante en coliformes fecales, con un valor de 2900 NMP/100 mL, algo menor de lo encontrado en este



estudio cuyo promedio fue 5908 NMP/100 mL, siendo estas diferencias quizás por el autor realizó su evaluación en sólo un mes (enero). Sin embargo, contrariamente la CMPRLT (2014) reporta un valor de 9300 NMP/100 mL de coliformes fecales, superior al de nuestro estudio, aunque estos resultados corresponden también al de una sola evaluación, que sería similar a lo determinado en el mes de febrero que superó los 9 000 NMP/100 mL.

En la década de los 80, la distribución de coliformes fecales por la BIP estaba limitada a ciertas zonas muy concretas, específicamente formando una columna a la altura del Hospital regional (Jr. Ricardo Palma), desde la orilla hasta casi los 1000 m hacia la parte central, alcanzando valores desde los 1000 hasta los 100 mil coliformes/100 mL incluso (formando una “lengua” y en el resto de la BIP, aunque había la presencia de coliformes termotolerantes sus concentraciones no superaban las 100 bacterias/100 mL, ni siquiera en adyacencias de la laguna de oxidación Espinar, e incluso en todos los casos, los contenidos llegaban a cero a partir de los 2000 m desde la orilla y en zonas fuera de la BIP como Ojerani o Chimu no se registraron coliformes termotolerantes (Rivera et al., 1991). En la actualidad y con la presente evaluación, se ha demostrado que la presencia de coliformes termotolerantes cubre todo el ámbito de la BIP, más allá de los 2000 m desde la orilla e incluso hasta fuera de la BIP en los sectores de Chimu y Ojerani, que están a distancias superiores a 5 000 m desde la orilla de la ciudad de Puno.

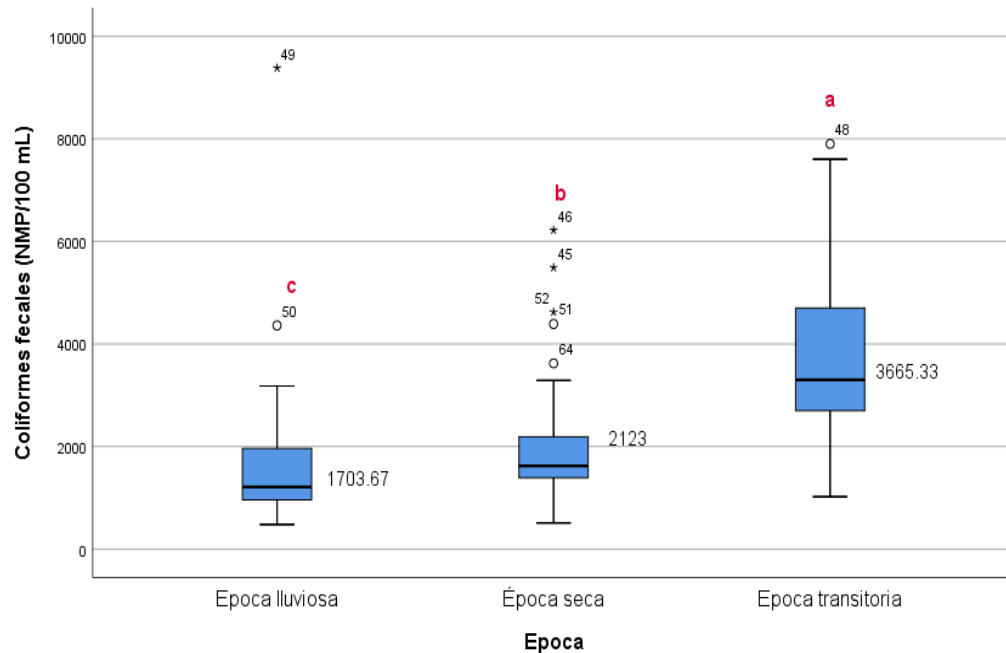
Respecto a los resultados de coliformes termotolerantes según épocas, se ha verificado que los meses de octubre y noviembre presentan concentraciones más elevadas en todas las evaluaciones en general, sin embargo, se ha considerado



tres épocas generales del año: época lluviosa que abarcan los meses de febrero y marzo, época seca los meses de junio y julio y época transitoria los meses de octubre y noviembre. Según ello y de acuerdo a los ANVA en DBCA se presentaron diferencias significativas entre bloques (épocas) ( $F = 49.29$ ;  $p < 0.00001$ ), lo que implica que en alguna de las épocas hubo mayores o menores concentraciones (Anexo 1), además que las épocas influyen en los niveles de coliformes termotolerantes. Posteriormente la prueba de Tukey evidencia que la época transitoria presenta mayores niveles de coliformes termotolerantes, con un promedio general de 3665.33 NMP/100 mL, seguido por la época seca con 2123 NMP/100 mL y finalmente la época lluviosa con la menor concentración promediando 703.67 NMP/100 mL, esto quizás porque en la época lluviosa con el aumento de las aguas las concentraciones de coliformes fecales se van diluyendo, considerando que estos tienen origen solo en fuentes humanas y ni provienen de fuentes naturales como en el caso de coliformes totales. Estos resultados se ilustran en la Figura 6.

**Figura 6**

*Niveles promedio y estadígrafos descriptivos de coliformes termotolerantes en la BIP según épocas de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre cajas, con la Prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).*



Rivera et al. (1991) reportan que en los años 1980 la época lluviosa en la BIP se presentaba mayor carga de coliformes termotolerantes, en este caso quizás fue así porque al concentrarse estos microorganismos en un solo “parche” con la precipitación se distribuían hacia otras áreas, ampliando su cobertura superficial del cuerpo de agua. Beltrán et al. (2013) encontró relativa superioridad en el mes de abril (período transicional) respecto a meses lluviosos, coincidiendo en cierta medida con nuestros resultados. En cuerpos de agua dulce de otras latitudes, los coliformes termotolerantes también fueron más altos en la temporada de lluvias, tal es el caso de lagos cráter en México (Cruz et al., 2021); similarmente ocurrió en una bahía colombiana, donde la época de mayores precipitaciones presentó los mayores niveles de coliformes termotolerantes (Ramos et al., 2008), resultados



que son discordantes con nuestro estudio que presento los mayores niveles de coliformes en la época transitoria de octubre-noviembre.

#### 4.1.3. *Escherichia coli*

Las concentraciones de *Escherichia coli* en la BIP también fueron muy elevadas casi en toda su superficie, inclusive en las zonas testigo fuera de la bahía. Los más altos valores se encontraron por inmediaciones de la laguna de oxidación Espinar, con un promedio de  $2316.67 \pm 435.51$  NMP/100 mL en cercanías a la salida de dicha laguna y con 1 650 NMP/100 mL hacia el costado norte de la misma. En el resto de zonas de la BIP los valores promedios encontrados estuvieron entre 450 NMP/100 para el sector del canal de lanchas en la parte media de la BIP, hasta 656.67 NMP/100 mL/100 en inmediaciones de la isla Estévez (Tabla 9). En las zonas testigo de la bocatoma de Chimu y en Ojerani promediaron 62.33 y 69 NMP/100 mL, siendo los más bajos entre todos, aunque estos valores indican también que incluso en esos lugares fuera de la BIP existe altos niveles de contaminación fecal, siendo una situación alarmante ya que de estos lugares se obtiene la captación de agua potable para la ciudad de Puno.

Según la prueba de Kruskal-Wallis, se encontró diferencias altamente significativas en el contenido de *Escherichia coli*, según zonas ( $H = 70.62$ ;  $p < 0.0001$ ) y de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ), las zonas significativamente más contaminadas con *Escherichia coli* fueron las inmediaciones a la salida de la laguna de oxidación Espinar (punto de muestreo 9) y al costado Este del mismo (punto de muestreo 8), con 2316.67 y 1650 NMP/100 mL respectivamente. Luego todos los demás puntos de muestreo de la BIP tienen valores significativamente iguales ( $p > 0.05$ ), implicando que la bacteria



*Escherichia coli*, se encuentra distribuida de manera similar en toda la superficie del cuerpo de agua. Finalmente, las zonas con menor nivel de contaminación fueron las zonas testigo en cercanías a la bocatoma de Chimu y por Ojerani (puntos 14 y 15), significativamente inferiores a todos los demás según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) (Tabla 10).

Todos estos resultados, se consideran como valores elevados, considerando que en otros lagos estudiados y que reciben descargas de aguas residuales, como el caso del lago Texoma en Oklahoma (USA) sus valores en *Escherichia coli* estuvieron entre 0 hasta 179 NMP/100 mL como máximo (An et al. (2002), aunque en lagos mexicanos se encontró valores entre 40 hasta 1500 BNP/100 mL, no superando los 2 000 NMP/100 mL (Cruz et al., 2021), siendo estos valores similares al de la BIP, pero poniendo en consideración que estos son más pequeños que la BIP. Pero también se ha podido encontrar que el lago Malawi en África presentó un promedio de *Escherichia coli* en todas las zonas de muestreo de 4 701 UFC/100 mL, tratándose de un lago con mayores niveles de contaminación bacterial respecto a la BIP (Tyner et al., 2019) o humedales de Colombia que presentaron rangos desde 0 hasta 4 100 UFC/100 mL, superior también a la BIP.

