

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**Indicadores fecales en afluyente y
efluente en aguas residuales de la
laguna de estabilización "Boca del
Río" de EMAPISCO S.A - Ica.
Agosto 2017- Enero 2018**

Tesis para obtener el Título de

BIÓLOGO

PRESENTADO POR:

BACH. ARONÉ MENDOZA, Sandy Lizeth.

Ica – Perú

2019

DEDICATORIA

A Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera. A mis padres, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y consejos para hacer de mí una mejor persona y útil para la sociedad, así también a todas aquellas personas que de una y otra manera aportaron en mi desarrollo personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a la Universidad San Luis Gonzaga de Ica, por abrirme las puertas de su seno científico para poder estudiar la carrera de Biología, así como también a los diferentes docentes que me brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Agradezco también a mi asesor Blgo. Luis Cartagena Sigvas por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos científicos, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme en este desarrollo de tesis.

Mi agradecimiento también va dirigido al Gerente General de la Empresa Municipal de agua potable y alcantarillado S.A. (EMAPISCO) el Ing. Víctor Motta Vera por haber aceptado que se realice mi tesis en dicha empresa.

RESUMEN

En la actualidad el tratamiento de las aguas residuales resulta de gran importancia para evitar impactos negativos en el ambiente. Ante la escasez de agua resulta la posibilidad del reúso de las aguas residuales tratadas en la agricultura. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar el número más probable (NMP) de coliformes totales y coliformes termotolerantes en el afluente y efluente de la laguna de estabilización “Boca del Río”, además establecer si el número más probable (NMP) del efluente está dentro de los valores máximos permisibles para el reúso de riego agrícola. Los muestreos se realizaron durante los meses de septiembre – diciembre 2017. Siguiendo las recomendaciones de los Métodos Standard (APHA, 2017), mediante la técnica del número más probable (NMP) para indicadores fecales, en donde se obtuvo un promedio para coliformes totales $4,26E+09$ NMP/100mL (afluente) y $1,05E+05$ NMP/100mL (efluente), y para coliformes termotolerantes $2,12E+09$ NMP/100mL (afluente) y $3,96E+04$ NMP/100mL (efluente). En septiembre hubo mayor carga microbiana, asimismo se reduce la carga microbiana en el mes de diciembre.

Se concluye que las aguas residuales del efluente de la laguna de estabilización “Boca de Río” de Emapisco S.A. se encuentra fuera de los límites máximos permisibles para vertimiento a cuerpos de agua, además no son aptas para reúso de riego agrícola para la categoría A (cultivos alimenticios que se consumen crudo), sin embargo están aptas para la categoría B (cultivos alimenticios cocidos), según directrices de la OMS.

Palabras clave: indicadores, coliformes, aguas residuales, reúso.

ABSTRACT

At present the treatment of wastewater is of great importance to avoid negative impacts on the environment. Given the lack of water, there is the possibility of reusing treated wastewater in agriculture. This research work aimed to determine the most probable number (MPN) of total coliforms and thermotolerant coliforms in the tributary and effluent of the stabilization lagoon "Boca del Río", and establish whether the most probable number (MPN) of the effluent is within the maximum permissible values for agricultural irrigation reuse. The samplings were carried out during the months of September - December 2017. Following the recommendations of the Standard Methods (APHA, 2017), using the most probable number (NMP) technique for faecal indicators, where an average was obtained for total coliforms $4,26E+09$ NMP/100mL (effluent) and $1,05E+05$ NMP/100mL (effluent), and for thermotolerant coliforms $2,12E+09$ NMP/100mL (effluent) and $3,96E+04$ NMP/100mL (effluent). In September there was a higher microbial load, and the microbial load was also reduced in the month of December.

It is concluded that the wastewater from the effluent of the stabilization lagoon "Boca de Río" of Emapisco S.A. is outside the maximum permissible limits for dumping to bodies of water, in addition they are not suitable for reuse of agricultural irrigation for category A (food crops that are consumed raw) ; however they are suitable for category B (cooked food crops), according to WHO guidelines.

Keywords: indicators, coliforms, sewage water, reuse.

ÍNDICE

| | Pág. |
|---|-------------|
| DEDICATORIA | i |
| AGRADECIMIENTOS | ii |
| RESUMEN | iii |
| ABSTRACT | iv |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. ANTECEDENTES | 4 |
| III. MATERIAL Y MÉTODO | |
| 3.1. Material Biológico | 7 |
| 3.2. Método | |
| 3.2.1. Área de estudio | 7 |
| 3.2.2. Toma de muestra | 7 |
| 3.2.3. Determinación de indicadores de contaminación fecal | 7 |
| 3.2.3.1. Determinación de coliformes totales | 8 |
| 3.2.3.2. Determinación de coliformes fecales | 9 |
| 3.2.4. Análisis estadístico | 10 |
| IV. RESULTADOS | |
| 4.1. Promedio de coliformes totales | 11 |
| 4.2. Promedio de coliformes termotolerantes | 12 |
| V. DISCUSIÓN | 13 |
| VI. CONCLUSIONES | 16 |
| VII. RECOMENDACIONES | 17 |
| VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 18 |
| IX. ANEXOS | 21 |

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación de las aguas subterráneas y superficiales se origina con cualquier actividad humana económica o culturalmente importante y ha sido un problema ambiental que, desde la antigüedad, preocupa a las comunidades, cobra gran importancia en la necesidad de preservar el medio ambiente, debido a que las aguas residuales procedentes de centros urbanos e industriales, presentan sustancias químicas de carácter tóxico o de lenta degradación. Estas sustancias, dada su larga permanencia en el medio acuoso, pueden causar daños a la flora y fauna acuática o terrestre y a la salud humana, ya que contaminada o no, el agua se envía al drenaje, donde se mezclan diversas calidades de este líquido, para terminar reincorporándose a algún cauce natural. (Arana E. 2004). Es por ello que cuando las aguas residuales domésticas e industriales llegan sin tratamiento a los ríos y al mar, estos cuerpos de agua suelen contaminarse con altas concentraciones de agentes químicos, bacterias, virus y parásitos presentes en el agua, generando impactos negativos en la salud pública y medio ambiente. (Cabrejos et al 2016).

El grupo de microorganismos coliformes es indicador de contaminación bacteriana debido a que estos son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección. (Canosa A. 2007).

El incremento de la población mundial, la rápida urbanización, la creciente escasez de recursos hídricos de calidad explican el uso cada vez mayor de aguas residuales, en la agricultura y la acuicultura. (OMS 2017).

Al respecto, en la provincia de Pisco, existe una planta de tratamiento de aguas residuales denominada "Boca de Río", la cual recolecta estas aguas desde las localidades de Pisco y San Andrés y tiene como fin eliminar estos contaminantes que se encuentran presentes en el efluente de dicha planta de tratamiento. Los indicadores fecales determinan la calidad bacteriológica de los efluentes de planta de tratamiento de aguas residuales.

El presente estudio permitió establecer la eficacia del tratamiento de la laguna de estabilización, según el nivel de remoción bacteriana, siempre y cuando trabajen bien las lagunas, si esto es así, dichas aguas pueden ser reutilizables en los campos agrícolas de las zonas de la provincia de Pisco, lo cual representa una alternativa de solución para los agricultores de dónde obtener una fuente hídrica para sus cultivos y no sólo depender de las aguas del río, acequias, que muchas veces no abastecen a todos los sectores agrícolas, caso contrario de estar fuera de los límites máximos permisibles representa un impacto negativo en el ambiente al ser vertido al mar.

Según Directrices Sanitarias de la OMS sobre el uso de aguas residuales en agricultura y la Dirección General de Asuntos Ambientales – MINAGRI, establece que para la Categoría A (cultivos alimenticios que se consumen crudo como lechuga, espinaca; frutas regadas por aspersión, aun con tallo alto; césped de campos deportivos y parques públicos), dichas aguas tienen que ser ≤ 1000 /mL de coliformes fecales. En lo que respecta a la **Categoría B** (cultivos alimenticios que se consumen cocidos, cultivo de tallos altos, cereales procesados, cultivos industriales no comestibles, cultivos forestales, forrajes y pastos naturales), no requieren la remoción de coliformes fecales, ya que no son consumidos directamente por la población o simplemente no son alimentos. (OMS 1989).

Este estudio tuvo como objetivo determinar la calidad microbiológica del afluente y efluente de la planta de tratamiento de la laguna de estabilización a través de la técnica del número más probable (NMP) para coliformes totales y coliformes termotolerantes, además establece si el número más probable del efluente está dentro de los límites máximos permisibles para el reúso de riego agrícola.

II. ANTECEDENTES

Existen algunos estudios relacionados a la investigación y son los siguientes:

A nivel internacional:

Silva et al. (2008), en Bogotá, investigaron el reúso de aguas domésticas en agricultura. Proponen el uso de aguas residuales domésticas como recurso alternativo, siempre que se traten y manejen apropiadamente para hacerlo de manera segura en actividades agrícolas, privilegiando el riego de cultivos que sufrirán una transformación industrial posterior.

Castro et al. (2009), en México, establecieron que las muestras del agua residual tratada exceden a los límites máximos permisibles ya que el valor más bajo es de $9,3 \times 10^3 \text{NMP}/100\text{mL}$, por lo que el límite máximo es de $2000 \text{NMP } 100\text{mL}^{-1}$, como promedio diario. Cabe destacar que las concentraciones de coliformes fecales en la descarga varían en el transcurso del día. Se detectaron concentraciones muy diferentes durante el día, siendo las más altas antes del mediodía.

Branda et al. (2016), en Paraguay, realizaron la evaluación de coliformes fecales en efluentes de una explotación porcina sometidas a tratamiento mediante biodigestor tubular de la Universidad Nacional de Asunción - Facultad de Ciencias Veterinarias. Observaron que en las tres muestras correspondientes al agua de bebida de los cerdos (A) la presencia de coliformes totales y fecales resultaron negativas; sin embargo, en las tres muestras correspondientes a purines de cerdos (B) y biól (C) la presencia fue positiva, expresando el máximo valor posible de la tabla, NMP: $>2400\text{NMP}/100\text{mL}$.

Carmona (2016), en México, estudió el riego con efluentes residuales y calidad microbiológica de rábano (*Raphanus sativus* L.) var. Champion en Invernadero. El resultado de concentración de coliformes fecales en agua residual cruda de esta investigación fue 1×10^6 NMP/100mL y coliformes totales 7×10^7 NMP/100mL. Por otra parte los resultados de la concentración de coliformes totales en agua residual tratada fue 1×10^4 NMP/100mL y coliformes fecales 46 NMP/100mL.

Hernández et al. (2017), en Ecuador, investigaron el tratamiento de aguas residuales en el Cantón Portoviejo y su potencial impacto ambiental. En donde obtuvieron resultados de concentración de coliformes fecales en agua residual de 1 600 000 NMP/100mL, para el canal del afluente. Por otro lado, para el caso del canal del efluente fue 1 100 NMP/100mL de coliformes fecales.

Naranjo et al. (2017), en Ecuador, realizaron la elaboración de un estudio técnico para la reutilización de aguas residuales mediante un Sistema de tratamientos de aguas residuales casero en el sector Santa Rosa, Cantón Salinas, Provincia de Santa Elena. Obteniendo como resultado de coliformes fecales en agua residual 8×10^7 UFC/100mL, lo cual no cumple con las normas establecidas remoción > 99,9%.