La norma nacional (ECAs), tiene como límite de cero (“0”) NMP/100 mL para un uso de las aguas destinado a consumo humano con desinfección (Categoría 1 – A1) y también ausencia total para uso recreativo en contacto primario y secundario (Categoría 1 – B1 y B2), aspecto que no cumplen las aguas evaluadas en la BIP ni de las zonas testigo. Normas internacionales como de la Unión Europea también exigen valores cero de *Escherichia coli* para aguas

destinadas al consumo humano (UE, 2020), al igual que de la OMS (2011) que también exige ausencia de *Escherichia coli* para aguas tratadas que ingresa al sistema de distribución (Figura 7).

**Tabla 10**

*Estadísticos descriptivos de las concentraciones de Escherichia coli (NMP/100 mL) en la BIP. Letras diferentes entre filas a la prueba de Tukey, indican diferencias significativas.*

| PM | ZONA                    | PROMEDIO<br>(NMP/100<br>mL) | DE     | Mediana | IC (95%)             | Máx. –<br>Min.   | Tukey |
|----|-------------------------|-----------------------------|--------|---------|----------------------|------------------|-------|
| 1  | Isla Estévez            | 656.67                      | 133.52 | 680.00  | 516.55-<br>796.78    | 420-800          | c     |
| 2  | Huaje                   | 605.00                      | 46.37  | 620.00  | 556.34-<br>653.66    | 540-650          | c     |
| 3  | UNAP                    | 646.67                      | 20.66  | 650.00  | 624.98 –<br>668.34   | 620-680          | c     |
| 4  | Muelle Puno             | 578.33                      | 101.08 | 550     | 472.26 –<br>684.41   | 500 –<br>780     | c     |
| 5  | Interior BIP<br>muelle  | 548.33                      | 47.50  | 565     | 498.48 –<br>598.18   | 480 –<br>600     | c     |
| 6  | Ricardo Palma           | 485.00                      | 36.74  | 490     | 446.44 –<br>523.56   | 440 –<br>540     | c     |
| 7  | Muelle<br>Laykakota     | 628.33                      | 106.66 | 665     | 516.39 –<br>740.27   | 420 –<br>700     | c     |
| 8  | Costado Espinar         | 1 650.00                    | 367.42 | 1 600   | 1 264.41–2<br>035.58 | 1 200 –<br>2 100 | b     |
| 9  | Salida Espinar          | 2 316.67                    | 435.51 | 2 250   | 1 859.62–2<br>773.70 | 1 900 –<br>3 100 | a     |
| 10 | Hotel San<br>Antonio    | 585.00                      | 104.64 | 595     | 475.18-<br>694.82    | 420 –<br>720     | c     |
| 11 | Canal lanchas           | 450.00                      | 48.99  | 445     | 398.58 –<br>501.41   | 380 –<br>510     | c     |
| 12 | Isla del Diablo         | 505.00                      | 46.37  | 505     | 456.34 –<br>553.66   | 440 –<br>580     | c     |
| 13 | Centro BIP              | 538.33                      | 58.79  | 555     | 476.63 –<br>600.03   | 440 –<br>555     | c     |
| 14 | Bocatoma<br>(Testigo 1) | 62.33                       | 44.53  | 78      | 15.60 –<br>109.07    | 4 – 110          | d     |
| 15 | Ojerani (Testigo<br>2)  | 69.00                       | 41.31  | 77      | 25.64 –<br>112.36    | 18 - 120         | d     |

Es importante destacar que la presencia de *Escherichia coli* en los lagos indica contaminación de material fecal reciente (Zhang et al., 2015), por lo que nuestros resultados revelan que la BIP, casi en toda su superficie presenta contaminación fecal permanente y en cada momento, lo que pone en riesgo

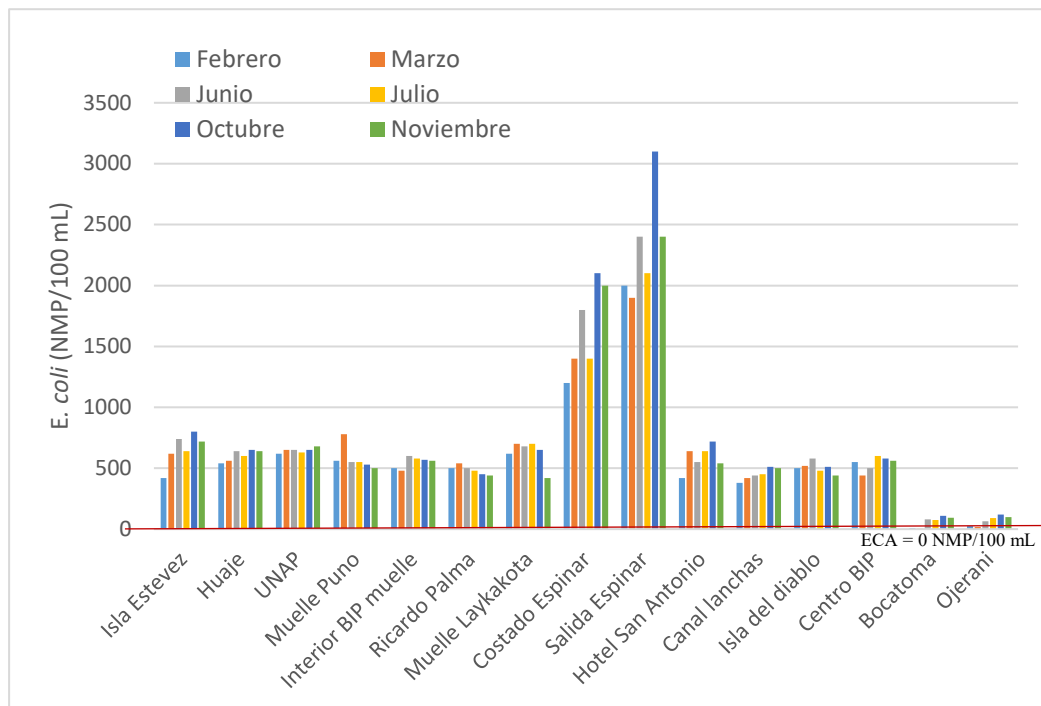


permanente también a todas las personas que de una u otra manera están involucrados a este ecosistema, tales como visitantes, lancheros, guías de turismo, y pobladores de viviendas aledañas.

En general, se tiene pocos reportes de presencia de *Escherichia coli* en lagos y sus contenidos varían dependiendo del lugar de estudio, pudiendo divergir o coincidir con el caso de la BIP. Por ejemplo, en el lago Texoma (Oklahoma, USA) en sus diferentes puntos de muestreo se encontró valores menores a 1 hasta un máximo de 179 NMP/100 mL en todos los muestreos (An et al., 2002), en un humedal de Colombia los valores de *Escherichia coli* fluctuaron entre 0 hasta 4 100 UFC/100 mL (Arévalo et al., 2019), en lagos mexicanos se encontraron valores desde 40 hasta 1 500 NMP/100 mL, no llegando a superar los 2 000 NMP/100 mL, (Cruz et al., 2021) como en el caso de la BIP y lagos altamente contaminados como el lago Malawi en África cuyo rango de *Escherichia coli* estuvo entre 0 a 17 600 UFC/100 mL cerca a la orilla y entre 0 a 21 200 UFC/100 mL aguas adentro y un tercio de todas las muestras oscilaron entre 500 hasta 21 200 UFC/100 mL (Tyner et al., 2019).