A nivel nacional:

Tananta (2009), en Perú, estudió la determinación de la concentración de coliformes fecales y totales en el río Mayo, por incidencia de la descarga de aguas residuales de la ciudad de Moyobamba-Tarapoto. Concluye que existe relación de moderado a significativo entre los volúmenes de aguas residuales descargados al Río Mayo y el incremento de coliformes totales en el Río Mayo, mientras que para coliformes fecales la relación de causa-efecto fue

medianamente aceptable. Por otro lado la descarga de aguas residuales en el Río Mayo provenientes de la ciudad de Moyobamba, cuantitativamente generan un impacto negativo.

Jiménez (2014), estudió la calidad del agua de las lagunas de oxidación de Covicorti, Trujillo-La Libertad, Perú. Reportó altas concentraciones de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*, excediendo a lo establecido en los límites máximos permisibles para aguas residuales domésticas, donde se estipula que el efluente de la planta no sobrepase los 10000NMP/100mL para coliformes fecales, asimismo se observó la predominancia de los coliformes termotolerantes durante octubre, noviembre y diciembre con un notorio incremento de la bacteria *Escherichia coli* en diciembre.

Rojas et al. (2015), realizaron la evaluación de la variación de los parámetros para agua residual doméstica, en la interacción de macrofitas en una laguna de oxidación en el distrito de Soritor – Moyobamba, Perú. Los parámetros obtenidos del agua residual a ser tratada como coliformes termotolerantes fue 7300NMP/100mL. Asimismo se observó que los coliformes termotolerantes, se encuentran dentro de los límites máximos permisibles.

Cabrejos et al. (2016), estudiaron la contaminación por coliformes totales y fecales en efluentes de actividad urbana e industrial vertidos vía dren 4000, y playas de la caleta Santa Rosa – Lambayeque, Perú. Reportaron alto grado de contaminación de los efluentes de la actividad urbana e industrial y de las playas a causa del vertimiento directo de aguas residuales y el arrojo de desechos por parte de los pescadores y embarcaciones, constituyéndose en focos infecciosos para la transmisión de enfermedades.

III. MATERIAL Y MÉTODO

3.1. Material biológico

Está representado por las muestras de aguas residuales, 8 muestras del afluente y 8 muestras del efluente, con un total de 16 muestras. (Anexo tabla 3-4)

3.2. Método:

3.2.1. Área de estudio

La Planta de tratamiento de aguas residuales denominada “Boca de Río”, abarca un área aproximada de 21 hectáreas, se ubica al noroeste de la ciudad de Pisco, que se encuentra georreferenciado en las siguientes coordenadas L.S. 13.701352, L.O 76.212745, en la Provincia de Pisco. (Fig. N°2). Área del terreno: 230,120.96 m².

3.2.2. Toma de muestras

Para recolección de las muestras se sumergió los frascos estériles de 250 mL. rápidamente debajo de la superficie del agua unos 15 o 20 cms, y así se evitó la recolección del material flotante y dirigiendo la boca de la botella en sentido contrario al de la corriente, teniendo en cuenta las medidas de bioseguridad.

Se transportó las muestras al laboratorio en un cooler a una temperatura de 4°C, para su análisis correspondiente y de manera inmediata.

3.2.3. Determinación de indicadores de contaminación fecal.

Preparación de agua de dilución

-Para la solución Stock A se usó fosfato monopotásico y se preparó de la siguiente manera: Se disolvió el fosfato monopotásico en 500 mL. de agua destilada,

ajustando a un pH de 7.2 con NaOH y completando el volumen a un litro con agua destilada.

-Para la solución Stock B se usó sulfato de magnesio y se preparó de la siguiente manera: Se disolvió el sulfato de magnesio en un litro de agua.

Luego se agregó 1.25 mL de la solución Stock (A) de fosfato monopotásico y 5 mL de la solución Stock (B) de sulfato de magnesio a un litro de agua destilada, y se distribuyó en cantidades que aseguren luego de autoclavar durante 15 minutos a 121 °C volumen de 90 +- 2 mL. y así se obtuvo las diluciones requeridas.

3.2.3.1. Determinación de coliformes totales.

Se utilizó la técnica del número más probable (NMP), según el método de ensayo SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique, que abarca diluciones, etapa presuntiva y etapa confirmativa descritas a continuación:

Se preparó serie de cinco tubos con caldo lauril triptosa y se codificó los tubos anotando el número asignado, volumen inoculado y fecha. Luego de homogenizar la muestra, con una pipeta estéril se transfirió 10 mL de la muestra original a un frasco con 90 +- 2 mL de agua de dilución. De esta manera se obtuvo la primera dilución (10^{-1}) correspondiente a 0,1 mL de la muestra original.

Se homogenizó el frasco que contiene la dilución 10^{-1} de la muestra y con una nueva pipeta esterilizada se transfirió 10 mL a un nuevo frasco de dilución, teniendo así la segunda dilución decimal (10^{-2}), correspondiente a 0,01 mL de la muestra.

Se procedió de esa forma en las secuencias de dilución: 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} , 10^{-9}) para el canal del afluente.

Para la muestra del efluente se utilizó las diluciones siguientes: 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7}). Se ordenó los frascos conteniendo las diluciones, manteniendo la secuencia reciente con relación a los volúmenes de la muestra inoculada.

Etapa presuntiva

Se agitó fuertemente por +- 25 veces el frasco con la última dilución efectuada y con una pipeta estéril de 5 mL se sembró 1 mL de la solución en cada uno de los tubos de Caldo Lauril Triptosa (CLT) concentración simple y se incubó a $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante 24-48 horas. La formación de gas a $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dentro de las 24-48 horas, constituyó una prueba presuntiva positiva para la presencia de bacterias del grupo de coliformes.