**Figura 7**

*Concentraciones de Escherichia coli en la bahía interior de Puno y testigos según zonas de muestreo y meses. Línea roja: límite para ser utilizada previa desinfección, así como para uso recreativo en contacto primario y secundario de los ECAs (MINAM, 2017).*



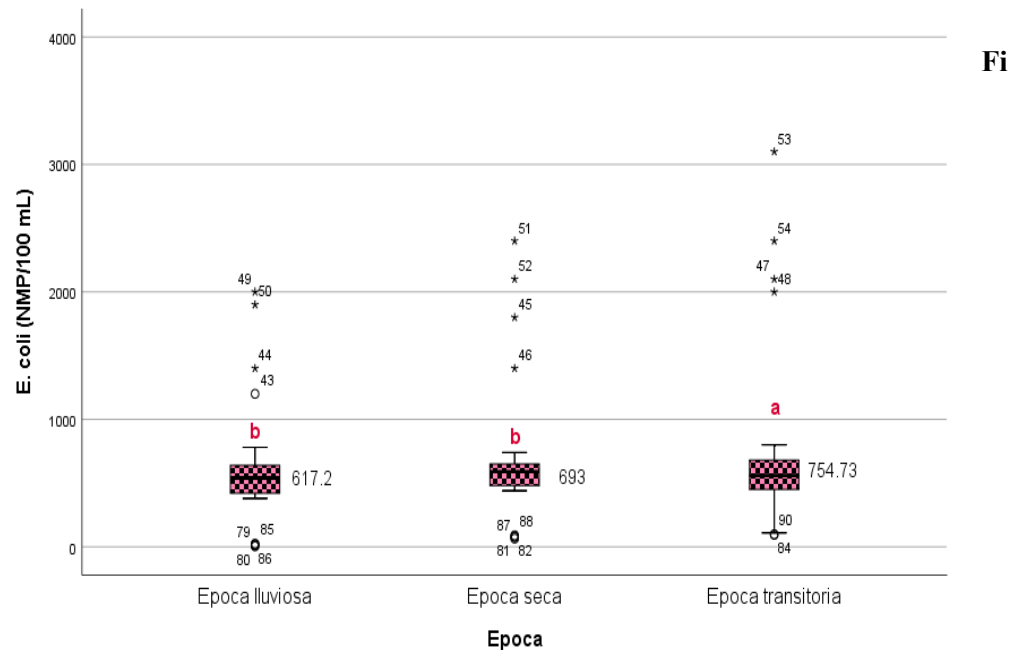
Respecto a los niveles de *Escherichia coli* según épocas, la época lluviosa alcanzó un promedio de 617.2 NMP/100 mL, la época seca 693 NMP/100 mL y la época transitoria 754.73 NMP/100 mL, presentándose una cierta superioridad para la época transitoria, aunque no se evidenció diferencias significativas según la prueba de Kruskal-Wallis ( $H = 1.34$ ;  $p > 0.51$ ) entre épocas, lo que implica que las épocas lluviosa, seca y transitoria presentan niveles similares de *Escherichia coli* en todo el ámbito de la superficie de la BIP. En la Figura 8, se puede verificar los valores presentados de *Escherichia coli* en el ámbito de la BIP según las épocas de muestreo.



En otros estudios en lagos, se encontró que *Escherichia coli* tiene menores niveles en épocas secas, aumentando significativamente en épocas lluviosas, siendo la explicación que hay una mayor carga de material fecal durante épocas lluviosas por las escorrentías que son arrastradas hacia el lago, aumentando rápidamente al finalizar la época seca, con las primeras lluvias (An et al., 2002). En Colombia, los humedales también presentaron mayor concentración de *Escherichia. coli* en la época lluviosa (Arevalo et al., 2019) y en México los valores fueron mucho más altos también en período lluvioso que en otras épocas (Cruz et al., 2021), al igual que en el estudio de Ramos et al. (2008), quienes encontraron altos valores de coliformes fecales y totales en épocas de mayores precipitaciones. Estos estudios, no son del todo coincidentes con el caso de la BIP, ya que la época lluviosa y la época seca tuvieron niveles significativamente similares en *Escherichia coli* no evidenciándose una superioridad en la época lluviosa; sin embargo, se observa un incremento ligero en la época transitoria, cuando se presentan las primeras lluvias en el altiplano, la cual estaría arrastrando también material fecal de diferentes ámbitos hasta el cuerpo de agua, tal como lo explica An et al. (2002).

**Figura 8**

*Niveles promedio y estadígrafos descriptivos de Escherichia coli en la BIP según épocas de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre cajas, con la Prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).*



## 4.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONTAMINACIÓN POR COLIFORMES EN LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO

### 4.2.1. Distribución de los coliformes totales

(Figura 9) comparativamente con la bahía exterior y en términos generales se puede apreciar altas concentraciones de estos microorganismos en toda el área incluyen fuera de la bahía interior, que abarca la zona de la bocatoma y Ojerani, considerando que todos los valores superaron los 1 000 NMP/100 mL, llegando incluso a más de 16 000 NMP/100 mL. Sin embargo, las zonas con mayores concentraciones se distribuyen en alrededores de la laguna de oxidación Espinar (color rojo), a partir del cual, disminuyen los niveles casi concéntricamente, mostrándose en la figura con tonalidad naranja, amarillo y verde más oscuro en



las zonas de menor concentración. Se observa también que la mayor parte del área de la BIP presenta concentraciones entre 5000 a 7000 NMP/100 mL de coliformes totales. Esto demuestra que las aguas de la BIP, según la WHO (1991), no son aptas ni para uso recreativo en contacto primario ni secundario (límites máximos 1000 y 5000 NMP/100 mL respectivamente) y tampoco tiene aptitud para albergar vida silvestre sensible como peces y anfibios, ya que Reinheim (1994) refiere que para ello no debe sobrepasar los 500 NMP/100 mL en coliformes fecales y en nuestro estudio se encontró valores superiores a este incluso en áreas fuera de la BIP.

Callata (2015) reportó también que la distribución de coliformes totales en la BIP fue en mayor intensidad en inmediaciones de la laguna Espinar con valores que superaron los 13000 NMP/100 mL, disminuyendo progresivamente conforme los muestreos se fueron alejando de esta, alcanzando valores de 2363 NMP/100 mL cerca a los totales por los uros. Estos valores concuerdan con nuestros resultados, sin embargo, en el mencionado estudio no evaluaron áreas fuera de la BIP.

Cabe resaltar que la zona de la bocatoma (lugar de donde se obtiene agua para la distribución a la ciudad de Puno) presentó también altos valores entre 1000 y 3000 NMP/100 mL, aspecto que ratifica el riesgo para los consumidores de dicha ciudad. La legislación peruana en los ECAs (MINAM, 2017) no proporciona estándares para este grupo bacteriano, sin embargo, el MINSA (2011) en el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano establece que las aguas destinadas al consumo deben contener cero de coliformes totales, por lo que

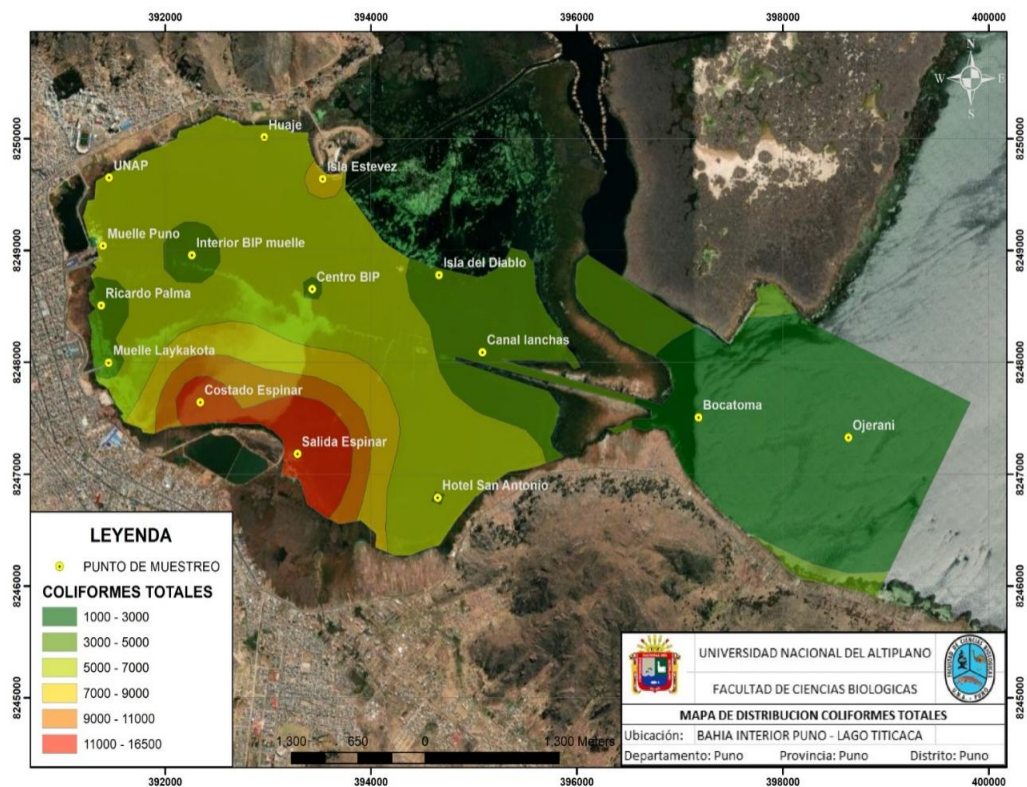


es de esperar que con la potabilización convencional que se realiza por la empresa EMS Puno, se logre obtener finalmente este valor.

Los coliformes totales incluyen varios géneros de bacterias como *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Citrobacter* y *Edwardsiella*, que pueden existir como saprofitas independientemente o existir en el intestino de diferentes especies, excepto *Escherichia* que tiene origen exclusivamente fecal (Apella et al., 2005), por ello es que no suele considerarse en normas relacionadas a la calidad del agua como parámetro importante.

### Figura 9

*Distribución de coliformes totales en aguas de la bahía interior de Puno.*



#### 4.2.2. Coliformes termotolerantes

La zona con mayor concentración de coliformes fecales corresponde a los alrededores de la laguna de oxidación Espinar (Figura 10), conformando una banda concéntrica de casi 600 m de grosor, que llega casi hasta el muelle Puno por el oeste y hasta Salcedo por el Sur, donde las concentraciones de coliformes fecales van entre 3000 a 6000 NMP/100 mL. Se observa también que el área completa de la BIP presenta altos niveles de coliformes fecales, con mínimamente 1500 NMP/100 mL en las zonas del muelle Puno, Isla Estevez y Huaje; incluso la bahía exterior presenta importantes niveles de coliformes fecales, tanto en la zona de la bocatoma de Chimu y en el sector Ojerani donde los valores están entre 500 y 1000 NMP/100 mL, siendo estos los lugares con las menores concentraciones del estudio. Según esto, y de acuerdo a los ECAs (MINAM, 2017), ni siquiera las aguas de la bocatoma y Ojerani de la bahía exterior son aptas para su uso potable con desinfección simple, ni para uso recreativo en contacto primario (límite es 200 NMP/100 mL), aunque sí para uso recreativo en contacto secundario, para bebida de animales y para conservación del ambiente acuático (límite para ellos es 1000 NMP/100 mL) y también para agua potable con un tratamiento convencional (MINAM, 2017). Sin embargo, toda el área de la BIP no tendría ningún tipo de uso, ya que la mayoría de sus valores se encuentran sobre los 1500 NMP/100 mL, tal como se puede observar en la Figura 10.

Callata (2015) también ha evaluado el área de distribución de coliformes fecales en la BIP, indicando que el área de mayor concentración se encuentra en alrededores de la isla Espinar y frente al terminal terrestre, con valores que superan los 3000 NMP/100 mL, coincidiendo con el presente estudio, donde estas zonas



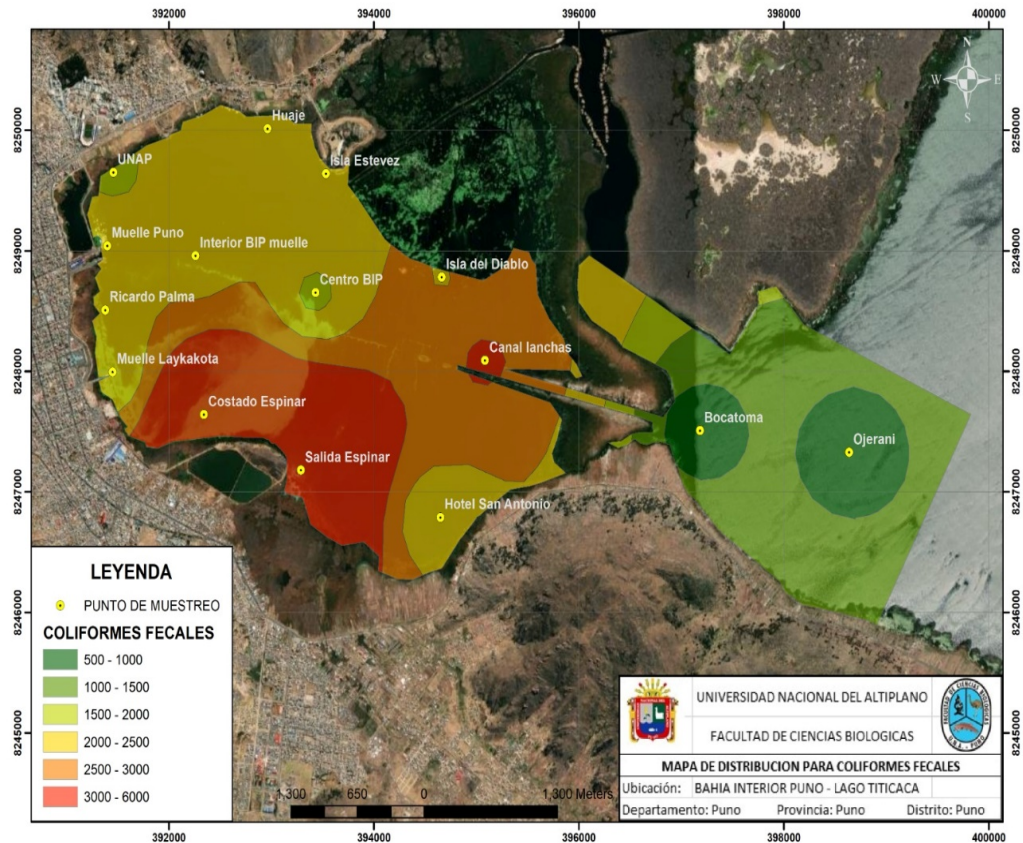
presentaron valores desde 3 000 NMP/100 mL a más. Luego este mismo autor encontró valores de 2 000 NMP/100 mL entre el muelle Puno y frente a la ciudad universitaria de la UNAP, lo que es coincidente también con nuestro estudio respecto a esta área de distribución. Este ámbito de distribución explica que existe un intenso ingreso de aguas residuales directamente a estas zonas y explica también la deficiencia que tiene la laguna de oxidación Espinar en el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Puno.

Se observa también en la Figura 10 que la siguiente área de mayor concentración abarca casi toda la zona sur este de la BIP hasta el área de totorales y disminuye ligeramente hacia la superficie de la zona norte (2 500 a 3 000 NMP/100 mL). En este caso Callata (2015) refiere que la concentración de estos coliformes disminuye concéntricamente conforme se aleja de la laguna de oxidación Espinar, difiriendo en nuestro caso ya que en el presente estudio las áreas contaminadas por estos coliformes forman más bien zonas y irregulares.

El estudio confirma que la BIP está altamente contaminada con coliformes, siendo estos importantes indicadores de la calidad de las aguas. (el 100 % de puntos de muestreo tienen valores mayores a 1 000 NMP de coliformes totales y el 100 % superan valores a 200 NMP en coliformes fecales), de acuerdo a la calificación de Ramos-Ortega (2008).

**Figura 10**

*Distribución de coliformes termotolerantes en aguas de la bahía interior de Puno, respecto a una zona de la bahía exterior.*



Como ya se ha mencionado, los coliformes fecales son indicadores de contaminación fecal, lo que explica que existe ingresos de aguas residuales cargadas con bacterias del tracto intestinal, en este caso procedentes de poblaciones humanas. Metcalf - Eddy (1995), indica que el tracto intestinal humano, aparte de otros tipos de bacterias, evacúa diariamente miles de millones de organismos coliformes, lo que les hace como los mejores indicadores de la presencia de organismos patógenos en el agua, y que su ausencia, significa que el agua está libre de microorganismos causantes de enfermedades.



### 4.2.3. *Escherichia coli*

Esta bacteria es un bacilo gram negativo de la flora intestinal humana y usualmente inocua, aunque en huéspedes inmunosuprimidos o cuando las barreras gastrointestinales son sobrepasadas, *Escherichia coli* puede causar infecciones, siendo las más frecuentes enfermedades entéricas y diarreas (Canata et al., 2016). La ingestión o contacto de agua con restos fecales es la vía de transmisión más frecuente de enfermedades intestinales (Martínez et al., 2020) y entre estos patógenos intestinales transmitidos por el agua, el más frecuente es *Escherichia coli*, cuyos patotipos diarreicos son considerados un problema ambiental y de salud pública a nivel mundial (Sidhu y Toze 2009). Dentro de los coliformes termotolerantes el principal indicador de contaminación fecal reciente es *Escherichia coli* y puede persistir por largos períodos de tiempo en el agua (Zhang et al., 2015), por ello son considerados un riesgo potencial para la salud pública.

En la BIP, se ha encontrado una amplia distribución de este microorganismo en toda la superficie del cuerpo acuático, observándose en la Figura 11, que las mayores concentraciones son también en inmediaciones de la isla Espinar, alcanzando valores desde 1100 NMP/100 mL a más, formando una franja de unos 400 m desde la orilla, y desde ese radio se observa una disminución concéntrica progresiva hacia zonas más alejadas, hasta llegar a valores entre 500 y 700 NMP/100 mL en las riveras de Huaje, UNAP, muelle Puno, muelle Laykakota y cercanías al hotel San Antonio. Dichos niveles superan ampliamente lo indicado en los ECAs (MINAM, 2017) respecto a su uso recreativo tanto en contacto primario o secundario, que es ausencia total de *Escherichia coli*, y también el valor debe ser cero si se va a utilizar para ser potabilizadas con



desinfección. A pesar de ello, en diferentes partes de la BIP se hacen uso de actividades de recreación.