Etapa confirmativa

Consistió en transferir todos los tubos positivos de la prueba presuntiva a tubos conteniendo caldo lactosado bilis verde brillante 2% y se incubó durante 24-48 horas a $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para coliformes totales.

3.2.3.2. Determinación de coliformes fecales

Se utilizó la técnica del número más probable (NMP), según el método de ensayo SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E, 23rd ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Fecal Coliform Procedure, de la misma manera abarca diluciones, etapa presuntiva y etapa confirmativa.

Etapa confirmativa

Para coliformes termotolerantes se usó caldo E.C y se incubó a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ en baño María con agitación y temperatura constante, durante 24 horas. Se procedió a

la lectura luego de las 48 horas, considerando prueba positiva confirmativa para coliforme total y coliforme fecal a todos los tubos que presentaron formación de gas en el tubo de Durham invertido. (Fig. N°1).

Se anotó los resultados y se calculó el NMP a partir de los datos obtenidos, en la prueba confirmativa para coliformes totales y fecales. El NMP se obtuvo a través de tablas en las que se presentan el límite de confianza de 95% para cada valor de NMP determinado. (Anexo Cuadro 1). El valor del código resultante de cada análisis se localizó y se obtuvo en NMP ajustando las diluciones de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\text{Valor en la tabla de NMP} \times \frac{10}{\text{Volumen de la dilución mayor}} = \text{NMP}/100 \text{ mL.}$$

-Normativa para reúso de agua residual para riego agrícola según directrices sanitarias de la OMS para la agricultura:

Categoría A: ≤ 1000 NMP/100mL. (Cultivos alimenticios que se consumen crudo)

Categoría B: No se aplica la norma (Cultivos alimenticios que se consumen cocidos).

3.2.4. Análisis estadístico

Los datos fueron organizados en tablas de distribución porcentual, para determinar la significancia entre los valores obtenidos.

IV. RESULTADOS

TABLA N°1: Promedio de coliformes totales por el NMP en la laguna de estabilización "Boca de Río" Pisco septiembre-diciembre 2017

| COLIFORMES TOTALES | AFLUENTE | EFLUENTE |
|-----------------------|----------|----------|
| SEPTIEMBRE | 5.80E+09 | 1.75E+05 |
| OCTUBRE | 2.32E+09 | 8.15E+04 |
| NOVIEMBRE | 8.15E+09 | 1.18E+05 |
| DICIEMBRE | 7.65E+08 | 4.50E+04 |

TABLA N°2: Promedio de coliformes fecales por el NMP en la laguna de estabilización "Boca de Río" Pisco septiembre-diciembre 2017

| COLIFORMES FECALES | AFLUENTE | EFLUENTE |
|-----------------------|----------|----------|
| SEPTIEMBRE | 3.70E+09 | 2.80E+04 |
| OCTUBRE | 1.85E+09 | 2.80E+04 |
| NOVIEMBRE | 2.42E+09 | 9.60E+04 |
| DICIEMBRE | 5.40E+08 | 6.35E+03 |

V. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos para coliformes totales (Tabla N°1), se encontró valores elevados, debido a la sobrecarga del canal del afluente, ocasionado por diversos factores como el crecimiento demográfico de la ciudad de Pisco y del distrito de San Andrés; así mismo el aumento de los usuarios no domésticos por lo que el caudal de ingreso está proyectada para una capacidad máxima de 180 L/s; sin embargo, durante el desarrollo de la investigación se encontró que captaban 250 L/s, llegando hasta un nivel de 350 L/s, por lo que se tiene que poner en funcionamiento los dos tornillos de Arquímedes para evitar que dicho caudal rebose, de la misma manera el personal operativo tiene que limpiar el sistema de rejillas cada media hora aproximadamente, todo el agua captada ingresaba solo a la laguna anaerobia N°2 ya que la laguna anaerobia N°1 se encontraba en mantenimiento, lo que ocasiona que exista solo 2 a 3 días de retención, cuando como mínimo debe ser 5 días de retención, ingresando casi de manera inmediata a las lagunas facultativas, alterando también los días de retención sobre todo en época de frío (neblina, nubes) lo que causa un cambio brusco de los procesos y con ello no exista una buena depuración de las aguas residuales. Durante el mes de noviembre se puede apreciar resultados notorios a comparación de los otros meses (Tabla N°1), debido a que durante ese mes se detectó la falla de la bomba del tornillo N°1 por haberse quemado un contactor, probablemente por un falso contacto; por lo que solo estuvo operativo el tornillo N°2. Además durante los monitoreos realizados se observó la presencia de fango en las lagunas de maduración, debido a la falta de limpieza del desarenador que separa la materia inorgánica (arena) de la materia orgánica, antes de la entrada a la laguna anaeróbica, donde obstaculizaría el flujo del lodo lo que no permite una buena remoción de patógenos y del grupo de coliformes. Estudios

similares como el caso de Jiménez (2014), quien reporta altas concentraciones de coliformes totales para aguas residuales domésticas.

Según los reportes obtenidos para coliformes termotolerantes se encuentra fuera de los límites máximos permisibles (Tabla N°2), según Decreto Supremo N° 003-2010 (Tabla N°5) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, debido a una sobrecarga en las lagunas facultativas, lo que ocasiona una disminución del tiempo de retención, afectando la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), y el desarrollo de una población de algas, alterando el proceso de tratamiento. Además durante el mes de noviembre se reportó altas concentraciones de coliformes termotolerantes, debido a que durante ese periodo hubo un aumento de distribución de agua en las redes domiciliarias, es por ello el incremento del caudal del canal de ingreso. Después de pasar por la laguna anaerobia, facultativas y maduración, estas aguas llegan al canal de efluente, durante la investigación se pudo observar una coloración rojiza (color no característico) en este canal; así mismo durante los monitoreo se observó que el canal de salida en muchas oportunidades se encontraba estancado, debido a que los agricultores se cerraban el canal para el riego agrícola, lo que provoca el colapso de estas aguas, además se notó la presencia de abundante malezas.

Existen reportes de años anteriores que indican valores elevados de coliformes totales y coliformes termotolerantes.

Estudios similares coincide como el caso de Jiménez (2014), quien reporta altas concentraciones de coliformes termotolerantes, excediendo a lo establecido en los límites máximos permisibles para aguas residuales domésticas. Pero, difiere con Rojas et al. (2015), quienes concluyen que los coliformes fecales se encuentran dentro de los límites máximos permisibles. Sin embargo, las aguas residuales del

efluente de la laguna de estabilización “Boca de Rio” de Emapisco S.A. después de un tratamiento previo están aptas para reuso de riego agrícola, según Directrices Sanitarias de la OMS sobre el uso de aguas residuales en agricultura y la Dirección General de Asuntos Ambientales – MINAGRI en lo que respecta a la Categoría B (cultivos alimenticios que se consumen cocidos como papa, camote; cultivos de tallos altos como frutales de árbol; cereales procesados como trigo, maíz; cultivos industriales no comestibles como el algodón; cultivos forestales como eucalipto, pinos; forrajes y pastos naturales como alfalfa, maíz, en donde no requieren la remoción de coliformes fecales, pero no son aptas para reuso de riego agrícola para la categoría A (cultivos alimenticios que se consumen crudo). Estudio similar como de Naranjo et al. (2017), quienes concluyen que el resultado de concentración de coliformes fecales en agua residual, no cumple con las normas establecidas remoción > 99,9% para reuso de agua residual.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados del presente trabajo, realizado en el periodo comprendido entre agosto de 2017 y enero 2018, se concluye lo siguiente:

1. Los resultados para coliformes totales fluctuaron entre septiembre $1.75E+05$ NMP/100mL – diciembre $4.50E+04$ NMP/100mL.
2. Se encontró altas concentraciones de coliformes termotolerantes, cuyos resultados fluctuaron entre septiembre $2.80E+04$ NMP/100mL – diciembre $6.35E+03$ NMP/100mL.
3. Las aguas residuales del efluente de la laguna de estabilización “Boca de Rio” de Emapisco S.A. no son aptas para el reúso en lo que respecta a la Categoría A, pero si son aptas para reúso de riego agrícola en la categoría B.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar un monitoreo semanal, para así tener reportes continuos y ver las variaciones de los resultados.
2. Poner en funcionamiento la laguna anaerobia N°1 para así evitar sobrecargas en la laguna anaerobia N°2.
3. Así mismo se debería aumentar el periodo de retención de estas aguas en especial en estación de invierno y con ello incrementar la remoción de patógenos.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

1. Arana E. Utilización de aguas residuales tratadas como alternativa de riego de parques y jardines en el distrito de Jesús María - Lima. /Tesis Ingeniero Civil/. Perú, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas; 2004.
2. Arango J. Evaluación ambiental del sistema tohá en la remoción de Salmonella en aguas servidas domésticas. /Tesis magistral/. Santiago, Universidad de Chile; 2003.
3. Blanco D, Suárez J, Jiménez J, González F, Álvarez L, Cabeza E, Verde J. Eficiencia del tratamiento de residuales porcinos en digestores de laguna Tapada en Yucatán (México) 2015; 38 (4).
4. Branda L, Ruiz A, Ramírez M, Martínez J. Evaluación de coliformes fecales en efluentes de una explotación porcina sometidas a tratamiento mediante biodigestor tubular con régimen de carga estacionada (Paraguay) 2016; 6 (2).
5. Cabrejos C, Sipión D. Contaminación por coliformes totales y fecales en efluentes de actividad urbana e industrial vertidos vía dren 4000, y playas de la caleta Santa Rosa. /Tesis Pre-Grado/. Perú, Universidad de Lambayeque; 2016.
6. Canosa A. Indicadores bacteriológicos de eutrofización en los embalses de Chuza, Neusa y Tomine, y en la laguna de Chingaza. /Tesis Ingeniero Químico/. Colombia, Universidad de Bogotá; 2007.
7. Carmona E. Riego con efluentes residuales y calidad microbiológica de rábano *Raphanus sativus* L. var. Champion en Invernadero. /Tesis Ingeniero en Agrobiología/. México, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; 2016.

8. Castro L, Gortáres P, Mondara I. Patógenos emergentes como restricción para el reuso de las aguas residuales municipales tratadas de Obregón, Sonora (México). *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 2009; 5 (1): 9-21.
9. Hernández A, Quimis A, Molina Gary, Moreno L. Tratamiento de aguas residuales en el cantón Portoviejo y su potencial impacto ambiental (Ecuador) 2017; 1(2).
10. Jiménez A. Calidad del agua de las lagunas de oxidación de Covicorti, Trujillo-La Libertad. /Tesis Biólogo Pesquero/. Universidad Nacional de Trujillo; 2014.
11. Lorren F. Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Indio” para la obtención de la autorización de reúso. /Trabajo de suficiencia profesional/. Piura, Universidad de Piura; 2017.
12. Méndez F, Muñoz O. Propuesta de un modelo socio económico de decisión de uso de aguas residuales tratadas en sustitución de agua limpia para áreas verdes /Tesis académico/. Lima, Universidad Nacional de Ingeniería; 2010.
13. Naranjo M, Baquerizo B. Elaboración de un estudio técnico para la reutilización de aguas residuales mediante un sistema de tratamiento de aguas residuales casero en el sector Santa Rosa, Cantón Salinas, Provincia de Santa Elena. /Tesis Ingeniero Industrial/. Ecuador, Universidad Estatal Península de Santa Elena; 2017.
14. Navarrete R. Implementación de un post tratamiento por laguna de maduración de bajo calado para el efluente de un digestor anaerobio doméstico rural. /Tesis Ingeniero Ambiental/. Quito: EPN, Escuela Politécnica Nacional de Ecuador; 2017.
15. OMS. Revista actualizada sobre aguas residuales. /en línea/. 2017. /fecha de acceso 01 de junio de 2017/. URL disponible en:
https://www.who.int/water_sanitation_health/sanitation-waste/wastewater/es/

16. OMS. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Informe de un grupo científico de la OMS. /en línea/. 1989. /fecha de acceso 01 de junio de 2017/. URL disponible en:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/leon2.pdf>

17. Rojas A. Determinación de coliformes totales, coliformes fecales y *Vibrio* sp. en aguas de consumo humano, provenientes de pozos y plantas de tratamiento del municipio de San Fernando. /Tesis de licenciatura/. Venezuela, Universidad Nacional de Venezuela; 2010.

18. Rojas C, Carranza D. Evaluación de la variación de los parámetros para agua residual doméstica, en la interacción de macrofitas en una laguna de oxidación en el distrito de Soritor – Moyobamba. /Tesis Ingeniero Sanitario/. Perú, Universidad Nacional de San Martín; 2015.

19. Seoáñez M. Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias. /en línea/. 2003. /fecha de acceso 10 de junio de 2017/. URL disponible en:

<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300081543>

20. Silva J, Torres P, Madera C. Reúso de aguas residuales domésticas en agricultura. *Agronomía Colombiana* 2008; 26 (2): 347-359.

21. Tananta F. Determinación de la concentración de coliformes fecales y totales en el Río Mayo, por incidencia de la descarga de aguas residuales de la ciudad de Moyobamba-Tarapoto. /Tesis Ingeniero Ambiental/. Perú, Universidad Nacional de San Martín; 2009.

22. Veliz L, Llanes J, Fernández L, Bataller M. Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. *Revista CENIC Ciencias Biológicas* 2009; 40 (1).

IX. ANEXOS

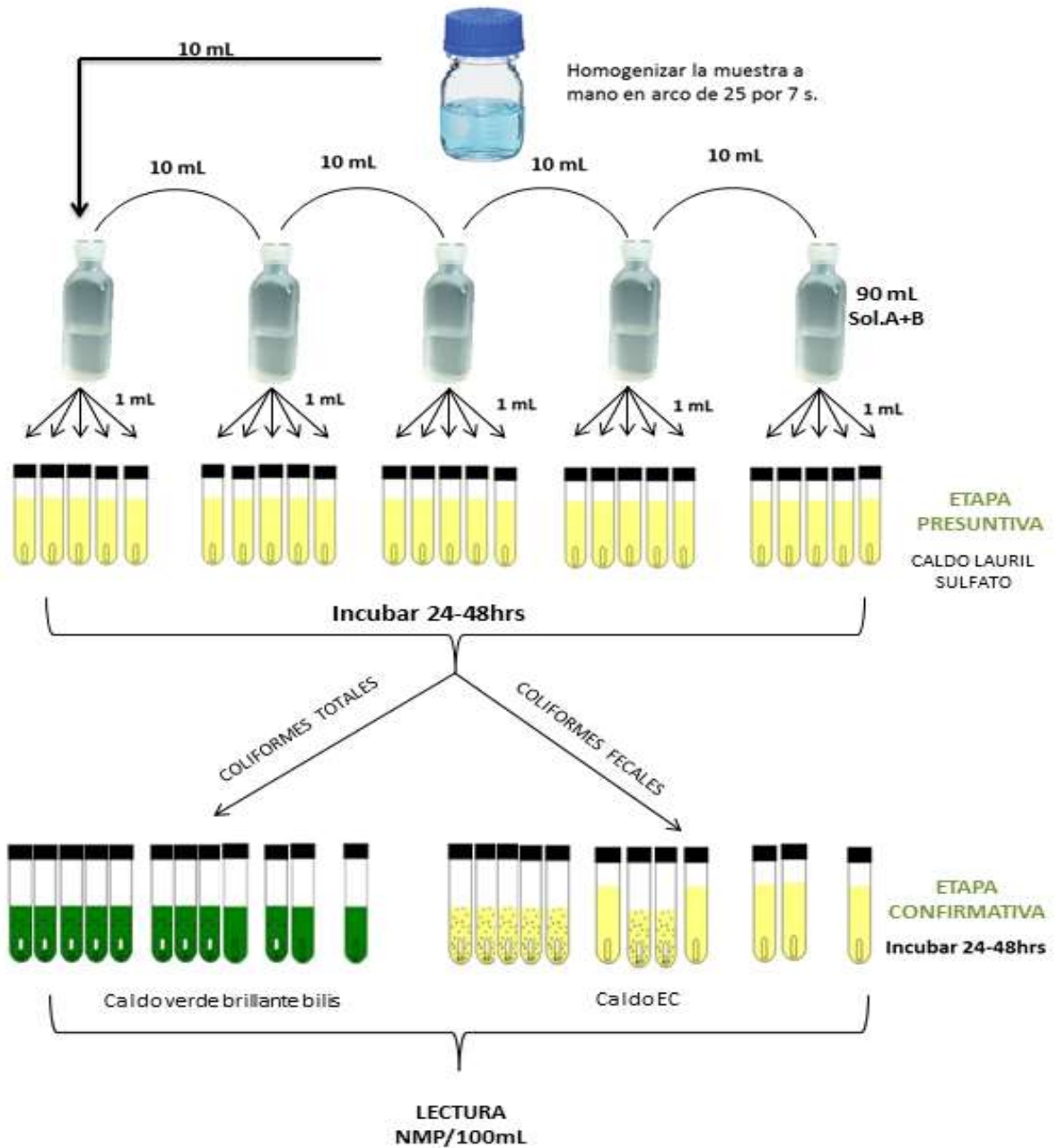


Fig. N°01: Diagrama de flujo del procesamiento de las muestras

CUADRO N°1

TABLA 9221: IV. MPN INDEX AND 95% CONFIDENCE LIMITS FOR VARIOUS COMBINATION OF POSITIVE RESULT WHEN FIVE TUBES ARE USED PER DILUTION

| Combinación de tubos positivos | | | NMP/100mL | Límites de 95% de confianza | | Combinación de tubos positivos | | | NMP/100mL | Límites de 95% de confianza | |
|--------------------------------|---|---|-----------|-----------------------------|----------|--------------------------------|---|---|-----------|-----------------------------|----------|
| | | | | Inferior | Superior | | | | | Inferior | Superior |
| 0 | 0 | 0 | < 1.8 | - | 6.8 | 4 | 0 | 3 | 25 | 9.8 | 70 |
| 0 | 0 | 1 | 1.8 | 0.090 | 6.8 | 4 | 1 | 0 | 17 | 6.0 | 40 |
| 0 | 1 | 0 | 1.8 | 0.090 | 6.9 | 4 | 1 | 1 | 21 | 6.8 | 42 |
| 0 | 1 | 1 | 3.6 | 0.70 | 10 | 4 | 1 | 2 | 26 | 9.8 | 70 |
| 0 | 2 | 0 | 3.7 | 0.70 | 10 | 4 | 1 | 3 | 31 | 10 | 70 |
| 0 | 2 | 1 | 5.5 | 1.8 | 15 | 4 | 2 | 0 | 22 | 6.8 | 50 |
| 0 | 3 | 0 | 5.6 | 1.8 | 15 | 4 | 2 | 1 | 26 | 9.8 | 70 |
| 1 | 0 | 0 | 2.0 | 0.10 | 10 | 4 | 2 | 2 | 32 | 10 | 70 |
| 1 | 0 | 1 | 4.0 | 0.70 | 10 | 4 | 2 | 3 | 38 | 14 | 100 |
| 1 | 0 | 2 | 6.0 | 1.8 | 15 | 4 | 3 | 0 | 27 | 9.9 | 70 |
| 1 | 1 | 0 | 4.0 | 0.71 | 12 | 4 | 3 | 1 | 33 | 10 | 70 |
| 1 | 1 | 1 | 6.1 | 1.8 | 15 | 4 | 3 | 2 | 39 | 14 | 100 |
| 1 | 1 | 2 | 8.1 | 3.4 | 22 | 4 | 4 | 0 | 34 | 14 | 100 |
| 1 | 2 | 0 | 6.1 | 1.8 | 15 | 4 | 4 | 1 | 40 | 14 | 100 |
| 1 | 2 | 1 | 8.2 | 3.4 | 22 | 4 | 4 | 2 | 47 | 15 | 120 |
| 1 | 3 | 0 | 8.3 | 3.4 | 22 | 4 | 5 | 0 | 41 | 14 | 100 |
| 1 | 3 | 1 | 10 | 3.5 | 22 | 4 | 5 | 1 | 48 | 15 | 120 |
| 1 | 4 | 0 | 10 | 3.5 | 22 | 5 | 0 | 0 | 23 | 6.8 | 70 |
| 2 | 0 | 0 | 4.5 | 0.79 | 15 | 5 | 0 | 1 | 31 | 10 | 70 |
| 2 | 0 | 1 | 6.8 | 1.8 | 15 | 5 | 0 | 2 | 43 | 14 | 100 |
| 2 | 0 | 2 | 9.1 | 3.4 | 22 | 5 | 0 | 3 | 58 | 22 | 150 |
| 2 | 1 | 0 | 6.8 | 1.8 | 17 | 5 | 1 | 0 | 33 | 10 | 100 |
| 2 | 1 | 1 | 9.2 | 3.4 | 22 | 5 | 1 | 1 | 46 | 14 | 120 |
| 2 | 1 | 2 | 12 | 4.1 | 26 | 5 | 1 | 2 | 63 | 22 | 150 |
| 2 | 2 | 0 | 9.3 | 3.4 | 22 | 5 | 1 | 3 | 84 | 34 | 220 |
| 2 | 2 | 1 | 12 | 4.1 | 26 | 5 | 2 | 0 | 49 | 15 | 150 |
| 2 | 2 | 2 | 14 | 5.9 | 36 | 5 | 2 | 1 | 70 | 22 | 170 |
| 2 | 3 | 0 | 12 | 4.1 | 26 | 5 | 2 | 2 | 94 | 34 | 230 |
| 2 | 3 | 1 | 14 | 5.9 | 36 | 5 | 2 | 3 | 120 | 36 | 250 |
| 2 | 4 | 0 | 15 | 5.9 | 36 | 5 | 2 | 4 | 150 | 58 | 400 |
| 3 | 0 | 0 | 7.8 | 2.1 | 22 | 5 | 3 | 0 | 79 | 22 | 220 |
| 3 | 0 | 1 | 11 | 3.5 | 23 | 5 | 3 | 1 | 110 | 34 | 250 |
| 3 | 0 | 2 | 13 | 5.6 | 35 | 5 | 3 | 2 | 140 | 52 | 400 |
| 3 | 1 | 0 | 11 | 3.5 | 26 | 5 | 3 | 3 | 170 | 70 | 400 |
| 3 | 1 | 1 | 14 | 5.6 | 36 | 5 | 3 | 4 | 210 | 70 | 400 |
| 3 | 1 | 2 | 17 | 6.0 | 36 | 5 | 4 | 0 | 130 | 36 | 400 |
| 3 | 2 | 0 | 14 | 5.7 | 36 | 5 | 4 | 1 | 170 | 58 | 400 |
| 3 | 2 | 1 | 17 | 6.8 | 40 | 5 | 4 | 2 | 220 | 70 | 440 |
| 3 | 2 | 2 | 20 | 6.8 | 40 | 5 | 4 | 3 | 280 | 100 | 710 |
| 3 | 3 | 0 | 17 | 6.8 | 40 | 5 | 4 | 4 | 350 | 100 | 710 |
| 3 | 3 | 1 | 21 | 6.8 | 40 | 5 | 4 | 5 | 430 | 150 | 1100 |
| 3 | 3 | 2 | 24 | 9.8 | 70 | 5 | 5 | 0 | 240 | 70 | 710 |
| 3 | 4 | 0 | 21 | 6.8 | 40 | 5 | 5 | 1 | 350 | 100 | 1100 |
| 3 | 4 | 1 | 24 | 9.8 | 70 | 5 | 5 | 2 | 540 | 150 | 1700 |
| 3 | 5 | 0 | 25 | 9.8 | 70 | 5 | 5 | 3 | 920 | 220 | 2600 |
| 4 | 0 | 0 | 13 | 4.1 | 35 | 5 | 5 | 4 | 1600 | 400 | 4600 |
| 4 | 0 | 1 | 17 | 5.9 | 36 | 5 | 5 | 5 | > 1600 | 700 | - |
| 4 | 0 | 2 | 21 | 6.8 | 40 | | | | | | |

Fuente: STANDARD METHODS 9221 B. STANDARD TOTAL COLIFORM FERMENTATION TECHNIQUE, JUNE 2003

TABLA N°3: Número de muestras de coliformes totales en la laguna de estabilización "Boca de Río" Pisco septiembre-diciembre 2017

| COLIFORMES TOTALES | N° DE MUESTRAS | AFLUENTE | EFLUENTE |
|--------------------|----------------|----------|----------|
| SEPTIEMBRE | M1 | 9.40E+09 | 3.10E+05 |
| | M2 | 2.20E+09 | 4.00E+04 |
| OCTUBRE | M3 | 4.00E+09 | 1.30E+05 |
| | M4 | 6.30E+08 | 3.30E+04 |
| NOVIEMBRE | M5 | 7.90E+09 | 2.60E+04 |
| | M6 | 8.40E+09 | 2.10E+05 |
| DICIEMBRE | M7 | 1.40E+09 | 7.90E+04 |
| | M8 | 1.30E+08 | 1.10E+04 |

TABLA N°4: Número de muestras de coliformes fecales en la laguna de estabilización "Boca de Río" Pisco septiembre-diciembre 2017

| COLIFORMES FECALES | N° DE MUESTRAS | AFLUENTE | EFLUENTE |
|--------------------|----------------|----------|----------|
| SEPTIEMBRE | M1 | 7.00E+09 | 2.30E+04 |
| | M2 | 3.90E+08 | 3.30E+04 |
| OCTUBRE | M3 | 3.20E+09 | 3.30E+04 |
| | M4 | 4.90E+08 | 2.30E+04 |
| NOVIEMBRE | M5 | 2.30E+08 | 2.20E+04 |
| | M6 | 4.60E+09 | 1.70E+05 |
| DICIEMBRE | M7 | 1.00E+09 | 1.10E+04 |
| | M8 | 7.90E+07 | 1.70E+03 |

TABLA N° 5
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
PARA LOS EFLUENTE DE PTAR

| PARÁMETRO | UNIDAD | LMP DE EFLUENTE PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS |
|-------------------------------|-----------|--|
| Aceites y grasas | mg/L | 20 |
| Coliformes Termotolerantes | NMP/100mL | 10,000 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | 100 |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/L | 200 |
| pH | unidad | 6.5-8.5 |
| Sólidos Totales en Suspensión | mL/L | 150 |
| Temperatura | °C | <35 |



Fig. N°02: Lagunas de Estabilización
 “Boca de Río”



Fig. N°03: Vista del canal del afluente



Fig. N°04: Laguna Anaerobia



Fig. N°05: Laguna Facultativa



Fig. N°06: Laguna de Maduración



Fig.N°07: Canal del efluente



Fig. N°08: Toma de muestras



Fig. N°09: Preparación de medios de cultivo y diluciones



Fig. N°10: Procesamiento de las muestras



Fig. N°11: Tubos positivos en Caldo Lactosado Bilis Verde Brillante

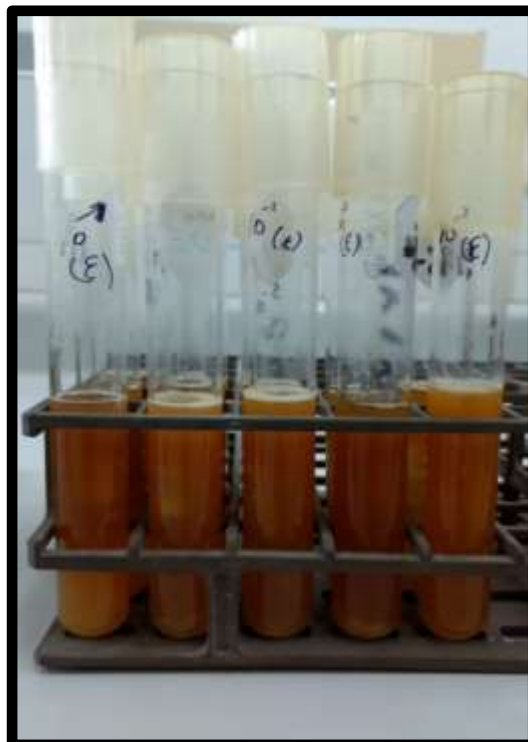


Fig. N°12: Tubos positivos en Caldo EC