En general, las concentraciones de *Escherichia coli* disminuyeron conforme se alejaron los muestreos desde la orilla, aspecto que también concuerda con otros estudios que encontraron una disminución de los valores hasta del 17 % de los valores de la orilla e indican que esta bacteria constituye un predictor del potencial de enfermedades transmitidas por el agua (Tyner et al., 2018).

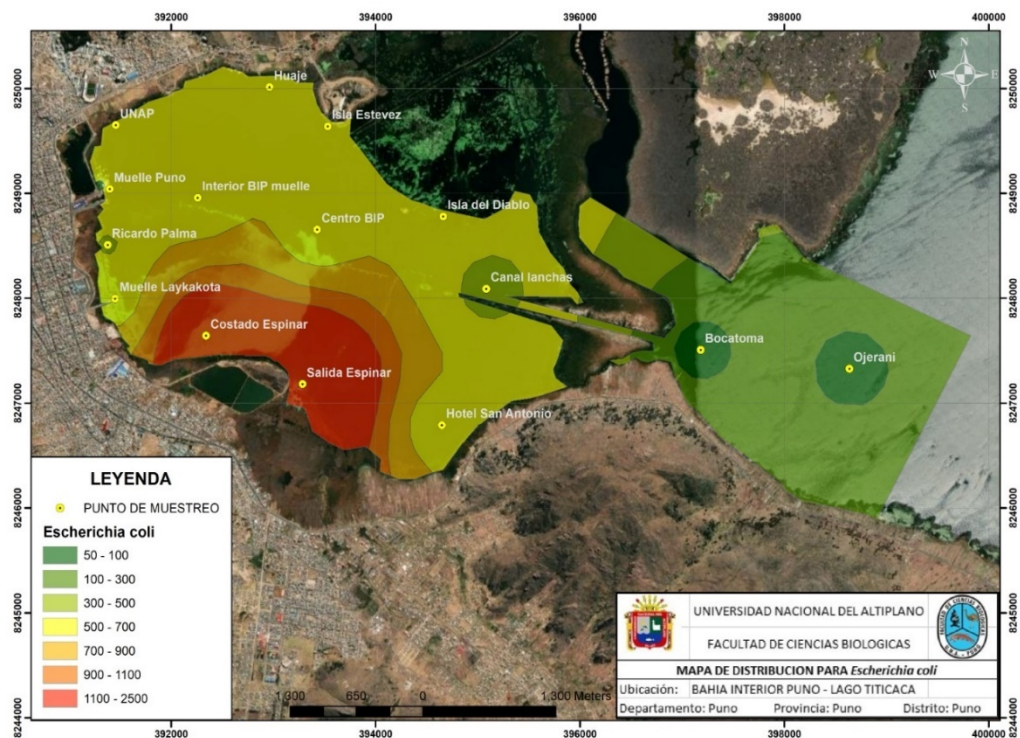
Comparando con las aguas de la bahía exterior, en estos lugares las concentraciones son menores respecto a la BIP, sin embargo, continúan siendo valores altos, ya que presentaron valores entre 50 a 100 NMP/100 mL, los cuales tampoco pueden ser utilizados ni para uso recreativo y menos para consumo humano, ya que nuevamente, para estos casos los valores deben ser cero según MINAM (2017) y la OMS (1995). Es importante comentar también, qué desde esta zona, específicamente del sector Chimu, se obtiene el agua para su distribución a la ciudad de Puno, como agua potable.

Callata (2015) también elaboró un mapa de distribución de este parámetro microbiológico en la BIP, encontrando también los mayores valores concéntricamente alrededor de la isla Espinar y similarmente a nuestro estudio con valores mayores a 950 NMP/100 mL y fueron disminuyendo estos valores conforme se alejan concéntricamente de este punto, llegando a una concentración de 120 NM/100 mL en zonas cercanas a los totorales, pero en el presente estudio se ha determinado valores entre 500 y 700 NM/100 mL en estos mismos ámbitos, lo que indicaría que el área de distribución para *Escherichia coli* se ha venido ampliando desde el año 2015.

De acuerdo a este parámetro microbiológico, la totalidad de las aguas de la BIP constituyen una fuente contaminante de alto riesgo para la salud pública, sobre todo para las personas que viven en sus inmediaciones o para los visitantes que tienen un contacto primario o secundario; siendo la zona más crítica, el área que comprende entre zonas aledañas a Salcedo, hasta el muelle de Laykakota.

### Figura 11

*Distribución de Escherichia coli en aguas de la bahía interior de Puno, comparativo a una zona de la bahía exterior.*



Finalmente, de acuerdo a las consideraciones de Ramos-Ortega et al. (2008), quienes proponen en la Tabla 6, una valoración conceptual indicativa del grado de contaminación microbiológica para cuerpos acuáticos, donde refieren que si el porcentaje total de todos los muestreos respecto a coliformes totales, superan valores de 1000 NMP/100 mL en un rango de 61 a 100% de los muestreos, el grado de contaminación es alta. Similarmente si en los muestreos de coliformes, entre el 61 a 100 % presentó valores superiores a 200 NMP/100 mL, el grado de



contaminación del cuerpo acuático es alto. Para el caso de la BIP en el caso de coliformes totales y fecales, el 100 % de muestreos presentaron valores mayores a 1 000 NMP/100 mL, incluso en las zonas testigo fuera de la bahía interior; lo mismo ocurrió para el caso de coliformes fecales donde el 100 % de muestreos superaron valores de 200 NMP/100 mL. Ello significa que toda la superficie de la bahía interior de Puno, extendiéndose hasta fuera de ella, en los sectores Chimu y Ojerani, se encuentra altamente contaminada.





## V. CONCLUSIONES

- La bahía interior de Puno, según los resultados de las concentraciones de coliformes totales, termotolerantes y *Escherichia coli*, se encuentra altamente contaminada con material fecal prácticamente en toda la extensión superficial de su área, siendo la zona más crítica en inmediaciones de la isla Espinar, zona donde actualmente se encuentra la laguna de oxidación de la ciudad de Puno. Los coliformes termotolerantes alcanzaron valores entre 1700 a 29100 NMP/100 mL, superando ampliamente las exigencias de la normativa nacional y las concentraciones en los tres tipos de coliformes, incrementaron considerablemente en la época de transitoria (octubre y noviembre). La zona testigo (Ojerani y bocatoma Chimu), también presentó concentraciones importantes de coliformes, incluyendo *Escherichia coli* el cual estuvo presente en todos los muestreos, aunque en niveles más bajos que de la BIP, lo que indica que la contaminación por coliformes, se va extendiendo por zonas fuera de la bahía interior.
- Las estimaciones basadas en imágenes de información geográfica (SIG), confirman que el área de distribución de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* es por todo el ámbito de la BIP y que el foco más importante de proliferación es la laguna de oxidación Espinar y de allí progresivamente disminuye concéntricamente, conforme los muestreos son más alejados de ésta. En efecto, las imágenes de isolíneas muestran que las concentraciones de coliformes se van expandiendo por fuera de la BIP, y las concentraciones de *Escherichia coli* en la BIP supera los 500 NMP/100 mL y en el área de Ojerani llega hasta 100 NMP/100 mL.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) hacer evaluaciones permanentes de las concentraciones de coliformes en la BIP con la finalidad de conocer sus cambios en el tiempo, para proponer estrategias de mitigación y control de la contaminación.
- Se recomienda a los estudiantes y/o egresados de la facultad de biología estudiar en mayor detalle y profundidad las características microbiológicas de las aguas de la zona de Ojerani y Bocatoma de Chimu, para conocer su calidad para fines de consumo humano, ya que de este lugar se obtiene el agua potable para su distribución de la ciudad de Puno.
- Se recomienda a la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) emprender programas de difusión de los riesgos que presenta las condiciones actuales de la BIP, respecto a sus usos diversos, entre los que incluyen el uso recreativo y turístico, ya que, según normas nacionales e internacionales, los niveles de coliformes son ampliamente superados en lo establecido en ellas.
- Se sugiere a la Organismo de evaluación y fiscalización Ambiental considerar la información del presente estudio para plantear medidas, de sanción, y de búsqueda de soluciones a esta problemática.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- An, Y.J. y Breindenbach, P. (2005). Monitoring E. Coli and total coliforms in natural spring water as related to recreational mountain areas. *Environmental Monitoring and Assessment*, 102(1-3)137-7.
- DOI:10.1007/s10661-005-4691-9
- ANA – Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales*. Ministerio de Agricultura y Riego, ANA. Lima, Perú: Gráfica Industrial Alarcón.
- Apella, M. C., Araujo, P. Z., Blesa, M. A. y Blanco, G. J. (2005). *Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación del agua*. Editorial: Universidad Nacional de San Martín.
- APHA - American Public Health Association. (1985). *Standard for the examination of water and wastewater* (16 edición). Washington, EUA: APHA – AWWA – WPCF.
- Arcos, M.P., Ávila, S., Estupiñán, S. y Gómez, A. (2005). Prieto *Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua*. Nova - Publicación Científica, 3(4), 69 - 79.
- Arévalo, K., Argoty, D. y Copete, Y. (2019). *Diagnóstico bacteriológico de la calidad del agua en la zona norte del Humedal La Vaca, Bogotá D.C, en dos épocas climáticas*. Tesis Grado, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.
- Beltrán, D., Palomino, R., Moreno, E., Peralta, C. y Montesinos, D. (2015). Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011. *Revista Peruana de Biología*, 22(3), 335 – 340.
- <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v22i3.11440>
- Blancas, C.yHervás, M.A. (2001). *Contaminación de las aguas por nitratos y efectos sobre la salud*. Andalucía: Egondi Artes Gráficas,S. A.
- Bravo,L.A. (2003). *Efecto de aguas contaminadas en ecosistemas continentales y manejo de cuencas*. Trabajo presentado en el Foro Internacional Rehabilitación, Conservación y Manejo de Ecosistemas. Montecillo, México



- Cabezas, C. (2018). Enfermedades infecciosas relacionadas con el agua en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 35(2), 309-316.  
[http://dx doi: 10.17843/ rpmesp.2018.352.3761](http://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3761)
- Canata, M.G., Navarro, R., Velázquez, G., Rivelli, S., Rodríguez, F., Céspedes, A., Espínola, C., Canese, J. y Guillén, R. (2016). Caracterización molecular de factores de virulencia de aislados *Escherichia coli* obtenidas de heces de niños con gastroenteritis del Hospital Central de Instituto de Previsión Social en el 2012. *Pediatría (Asunción)*, 43(1), 13-17.  
<https://revistaspp.org/index.php/pediatria/article/view/2>
- Callata, F.E. (2015). *Monitoreo y evaluación del cuerpo de agua de la bahía interior de Puno – Lago Titicaca*. Perú. Tesis Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano.
- Canosa, A. (1995). *Indicadores bacteriológicos de eutrofización en los embalses de Chuza, Neusa y Tomino, y en la laguna de Chingaza*. Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Centro de Investigaciones Científicas
- CMPRLT - Comisión Multisectorial para la Prevención y Recuperación Ambiental del Lago Titicaca y sus Afluentes. (2014). *Estado de la calidad ambiental de la cuenca del lago Titicaca, ámbito peruano*. Informe Técnico, D.S. N° 075-2013-PCM.
- Cruz, J.R., Núñez-García, L., Cabrera, R., Díaz-Larrea, J. y Castañeda-Roldan, E. (2021). Calidad microbiológica y fisicoquímica del agua en cuatro lagos cráter del estado Puebla, México. *Nexo Revista Científica*, 36(6), 1632-1648.
- Cusiche, L. y Miranda, G. (2019). Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional ‘Lago Junín’, Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), 1433-1447.
- Edberg, S., Rice, E.W., Karlin, R.J. y Allen, M.J. (2000). *Escherichia coli*: the best biological wáter indicator for public heath prtecton. *Journal of Applied Microbiology, Symposium Supplement*, 88: 109S-116S.



- Faust, M.A., Aotaky, A.E. y Hargadon, M.T. (1975). Effect of physical parameters on the *in situ* survival of *Escherichia coli* MC-6 in an estuarine environment. *Applied Microbiology*, 30, 800 - 806.
- Fernández, A., Molina, M., Álvarez, A, Alcántara, M. y Espigares, A. (2001). Transmisión fecohídrica y virus de la hepatitis A. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 1, 8-24.
- FUNASA -Fundación Nacional de Salud. (2013). Manual práctico de análisis de agua.  
Brasilia: Fundación Nacional de Salud, 4°Ed
- Garay, J.A., Marín, B., Calvano, N., Ramírez, G., Troncoso, W., Medina, O.L., *et al.* (2011). *Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano*. Red de vigilancia para la protección y conservación de la calidad de las aguas marinas y costeras. Tomo II. Informe Final. INVEMAR.
- Gerba, C.P. y McLeod, J.S. (1976). Effect of sediments on the survival of *Escherichia coli* in marine waters. *Applied Environmental Microbiology*, 32, 114-120.  
DOI: <https://doi.org/10.1128/aem.32.1.114-120.1976>
- Gianoli, A., Hung, A. y Shiva, C. (2018). Relación entre coliformes totales y termotolerantes con factores fisicoquímicos del agua en seis playas de la bahía de Sechura-Piura 2016-2017. *Salud y Tecnología Veterinaria*. 2: 62-71.  
DOI: <https://doi.org/10.20453/stv.v6i2.3460>
- Halkman, H.B.D. y Halkman, A.K. (2014). Indicator organisms. En: *Encyclopedia of Food Microbiology*, Volume 2, 358-363. Elsevier.  
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00396-7>.
- Harwood, V., Levine, A., Scott, T., Chivukula, V., Lukasik, J., Farrah, S. y Rose, J. (2005). Validity of the indicator organism paradigm for pathogen reduction in reclaimed water and public health protection. *Appl Environmental Microbiology*, 71 (6) 3163-70.  
DOI:10.1128/AEM.71.6.3163-3170.2005



- Larrea, J.A., Rojas-Badía, M.M., Romeu-Álvarez, B., Rojas-Hernández, N.M. y Heydrich-Pérez, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 44(3), 24-34.
- López, C., Buitrón, G., García, H., & Cervantes, F. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. En IWA (Ed.), *Ingeniería Química* (Vol. 33, Número 377). IWA.
- <https://doi.org/10.2166/9781780409146>
- Loza-Del Carpio, A., Gamarra, C. y Condori, N. (2016). Caracterización morfobatimétrica y estimación de sedimentos de la bahía interior de Puno, lago Titicaca, mediante tecnología SIG. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 18(2), 237 – 248.
- Marín, V.L., Troncoso, W., Acosta, W., Vélez, A.M. y Betancourt, J. (2004). *Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia*. Diagnóstico Nacional y Regional 2003. INVEMAR.
- Martínez, A., Garza-Ramos, U., Sampedro-Rosas, M., González-González, J., Nava-Faustino, G. y toribio-jiménez, J. (2020). Patotipos y resistencia a antibióticos de *Escherichia coli* en agua residual. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(4), 957-966. <https://doi.org/10.20937/RICA.53711>
- Metcalf -Eddy,INC. (1995). *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. New York:3ªed. McGraw-Hill
- Mihelcic, J.yZimmerman, J. (2012).*Ingeniería ambiental, fundamentos, sustentabilidad, diseño*. México: AlfaomegaGrupo EditorSA.
- MINSA- Ministerio de Salud. (2007). *Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales*. Lima, Perú: Dirección General de Salud Ambiental, Dirección de Ecología y Protección del Ambiente.



- MINSA – Ministerio de Salud. (2011). *Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano*: D.S. N° 031-2010-SA. Lima, Perú: Dirección General de Salud Ambiental.
- MINAM – Ministerio del Ambiente. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. D. S. N° 004-2017-MINAM. Miércoles 7 de junio de 2017, Diario oficial El Peruano.
- Molina Bolívar, G. y Jiménez Pitre, I. (2017). Análisis de la contaminación por Coliformes Termotolerantes en el estuario del río Ranchería, La Guajira (Colombia). *Boletín Científico Centro de Museos de Historia Natural U. de Caldas*, 21(2), 41-50.
- DOI: 10.17151/bccm.2017.21.2.3
- Moreno, E., Argota, G., Alfaro, R., Aparicio, M., Atencio, L. y Goyzueta, G. (2017). Determinación interactiva de metales totales en las aguas de la bahía interior del Lago Titicaca- Puno Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 19(2), 125 – 134.
- Munn, C.B. (2004). *Marine Microbiology: ecology and applications*. New York: BIOS Scientific Publisher.
- Namihira-Santillán, P.E., Barrera-Escorcía, G. y Márquez-García, A.Z. (2002). Contaminación por bacterias fecales en el Lago Huayamilpas, México. *Hidrobiológica*, 12(2), 129-136.
- Nataro, J. y Kaper, J. (1998). Diarrhea genic *E. coli*. *Clinic Microbiology Reviews*, 11, 142-20.
- Northcote, T., Morales, P. y Dorcey, A. (1991). Introducción y panorama. En: Northcote, T., Morales, P., Levy, D. y Greaven, M. (Eds), *Contaminación en el lago Titicaca, Perú: capacitación, investigación y manejo*: 13-20. The University of British Columbia, Vancouver, Canadá
- Narváez, S., Gómez, M. y Acosta, J. (2008). Coliformes termotolerantes en aguas de las poblaciones costeras y palafíticas de la ciénaga grande de Santa Marta, Colombia. *Acta biológica Colombiana*, 13(3), 113 - 122.



- Noroozi, V., Dobaradaran, S., Nabipour, I., Ostovar, A., Arfaeina, H., Vazirizadeh, A., Mirahmadi, R., Keshtkar, M., Faraji, F. y Khalifei, F. (2017). Indicator bacteria community in seawater and coastal sediment: the Persian Gulf as a case. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 15, 6.
- DOI 10.1186/s40201-017-0266-2
- Ocola, J. y Laqui, W. (2017). *Fuentes Contaminantes en la Cuenca del Lago Titicaca: Un aporte al conocimiento de las causas que amenazan la calidad del agua del maravilloso lago Titicaca*. Lima, Perú: Autoridad Nacional del Agua – ANA.
- Odonkor, S.T.yAmpofo, J.K. (2013). *Escherichia coli* as an indicator of bacteriological quality of water: an overview. *Microbiology Research* 4, 4, e2.5-1. doi:10.4081/mr.2013.e2
- OMS. (1995). *Guías para la calidad de agua potable*. Volumen 1. Ginebra: OMS
- OMS. (1998). *Guías para la calidad de agua potable, vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad*. Volumen 2. Ginebra: OMS
- OMS - Organización Mundial de la Salud. (2015). *Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud*. Recuperado octubre 2021 de: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/facts2004/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/facts2004/es/). Consultado en setiembre del 2020.
- ONU. (2014). *Agua y desarrollo sostenible*. Recuperado de [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water\\_and\\_sustainable\\_development.shtml](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml)
- OPS - Organización Panamericana de la Salud. 1988. *Guías para la calidad del agua potable*. Washington, DC, 20037, EUA: Publicación Científica No. 508,
- Ordoñez, J.A. (2013). *Geotecnia ambiental de la laguna facultativa “El Espinar” – ciudad de Puno*. Perú: Tesis de Magister Universidad Privada de Tacna,
- Pacoricona, F., Kistriz, R. y Berolatti R. (1991). Manejo de las aguas residuales en Puno: problemas y soluciones alternativas. En: Northcote T, Morales P, Levy D. y Greaven M. (Eds), *Contaminación en el lago Titicaca, Perú: capacitación, investigación y manejo*: 257-276. Vancouver, Canadá.





- Parven, S., Huq, A. y Aziz, K. (1998). Antibiotic resistance patterns of *Aeromonas* spp. isolated from environmental and clinical sources. *Journal of Microbiology*, 5:25-9
- Prescott, L., Harley, J. y Klein, D. (1996). *Microbiología*. Madrid, España: Editorial McGraw-Hill.
- Pullés, R. (2014). Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en Cuba. *Revista CENIC - Ciencias Biológicas*, 45(1), 25-36.
- Ramos-Ortega, L.M., Vidal, L.A., Vilarly, S. y Saavedra-Díaz, L. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 87-98.
- Rheinheimer, G. (1994). *Aquatic microbiology*. UK: John Wiley & Sons.
- Rivera, C., Levy, K., Chuquimia, H., Llanque, E. y Zavala, F. (1991). Saneamiento y salud pública en Puno. En: Northcote T, Morales P, Levy D. y Greaven M. (Eds), *Contaminación en el lago Titicaca, Perú: capacitación, investigación y manejo: 257-276*. Vancouver, Canadá
- Rodrigues, C. y Cunha, M.A. (2017). Assessment of the microbiological quality of recreational waters: indicators and methods. *Euro-Mediterr Journal Environmental Integrated*, 2,25.
- DOI 10.1007/s41207-017-0035-8
- Rodríguez, J.P., García-Ubaque, C.A. y García-Ubaque, J.C. (2016). Enfermedades transmitidas por el agua y saneamiento básico en Colombia. *Revista Salud Pública*, 18 (5), 738-745.
- DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rsap.v18n5.54869>
- Sánchez, C., Morales, P., Chura, M.A., Luque, D.M. y Apaza, F. (1991). Parásitos de la bahía de Puno y en la población de Puno. En: Northcote T, Morales P, Levy D. y Greaven M. (Eds), *Contaminación en el lago Titicaca, Perú: capacitación, investigación y manejo: 257-276*. Vancouver, Canadá.



- Saxena, G., Naresh, R., Kaithwas, G. y Abhay, R. (2015). Microbial indicators, pathogens and methods for their monitoring in water environment. *Journal of Water and Health*, 13(2), 319-339.
- Sidhu, J.P. y Toze, S.G. (2009). Human pathogens and their indicators in biosolids: A literature review. *Environmental International*, 35 (1), 187-201. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.07.006>
- Singh, M. y Gupta, A. (2017). *Water pollution-sources, effects and control*. India: Manipur University, Canchipur-795003, Imphal.
- Singh, J. Yadav, P., Kumar, A. y Mishra, V. (2020). Water Pollutants: Origin and Status. En D. Pooja (Ed.), *Sensors in Water Pollutants Monitoring: Role of Material, Advanced Functional Materials and Sensors* (pp. 5-20). Singapore: Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0671-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0671-0_2)
- Staley, Z.R., Chase, E., Mitraki, C., Crisman, T.L. y Harwood, V.J. (2013). Microbial water quality in freshwater lakes with different land use. *Journal of Applied Microbiology*, 115, 1240-1250. doi:10.1111/jam.12312
- Suarez, C. y Berdasquera, D. (2000). Enfermedades emergentes y reemergentes: Factores causales y vigilancia. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 16, 593-7.
- Temple, K.L., Camper, A.K. y McFeters, G.A. (1980). Survival of two enterobacteria in feces buried in soil under field conditions. *Applied Environmental Microbiology*, 40, 794-797.
- Tyner, E.H., Jensen, Ph., Ngochera, M. y Bootsma, H. (2018). *Escherichia coli* (*E. coli*) distribution in the Lake Malawi nearshore zone. *Journal of Great Lakes Research*, 21(2), 234-245.
- Tyrrel, S. (2011). *Water quality standards and microbiological contamination*. Development Resource Center Environment Water Sanitation. DEW Point Enquiry No. A0408, DFID.
- UE – (Unión Europea). (2020). Directiva (UE) 2020/2184 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano del Parlamento Europeo y del Consejo. Diario Oficial de la Unión Europea.



- UNEP/WHO. (2004). High level meeting on health and environment in Aseanabd east asian countries. Manila, Philipines: WHO/WPRO Library.
- USEPA (2012). *Recreational Water Quality Criteria*. Office of Water, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. Recuperado de: <https://www.federalregister.gov/documents/2012/11/29/2012-28909/2012-recreational-water-quality-criteria>
- Valiente, C. y Pedley, S. (1997). Sanitary surveillance in Costa Rica's municipalities. *Waterlines*, 16(1), 6-9.
- Von Sperling, M. (2007). *Waste water characteristics, treatment and disposal*. London: Published by IWA Publishing
- WHO-World Health Organization. (2003). *Guidelines forsafe recreational water environments*, Volume 1. Geneva: Coastaland fresh waters.
- WHO - World Health Organization (2011). *Guidelines for drinking-water quality*. Recuperado junio 2023 de: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2011/dwq\\_guidelines/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/).
- Winfield, M.D, Grosman, E.A. (2003). Role of Nonhost Environments in the Lifestyles of *Salmonella* and *Escherichia coli*. *Applied Environmental Microbiology*, 69, 3687-3694.
- WSDH -Washington State Department Health. (2016). *Coliform Bacteria and Drinking Water*. Division of Environmental Health. Recuperado de <https://fortress.wa.gov/doh/odwpubs/>
- WWAP-Programa Mundial de Evaluación delos Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo delos Recursos Hídricos 2017*. París, UNESCO: Aguas residuales, el recurso desaprovechado.
- Zhang, L., Balfour, A. J., Garside, R. y Gaze, W.H. (2015). Human Recreational Exposure to Antibiotic Resistant Bacteria in Coastal Bathing Waters, *Environment International*, 82, 92-100.



Zarza, L. (2020). *¿Qué es la contaminación del agua?* Recuperado de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-contaminacion-agua>.



## ANEXOS

### ANEXO 1: Datos de los análisis de coliformes totales

| PM | ZONA                | Febrero | Marzo | Junio | Julio | Octubre | Noviembre |
|----|---------------------|---------|-------|-------|-------|---------|-----------|
| 1  | Isla Estevez        | 9200    | 4600  | 3900  | 3200  | 10300   | 12100     |
| 2  | Huaje               | 5200    | 4500  | 3800  | 3800  | 9300    | 9400      |
| 3  | UNAP                | 11200   | 4300  | 3800  | 3400  | 7600    | 7600      |
| 4  | Muelle Puno         | 9700    | 5100  | 1800  | 4400  | 6300    | 6200      |
| 5  | Interior BIP muelle | 2300    | 5000  | 2400  | 3200  | 6300    | 6200      |
| 6  | Ricardo Palma       | 3400    | 4500  | 2400  | 2700  | 6300    | 6200      |
| 7  | Muelle Laykakota    | 11200   | 2500  | 2300  | 1700  | 5600    | 5400      |
| 8  | Costado Espinar     | 6300    | 11100 | 10300 | 10200 | 15300   | 21100     |
| 9  | Salida Espinar      | 11200   | 12100 | 10300 | 11200 | 24300   | 29100     |
| 10 | Hotel San Antonio   | 8200    | 4300  | 2700  | 3600  | 5600    | 5500      |
| 11 | Canal lanchas       | 3600    | 2200  | 2700  | 4400  | 5600    | 5400      |
| 12 | Isla del Diablo     | 2600    | 4400  | 3800  | 4400  | 6300    | 5400      |
| 13 | Centro BIP          | 2200    | 5000  | 3700  | 4800  | 7600    | 6100      |
| 14 | Bocatoma            | 1400    | 1400  | 1500  | 1700  | 1800    | 1700      |
| 15 | Ojerani             | 3300    | 1100  | 1300  | 1300  | 1800    | 1700      |

Datos de los análisis de coliformes termotolerantes obtenidos en los muestreos según mes y zona

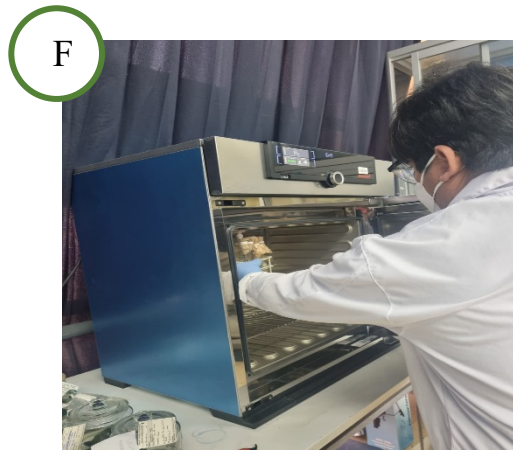
| PM | ZONA                | Febrero | Marzo | Junio | Julio | Octubre | Noviembre |
|----|---------------------|---------|-------|-------|-------|---------|-----------|
| 1  | Isla Estevez        | 980     | 960   | 990   | 1120  | 4700    | 4800      |
| 2  | Huaje               | 2480    | 1960  | 1590  | 1320  | 2700    | 3400      |
| 3  | UNAP                | 980     | 1260  | 1590  | 1720  | 2700    | 2800      |
| 4  | Muelle Puno         | 980     | 2160  | 2090  | 2220  | 3300    | 3800      |
| 5  | Interior BIP muelle | 720     | 1960  | 2190  | 2120  | 3000    | 3300      |
| 6  | Ricardo Palma       | 980     | 1660  | 1490  | 1420  | 3300    | 3800      |
| 7  | Muelle Laykakota    | 1580    | 1360  | 1590  | 1620  | 3000    | 3300      |
| 8  | Costado Espinar     | 3180    | 1360  | 5490  | 6220  | 7600    | 7900      |
| 9  | Salida Espinar      | 9380    | 4360  | 4390  | 4620  | 6300    | 6400      |
| 10 | Hotel San Antonio   | 880     | 2260  | 1990  | 1820  | 2700    | 2700      |
| 11 | Canal lanchas       | 980     | 1160  | 3290  | 3620  | 4500    | 4800      |
| 12 | Isla del Diablo     | 1580    | 560   | 1390  | 2020  | 4700    | 4700      |
| 13 | Centro BIP          | 1080    | 1660  | 1490  | 1620  | 2700    | 2800      |
| 14 | Bocatoma            | 620     | 670   | 510   | 730   | 1020    | 1120      |
| 15 | Ojerani             | 880     | 480   | 700   | 720   | 1020    | 1100      |



Datos de los análisis de *Escherichia coli* obtenidos en los muestreos según mes y zona

| PM | ZONA                | Febrero | Marzo | Junio | Julio | Octubre | Noviembre |
|----|---------------------|---------|-------|-------|-------|---------|-----------|
| 1  | Isla Estevez        | 420     | 620   | 740   | 640   | 800     | 720       |
| 2  | Huaje               | 540     | 560   | 640   | 600   | 650     | 640       |
| 3  | UNAP                | 620     | 650   | 650   | 630   | 650     | 680       |
| 4  | Muelle Puno         | 560     | 780   | 550   | 550   | 530     | 500       |
| 5  | Interior BIP muelle | 500     | 480   | 600   | 580   | 570     | 560       |
| 6  | Ricardo Palma       | 500     | 540   | 500   | 480   | 450     | 440       |
| 7  | Muelle Laykakota    | 620     | 700   | 680   | 700   | 650     | 420       |
| 8  | Costado Espinar     | 1200    | 1400  | 1800  | 1400  | 2100    | 2000      |
| 9  | Salida Espinar      | 2000    | 1900  | 2400  | 2100  | 3100    | 2400      |
| 10 | Hotel San Antonio   | 420     | 640   | 550   | 640   | 720     | 540       |
| 11 | Canal lanchas       | 380     | 420   | 440   | 450   | 510     | 500       |
| 12 | Isla del diablo     | 500     | 520   | 580   | 480   | 510     | 440       |
| 13 | Centro BIP          | 550     | 440   | 500   | 600   | 580     | 560       |
| 14 | Bocatoma            | 10      | 4     | 80    | 76    | 110     | 94        |
| 15 | Ojerani             | 24      | 18    | 64    | 90    | 120     | 98        |

## ANEXO 2: Panel Fotográfico

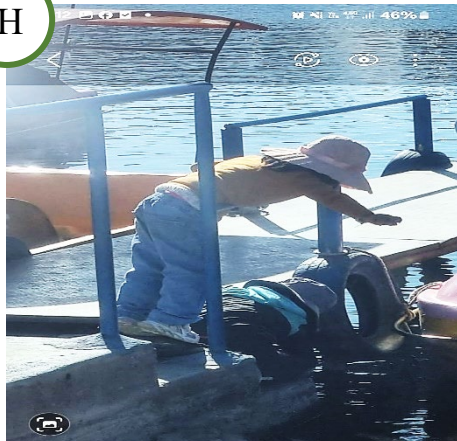


Fotografías relacionados con el proceso A-B levantamiento de muestras de agua superficiales de la BIP, C pesaje de medio caldo lactosado, D inoculación de muestras en el medio caldo lactosado, D tubos seriados con medio caldo Lauril Sulfato, F incubación de las muestras fase presuntiva.

G



H



I



J



Fotografías de evidencias de población en contacto directo en las aguas de la BIP, G-H se observa a niños colocando pies y manos directamente en el agua de la BIP, I-J se observa a otro grupo de niños jugando peligrosamente en contacto con el agua de la BIP.





## CONSTANCIA

**EL DIRECTOR DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AMBIENTALES, SALUD Y BIODIVERSIDAD – IICASB, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO**

**HACE CONSTAR:**

Que el Bachiller **JUAN CARLOS PARIONA FLORES** con DNI N° 43462264, egresado de la Facultad de Ciencias Biológicas, de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, ha realizado su trabajo de tesis titulado: **NIVELES DE CONTAMINACIÓN POR BACTERIAS COLIFORMES EN LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO (LAGO TITICACA) Y SU ZONIFICACIÓN ESPACIAL CON TECNOLOGÍA SIG**, en el Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales Salud y Biodiversidad - IICASB, durante el período de enero a diciembre del año 2022.

Se emite la presente constancia, a solicitud de la interesada para fines que estime por conveniente.

Puno, 05 de abril del 2024.

.....  
Alfredo Loza Del Carpio, D.Sc  
Director IICASB

C.c:  
Arch. 2024



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

Por el presente documento, Yo JUAN CARLOS PARIOWA FLORES identificado con DNI 413462264 en mi condición de egresado de:

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

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

"NIVELES DE CONTAMINACIÓN POR BACTERIAS COLIFORMES EN LA BAHIA INTERIOR DE PUNO (LAGO + ITICACA) Y SU ZONIFICACIÓN ESPACIAL CON TECNOLOGIA SIG"

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 30 de Julio del 2024



FIRMA (obligatoria)



Huella



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JUAN CARLOS PARIOMA FLORES  
identificado con DNI 43462264 en mi condición de egresado de:

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

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

“ NIVELES DE CONTAMINACIÓN POR BACTERIAS COLIFORMES EN LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO (LAGO TITICACA) Y SU ZONIFICACIÓN ESPACIAL CON TECNOLOGÍA SIG”

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 30 de JULIO del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella