



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

## FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

### ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**REMOCIÓN DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y  
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO) DE AGUAS  
RESIDUALES DEL CAMAL DE AZOGUINI PUNO (2019)  
MEDIANTE UN BIOREACTOR DE FANGOS ACTIVADOS**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. DAVID PASTOR LUQUE PACOMPIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

**PUNO – PERÚ**

**2020**



## DEDICATORIA

### *A Dios:*

*Y es que gracias a él todo es posible, y gracias él es que nosotros podemos manifestar nuestros dones y explorando así todo nuestro potencial, y trayendo consigo benéficos a la humanidad.*

### *A mis amados padres:*

*A la memoria de mi linda madre, Martina Pacompia Suaña por su amor incondicional y por haber formar parte fundamental en mi vida.*

*A mi padre, Cirilo Luque Borda por su sacrificio constante de llevar adelante a mi familia, por la dedicación exclusiva y el apoyo brindado desde el principio de mis días hasta el día de hoy.*

### *A mis hermanos:*

*Salomón Luque Pacompia, Eliseo Luque Pacompia y Maritza Luque Pacompia, por formar parte de mi vida, velando siempre por mi salud, bienestar físico y emocional recibiendo el apoyo fraternal necesario.*



## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por todo lo que soy y lo que he logrado ser durante el transcurso de mi vida, por obsequiarme maravillosos dones, y estar siempre presente en cualquier lugar, momento, circunstancia y cuando más lo necesito.*

*Agradezco a mi padre por darme la vida, por bríndame su amor, protección y el apoyo incondicional que solo un padre amoroso como él supo dármele durante la formación de mi vida, y vida profesional.*

*A los docentes de la Escuela Profesional de Biología, y en particular a los docentes del área de microbiología, por transmitir e impartir sus conocimientos hacia mí persona durante mi formación profesional.*

*A mis amigos más cercanos: Diego Loaiza Centeno, Luis Javier Ordoñez Abarca, Michael Ruelas Tito y Fiorella Urviola Aragon, gracias ellos fue que pude compartir maravillosas aventuras y experiencias dentro y fuera de clases, y que se convirtieron no solo amigos sino compañeros de vida, gracias infinita por su amistad.*



# ÍNDICE GENERAL

## DEDICATORIA

## AGRADECIMIENTOS

## ÍNDICE DE FIGURAS

## ÍNDICE DE TABLAS

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN ..... 10

ABSTRACT..... 11

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO GENERAL ..... 13

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 13

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES..... 14

2.2 MARCO TEÓRICO..... 18

2.2.1. Agua residual..... 18

2.2.1.1 Origen de las aguas residuales..... 18

2.2.1.2. Características del agua residual de camales..... 18

2.2.1.3. Composición de aguas residuales de camales ..... 19

2.2.1.4. Parámetros fisicoquímicos que determinan la calidad del agua..... 21

2.2.1.5. Clasificación de las aguas residuales..... 23

2.2.2. Indicadores microbiológicos de la calidad del agua..... 24

2.2.3. Tratamientos de aguas residuales ..... 26

2.2.3.1. Composición de los flóculos de lodos activados..... 31

2.2.4. Normatividad..... 32

2.2.4.1. Reglamento de la ley de recursos hídricos ..... 32

2.2.4.2. Límites máximos permisibles para plantas de tratamiento de aguas  
residuales domésticas y municipales ..... 33

2.2.4.3. Límites máximos permisibles para aguas residuales de camales y  
centros de beneficio..... 34



2.2.4.4. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias. ....	35
--	----

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO .....	40
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	40
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	40
3.3.1. Frecuencia de muestreo .....	40
3.3.2. Descripción de equipos y materiales .....	41
3.3.3. Variables a analizar .....	50
3.3.4. Prueba estadística .....	50

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Remoción de coliformes termotolerantes postratamiento a diferentes temperaturas; temperatura ambiente, temperatura a 22°C y temperatura a 37°C. ....	53
4.2 Remoción de coliformes termotolerantes postratamiento a diferentes tiempos de retención celular (TR/h): TR 11,7 horas, TR a 120 horas y TR 240 horas, aplicados al reactor.....	56
4.3. Remoción de coliformes termotolerantes postratamiento, entre lodos comerciales (Enzimas Biodigestoras BST) y lodos convencionales (LC) activados del agua residual en el bioreactor, con los tratamientos óptimos de TR 120, y a una T de 22°C. ....	58
4.4. Valores de DBO postratamiento de aguas residuales en el bioreactor de lodos activados.....	60
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>64</b>
<b>VII. REFERENCIAS.....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>69</b>

**Área:** Ciencias Biomédicas

**Línea:** Diagnóstico y Epidemiología

**Fecha de sustentación:** 16 de enero del 2020



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diseño estructural del bioreactor de lodos activados.....	42
<b>Figura 2.</b> <i>Escherichia coli</i> aislada en el medio de cultivo agar EMB en el laboratorio de Botánica y Biotecnología de la FCCBB. UNA-Puno, Octubre 2019.....	45
<b>Figura 3.</b> Microfotografía de coloración gram de <i>Escherichia coli</i> , bacilos cortos gram negativos observadas en el microscopio con un aumento de 100X, en el Laboratorio de Botánica y Biotecnología de la FCCBB.. UNA-Puno, Octubre 2019.....	47
<b>Figura 4.</b> Efecto de la temperatura postratamiento sobre la reducción de coliformes termotolerantes en NMP/100ml, (medidas con una letra distinta A, B y AB son significativamente diferentes $p < 0.05$ ).....	53
<b>Figura 5.</b> Efecto del tiempo de retención en horas sobre la reducción de coliformes termotolerantes en NMP/100ml, al término del tratamiento en el reactor de lodos activados (Medias con una letra diferente A y B son significativamente diferentes $p < 0.05$ ). .....	56
<b>Figura 6.</b> Comparación entre dos tipos de lodos, (Enzimas Biodigestoras BST) y lodos convencionales activados del agua residual (FC) sobre la reducción de coliformes termotolerantes en NMP/100ml, después del tratamiento (Medias con una letra diferente A y B son significativamente diferentes $p < 0.05$ ).....	59
<b>Figura 7.</b> Remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) postratamiento, entre los lodos comerciales (Enzimas Biodigestoras BST) y lodos convencionales (FC), (Medias con una letra diferente A y B son significativamente diferentes $p < 0.05$ ).....	60
<b>Figura 8.</b> Ubicación geográfica del lugar de muestreo camal de Azoguini-Puno.....	69
<b>Figura 9.</b> Camal de beneficio de ganado vacuno Azoguini-Puno, Noviembre 2019.....	69
<b>Figura 10.</b> Reactor de lodos activados, acondicionado en el laboratorio de Biotecnología de la FCCBB. UNA- Puno, Noviembre 2019.....	70
<b>Figura 11.</b> Lodos comerciales (ENZIMAS BIO-DIGESTORAS BST) utilizadas como control positivo, realizada en el laboratorio de Biotecnología de la FCCBB. UNA- Puno, Agosto 2019. ....	70
<b>Figura 12. A.</b> Agua residual tratada con lodos convencionales; <b>B.</b> Agua residual tratada con bacterias comerciales (Enzimas Biodigestoras BST)	



realizada en el laboratorio de laboratorio de Biotecnología de la FCCBB. UNA- Puno, Octubre 2019.....	70
<b>Figura 13.</b> Tubos con caldo lactosado y rojo fenol como indicador de pH para la prueba presuntiva de coliformes totales y tubos con caldo bilis lactosa verde brillante (BLVB), realizado en el laboratorio de Botánica y Biotecnología la FCCBB. UNA-Puno, Octubre 2019.....	71
<b>Figura 14.</b> Tubos con caldo bilis lactosa verde brillante (BLVB) para la prueba confirmativa de coliformes termotolerantes, realizado en el laboratorio de Botánica y Biotecnología la FCCBB. UNA-Puno, Octubre 2019.....	71
<b>Figura 15.</b> Bateria bioquímica para la identificación de <i>Escherichia coli</i> , TSI, LIA, Citrato de Simons y medio SIM, realizado en el laboratorio de Botánica y Biotecnología la FCCBB. UNA-Puno, Octubre 2019. ....	72
<b>Figura 16.</b> Medición del oxígeno disuelto para la prueba de Demanda Bioquímica de Oxígeno. Método de la botella de Winkler, realizado en el laboratorio continental del Instituto del Mar del Peru IMARPE-Puno, Octubre 2019.....	72
<b>Figura 17.</b> Procedimiento para la metodología del Numero Más Probable. ....	73
<b>Figura 18.</b> Límites Máximos Permisibles aprobados por el MINAM, para la descarga de efluentes de plantas de tratamiento,.....	77
<b>Figura 19.</b> Límites Máximos Permisibles aprobados por el MINAM, para la descarga de efluentes de plantas de tratamiento.....	78
<b>Figura 20.</b> Aprobación de estándares de calidad ambiental (ECA) para agua. ....	79
<b>Figura 21.</b> Aprobación de estándares de calidad ambiental (ECA) para agua. ....	80
<b>Figura 22.</b> Aprobación de estándares de calidad ambiental (ECA) para agua. ....	81
<b>Figura 23.</b> Categoría: 1. ECAs para uso poblacional y recreacional calidad ambiental.....	82
<b>Figura 24.</b> Categoría: 1. ECAs para uso poblacional y recreacional calidad ambiental.....	83
<b>Figura 25.</b> Categoría: 1. ECAs para uso poblacional y recreacional calidad ambiental.....	84
<b>Figura 26.</b> Categoría: 2. ECAs para uso de extracción cultivo y otras actividades marino costeras y continentales .....	85
<b>Figura 27.</b> Categoría: 3. ECAs para uso de riego y bebidas de animales.....	86
<b>Figura 28.</b> Categoría: 4. ECAs para la conservación del ambiente acuático. ....	87
<b>Figura 29.</b> Categoría: 4. ECAs para la conservación del ambiente acuático. ....	88



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Concentración de contaminantes en afluentes de camales.....	19
<b>Tabla 2.</b> Proceso de tratamientos de aguas residuales.....	26
<b>Tabla 3.</b> Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR.....	34
<b>Tabla 4.</b> Límites máximos permisibles para efluentes de camales y centros de beneficio.....	34
<b>Tabla 5.</b> Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales.....	39
<b>Tabla 6.</b> Frecuencia de muestreo de aguas residuales del camal de Azoguini Puno, 2019. ....	41
<b>Tabla 7.</b> Diluciones recomendadas.....	49
<b>Tabla 8.</b> Número más probable de coliformes termotolerantes respecto a los tratamientos por temperaturas; temperatura ambiente, temperatura a 22°C y temperatura a 37°C.....	53
<b>Tabla 9.</b> Número más probable de coliformes termotolerantes frente a los tratamientos por tiempo de retención celular. ....	56
<b>Tabla 10.</b> Número más probable de coliformes termotolerantes con respecto al tipo de lodo utilizado en el bioreactor .....	58
<b>Tabla 11.</b> Valores de DBO determinados después del tratamiento, con los lodos comerciales (BST) y los lodos convencionales (LC).....	60
<b>Tabla 12.</b> Caracterización del agua residual del camal de Azoguini Puno Agosto- Noviembre 2019. ....	69
<b>Tabla 13.</b> Parámetros físicos y químicos del agua .....	74
<b>Tabla 14.</b> Índice del NMP y límite confiable de 95% para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se usan: 5 tubos con porciones de 10 cm <sup>3</sup> en cada uno, 5 con porciones de 1cm <sup>3</sup> y con 5 porciones de 0.1 cm <sup>3</sup> .....	75
<b>Tabla 15.</b> Clave de identificación de Enterobacterias. ....	76



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>AGVs</b>	: Ácidos orgánicos volátiles
<b>% sat.</b>	: Porcentaje de un compuesto en relación al de saturación
<b>Bq/L</b>	: Medida de la actividad radioactiva
<b>Biosólidos</b>	: Lodo residual tratado con características adecuadas para su neutralización como mejoradores de suelo.
<b>C.T.</b>	: Coliformes totales
<b>CTE.</b>	: Coliformes termotolerantes
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Dióxido de carbono.
<b>DBO</b>	: Demanda biológica de oxígeno
<b>DQO</b>	: Demanda química de oxígeno
<b>Kg.</b>	: Kilogramo
<b>mg/L</b>	: Miligramos por litro
<b>Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub></b>	: Sulfito de sodio
<b>N-NH<sub>3</sub></b>	: Nitrógeno del amonio
<b>NMP/100 ml</b>	: Número más probable en 100 ml
<b>N-NH<sub>4</sub></b>	: Nitrógeno del Amonio
<b>N-NO<sub>2</sub></b>	: Nitrógeno del nitrito
<b>N-NO<sub>3</sub></b>	: Nitrógeno del nitrato
<b>N<sub>tot</sub></b>	: Nitrógeno total
<b>OEFA</b>	: Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental.
<b>°C</b>	: Grados centígrados
<b>PAH</b>	: Hidrocarbomos aromáticos polinucleares
<b>SSV</b>	: Solidos volátiles suspendidos
<b>SBR</b>	: Reactor de carga secuencial
<b>TRH</b>	: Tiempo de retención hidráulico
<b>UASB</b>	: Reactor anaerobio de flujo ascendente
<b>UNT</b>	: unidades nefelométricas de turbiedad
<b>Filtro UVC</b>	: Filtro de luz ultravioleta



## RESUMEN

El agua residual de los camales posee una elevada concentración de materia orgánica, tanto disuelta como en suspensión, y una concentración importante de grasas. A lo largo de las últimas décadas se han liberado estos efluentes sin tratamiento previo al ambiente, atentando contra la sostenibilidad ambiental, es por ello que su tratamiento es una necesidad económica y de higiene pública. El tratamiento biológico por lodos activados constituye una alternativa eficiente e inocua. La puesta en marcha del reactor de lodos activados de esta investigación se realizaron en el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno en el periodo de estudio de Agosto-Noviembre del 2019, los objetivos de esta investigación fueron: a) Evaluar la remoción de coliformes termotolerantes postratamiento a diferentes temperaturas y tiempos de retención, haciendo el uso de un biorreactor de lodos activados, b) Determinar y evaluar el parámetro fisicoquímico; demanda bioquímica de oxígeno (DBO) postratamiento, haciendo el uso de un Biorreactor de lodos activados. La metodología consistió en evaluar la remoción de coliformes termotolerantes con la técnica del número más probable NMP, sobre los tratamientos efectuados en tiempos de retención celular: de 11.7 horas, 120 horas 240 horas, y temperaturas; ambiente, 22°C y 37°C, y la técnica de la botella Winkler para la determinación de DBO, se utilizó un pool comercial de Enzimas Biodigestoras BST como control positivo. Para comparación de las medias sobre los tratamientos utilizados se usó las pruebas paramétricas, ANOVA y Tukey para la prueba de contraste sobre los tratamientos, utilizando el INFOSTAT software libre versión estudiantil. Los resultados reportados muestran la existencia de diferencias significativas entre tratamientos sobre los tiempos de retención en horas y temperaturas, demostrando que el tiempo de retención celular que mejor resultados obtuvo fue el de 120 horas, y una temperatura eficiente de 22 °C, logrando así una remoción del 63.41% de DBO y una remoción mayor al 99% de coliformes termotolerantes en los tiempos de retención celular de 120 horas y una temperatura de 22°C, haciendo el uso de un bioreactor de lodos activados.

**Palabras Clave:** Aguas residuales, bioreactor, camal, demanda bioquímica de oxígeno, lodos activados, remoción de coliformes termotolerantes.



## ABSTRACT

The wastewater from the beds and slaughterhouses has a high concentration of organic matter, both dissolved and suspended, and an important concentration of fats. Over the last decades, these effluents have been released without prior treatment to the environment, undermining environmental sustainability, which is why their treatment is an economic and public hygiene necessity. Biological treatment by activated sludge is an efficient and safe alternative. The commissioning of the activated sludge reactor of this research was carried out in the Biotechnology Laboratory of the Faculty of Biological Sciences of the National University of the Puno Highlands In the August-November 2019 study period, the objectives of this research were: a) Evaluate the removal of post-treatment thermotolerant coliforms at different temperatures and retention times, using an activated sludge bioreactor, b) Determine and evaluate the physicochemical parameter; biochemical oxygen demand (DBO) post-treatment, making use of an activated sludge bioreactor. The methodology consisted of evaluating the removal of thermotolerant coliforms with the most probable NMP number technique, on the treatments carried out in cell retention times: 11.7 hours, 120 hours 240 hours, and temperatures; ambient, 22 ° C and 37 ° C, and the Winkler bottle technique for DBO determination, a commercial pool of BST Biodigester Enzymes was used as a positive control. To compare the means on the treatments used, the parametric tests, ANOVA and Tukey were used for the contrast test on the treatments, using the INFOSTAT free software student version. The reported results show the existence of significant differences between treatments on retention times in hours and temperatures, demonstrating that the cell retention time that obtained the best results was 120 hours, and an efficient temperature of 22 ° C, thus achieving 63.41% DBO removal greater than 99 % removal of thermotolerant coliforms at cell retention times of 120 hours and a temperature of 22 ° C, using an activated sludge bioreactor.

**Keywords:** Wastewater, bioreactor, camal, biochemical oxygen demand, activated sludge, removal of thermotolerant coliforms



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

El agua residual de camales poseen una elevada concentración de materia orgánica, tanto disuelta como en suspensión, que fundamentalmente está constituida por proteínas y sus productos de descomposición, como ácidos orgánicos volátiles, aminas y otros compuestos orgánicos nitrogenados (Becerra *et al*, 2015). Además, el volumen y la concentración de los contaminantes en los efluentes industriales son considerablemente mayores a los efluentes domésticos, por lo que resulta conveniente la aplicación de un sistema de tratamiento que pueda adaptarse al gran número de contaminantes que se encuentran contenidos en estos efluentes (Carrasquero *et al*, 2015).

Los procesos biológicos forman parte de una serie de tecnologías y bases científicas que se emplean para la remoción o estabilización de residuos tóxicos principalmente en aguas residuales y subterráneas. En los últimos años éstos procesos han adquirido gran importancia debido a que ofrecen métodos para una remoción eficaz de contaminantes orgánicos a costos menores con respecto a otros procesos, debido a esto se ha favorecido el empleo de una mayor diversidad de procesos biológicos y tecnologías avanzadas (Arcos & Fernandez, 1993).

Para la medición de la calidad del agua se consideraron las evaluaciones de dos parámetros dentro de ellos se encuentran a los coliformes termotolerantes que conforman el grupo de los coliformes totales, pero se diferencian de estos últimos por la producción indol, su intervalo de temperatura óptima de crecimiento es muy amplio (hasta 45 °C). La presencia de estos microorganismos indica la existencia de contaminación fecal de origen humano o animal, ya que las heces contienen coliformes termotolerantes que están presentes en la microbiota intestinal, siendo *E. coli* la más representativa, con un 90-100 % (Larrea *et al.*, 2013).

Otro de los parámetros que determinan la calidad de agua es la demanda bioquímica de oxígeno. La DBO es una de las pruebas más importantes para conocer la capacidad de contaminación de los cuerpos receptores, y la fuerza contaminante de las aguas negras y los desechos industriales. Se usan para determinar la contaminación biológica del agua, midiendo los requerimientos de oxígeno demandados por una población de microorganismos, tanto en agua tratada como contaminada. También, se utiliza para determinar la eficiencia de un proceso de tratamiento de aguas y para dimensionar las instalaciones para el tratamiento de las mismas (Del Angel, 1994).



Los lodos activados tienen como objetivos principales la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado. Es un tratamiento aeróbico que oxida la materia orgánica a  $\text{CO}_2$ , agua,  $\text{NH}_4^+$  y nueva biomasa (Benavides, 2006). Durante el proceso se aporta oxígeno y se recirculan parte de los lodos del clarificador para mantener una concentración adecuada de biomasa suspendida, para luego pasar a un clarificador secundario donde se produce la separación del biosólido por un lado y del agua depurada por otro (Gandarillas, 2016).

El trabajo de investigación expone la operación y el funcionamiento del bioreactor a escala laboratorio, como instrumento para el tratamiento del agua residual del camal de Azoguini Puno, evaluando los parámetros de DBO y coliformes termotolerantes como indicadores de calidad de agua, sometidos a tratamientos de temperaturas y tiempos de retención para determinar el mejor rendimiento de dichos tratamientos, contribuyendo así al problema de la contaminación ambiental que producen los efluentes de camales.

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la remoción de coliformes termotolerantes y DBO de aguas residuales del camal de Puno mediante la aplicación de un bioreactor de lodos activados.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar la remoción de coliformes termotolerantes postratamiento a diferentes temperaturas y tiempos de retención, haciendo el uso de un bioreactor de lodos activados.
- Determinar y evaluar el parámetro fisicoquímico; demanda bioquímica de oxígeno (DBO) postratamiento, haciendo el uso de un bioreactor de lodos activados.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES

Machado *et al.*, (2016) muestran que la Caracterización de lodos como inoculantes para un reactor anaeróbico para el tratamiento de vinaza, en los análisis que realizó a las muestras de lodos recolectados le permitieron establecer la factibilidad para utilizarlos como biomasa activa en el arranque de un reactor tipo UASB, principalmente por presentar mayores valores de actividad metanogénica específica como también de SSV con respecto a los otros lodos analizados. Por otra parte caracterizó, desde el punto de vista fisicoquímico, diferentes muestras de vinazas, resultando potencialmente aptas para realizar estudios de arranque y estabilización de procesos de biodigestión, ensayos de procesos de granulación y estudios de la degradación propia de ese efluente industrial. Quien consideró necesario realizar adecuaciones del contenido de fósforo para utilizar las vinazas en un reactor tipo UASB de acuerdo a las sugerencias enunciadas en su bibliografía.

Carrasquero *et al.*, (2015) muestra en su investigación titulada Remoción de nutrientes en aguas residuales de un camal de reses usando un reactor biológico secuencial que, al realizar dos tratamientos aplicados al efluente industrial de camal de reses en el reactor por carga secuencial (SBR) permitieron la remoción simultánea de nutrientes y materia orgánica, debido a la flexibilidad del reactor para adaptarse a distintas condiciones de operación, obteniendo para los dos tratamientos aplicados, remociones superiores al 95 % para la DQOT, 69 % para el NT y 29 % para el PT. También mostro que no hubo diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) para la remoción de DQOT durante los dos tratamientos evaluados, por lo cual el TRH no afectó la remoción de estos parámetros. Ocurriendo todo lo contrario con la remoción de NTK, NT y PT, donde sí resultaron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados.

Eraso & Ruiz, (2015) mencionan en su investigación sobre Desarrollo de un reactor de mezcla completa para el estudio de los coeficientes cinéticos en lodos activados en el tratamiento de aguas residuales. Que en cuanto a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, del afluente y el efluente, se observó el efectivo funcionamiento del reactor de lodos activos en cuanto a su tratamiento, resaltando la disminución de parámetros tales como la “demanda bioquímica de oxígeno” y la “demanda química de



oxígeno”, así mismo se resalta el incremento de los parámetros microbiológicos estudiados, en este caso coliformes totales y *Escherichia coli*, y el aumento considerable del “oxígeno disuelto” presente en el ensayo, ya que estos parámetros son de gran importancia en el estudio biológico en tratamientos de aguas residuales.

Cajacuri *et al.*, (2013) en su investigación sobre diversidad microbiológica del lodo anaerobio durante el tratamiento de aguas de producción petroleras venezolanas muestra que la elevada remoción de la materia orgánica medida como DQO obtenida para APP (aguas de producción petrolera) ( $75.77 \pm 7.40\%$ ) indica que la digestión anaerobia mediante el uso de reactores UASB (reactor anaerobio de flujo ascendente), es un tratamiento viable para la disminución de fracciones orgánicas de hidrocarburos, presentes en este tipo de muestras, la eficiencia de remoción para glucosa fue de  $83.86 \pm 4.41\%$ .

Castellanos, (2013) en su investigación sobre el Tratamiento biológico de agua residual del camal frigorífico Santo Domingo en Sicaya – Huánuco. Trabajaron con dos tratamientos y en los cuales obtuvo los siguientes resultados para el tratamiento 1. El pH osciló de 7,6 a 5,0; la temperatura de 18,6 a 25,6; la DBO5 disminuyó significativamente de 1069 a 405 mg/L; y variando conductividad eléctrica de 1085 a 1560  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; mientras que los sólidos totales disueltos oscilaron de 542 a 1091 mg/L; los coliformes totales disminuyeron de 813 000 a 194000 NMP/100 ml mientras que los coliformes termotolerantes se mostraron de 51000 a 5200 NMP/100 ml. Pero para el tratamiento 2. El pH osciló de 7,6 a 4,6; la temperatura de 18,6 a 24,9; la DBO disminuyó de 1069 a 384 mg/L; la conductividad eléctrica varió de 1085 a 2200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; los sólidos totales disueltos oscilaron de 542 a 1540 mg/L; los coliformes totales disminuyeron de 813 000 a 146 000 NMP/100 ml y los coliformes termotolerantes de 51000 a 3100 NMP/100 ml.

Gallegos & Razo, (2010) En su investigación sobre la Competencia por sustrato durante el desarrollo de Biomasa sulfatorreductora a partir de un lodo metanogénico en un reactor UASB. Demostraron que las condiciones de operación impuestas al reactor UASB durante 250 días permitieron el desarrollo de BSR, lo cual se reflejó en los valores de la ASR obtenida con los diferentes sustratos y la producción de sulfuro en el reactor UASB. La relación DQO/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y los diferentes tipos de sustratos fueron determinantes para el desarrollo de las BSR. Sin embargo, el desarrollo de la sulfatorreducción fue gradual y hasta el día 250 predominó el proceso metanogénico, coexistiendo ambos tipos de



microorganismos. De tal forma que bajo las condiciones impuestas en este experimento, las BSR requieren más tiempo para desplazar a los microorganismos metanogénicos u otras especies metabólicas presentes para poder obtener un sistema completamente sulfatorreductor. Los valores de las pruebas de ASR al final de la operación, demostraron que es factible utilizar diferentes sustratos para desarrollar BSR, debido a que en un lodo granular existen diversos grupos bacterianos afines a diferentes sustratos. Finalmente se puede concluir que es posible el desarrollo de una biomasa con actividad sulfatorreductora y la producción de sulfuro durante el tratamiento anaerobio en un reactor UASB a partir de un lodo metanogénico.

Pabón & Suarez, (2009) en su trabajo denominado, Arranque y operación a escala real de un sistema de tratamiento de lodos activos para aguas muestra que, El sistema de lodos activos (reactor y sedimentador) del Frigorífico La Frontera Ltda. Reportaron una eficiencia promedio de 46,4% en DBO y un 40,84% en SS. El tratamiento primario que aportó la mayor eficiencia en promedio en remoción de los parámetros de control de eficiencia (68,92% DBO5 y 80,16% SS) y permitió que las concentraciones de sustrato a tratar sean las adecuadas para la operación del reactor, por lo que se hace necesario que todo sistema de tratamiento para aguas residuales de camal cuente con el diseño y construcción de un eficiente sistema de cribado y sedimentación. El reactor de lodos activos aporta una eficiencia promedio de eficiencia en remoción de DBO5 de 46,4% y de SS de 40,84%, mostrando que es una tecnología viable técnica y ambientalmente para estabilizar la materia orgánica contaminante generada en las industrias de faenado de ganado.

Renola Delgado & Lugo, (2016) en su trabajo de Diseño y construcción de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales por lodos activados y su puesta en marcha para tratar vinazas de una destilería. Diseñaron y construyeron una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales por lodos activados el cual consistió de una unidad modular equipada con todos los accesorios necesarios para tener un manejo versátil, que le permitió tratar una amplia gama de caudales de afluentes residuales. Además de demostrar que el empleo *Candida Utilis* es potencialmente útil en procesos aeróbicos, para el tratamiento de efluentes de alta carga orgánica (DBO y DQO) que les permitió alcanzar una disminución significativa de la DBO y DQO.



Urbina *et al.*, (2006) en su investigación de tratamiento biológico de aguas residuales de residuos de camales en el frigorífico Frontera Ltda. En el cual realizaron un ensayo con tres reactores. Y se evidencia que en el primer reactor muestra buenos resultados con un alto porcentaje de remociones de parámetros medidos con 58.77%, de remoción de DQO. Y 78% de DBO., esto se debió a que en el lodo de este reactor contenía un equilibrio adecuado de la población microbiana, evidenciando por los SSV que registraron un valor por encima de los 4500 mg/l y la variedad de microorganismos se encontraron en este reactor.

Mora *et al.*, (2005) reportan en su investigación sobre el Desarrollo de un inóculo microbiano empleando lodos activados para la remoción de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) mediante biofiltración en el cual encontraron que el lodo de la planta de tratamiento de aguas residuales de una industria productora de bebidas gaseosas (refrescantes) fue una fuente apropiada de bacterias sulfooxidantes capaces de degradar H<sub>2</sub>S. Además estableció una correlación entre la capacidad de oxidación del sustrato que presentaba el inóculo y el pH del mismo, un parámetro que puede medirse fácil y rápidamente, lo que permitió implementar una metodología de seguimiento sencilla y económica. El tiempo de preparación del inóculo no debe ser superior a tres semanas, ya que la capacidad de degradación de los microorganismos tiende a disminuir, lo que requiere hacer una purga y esperar tiempo adicional de alimentación que incrementa los costos de producción. Durante el funcionamiento de un biofiltro se debe garantizar el suministro continuo de aire, pues la falta de oxígeno tiene un efecto negativo en la población microbiana, que se refleja en la caída de la eficiencia de remoción.

Dautan *et al.*, (1988) realizaron dos procesos para estudiar la remoción de DBO, en el primero realizó un ciclo de tratamiento aeróbico, en el segundo se incluyó una fase anóxica. En el primer caso estudió el comportamiento del equipo y sistema de tratamiento y midió la eficiencia de remoción de la DBO. En el segundo proceso se incluyó una etapa anóxica variando la edad del lodo, entre 17 y 100 días, controlándolo a través de la purga diaria de los lodos. En cuanto al sistema de tratamiento que construyó, este fue operando automáticamente durante 9 meses sin observarse fallas en los dispositivos que conforman cada uno de los procesos y pudo realizar eficientemente procesos biológicos con lodos activados usando etapas aeróbicas y anóxicas. El sistema encontró una falla solo cuando el depósito de almacenamiento se vació cuando hubo fallas de corriente eléctrica.



## 2.2 MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. Agua residual

Las aguas residuales son aquellas aguas servidas, fecales o cloacales que se encuentran contaminadas por sustancias fecales y orina procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. (Carrillo, 2014 ; Bolaños, 2016), y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser vertidas a un cuerpo natural de agua y reusadas o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014). Se conoce como agua residual aquella que ha sufrido una alteración en sus características físicas, químicas o biológicas por la introducción de contaminantes como residuos sólidos, biológicos, químicos, municipales, industriales, agrícolas etc., afectando así los ecosistemas acuáticos y su entorno (Castellanos, 2013).

#### 2.2.1.1 Origen de las aguas residuales

Las aguas residuales tienen un origen doméstico, industrial, subterráneo y meteorológico, las aguas residuales domésticas son el resultado de actividades cotidianas de las personas. La cantidad y naturaleza de los vertidos industriales es muy variada, dependiendo del tipo de industria, de la gestión de su consumo de agua y del grado de tratamiento que los vertidos reciben antes de su descarga (Carrillo, 2014).

#### 2.2.1.2. Características del agua residual de camales

Los afluentes que generan los camales contienen cantidades significativas de desecho líquido, emitiendo olores muy desagradables. Todos los efluentes, contienen sangre, estiércol, pelos, huesos, grasas, proteínas y otros contaminantes solubles.

La composición de los afluentes de los camales depende del proceso de producción, de la separación en la descarga de materias como sangre, intestinos y desechos del suelo. Se presenta concentraciones típicas encontradas en efluentes de faena de vacunos y porcinos (Castellanos, 2013).

En un centro de sacrificio animal, durante las actividades diarias se dan sustancias y elementos tales como sangre, grasas y estiércol que en conjunto le dan a las aguas de desecho las siguientes características:

- Elevado contenido de materia orgánica (DBO – DQO) en todos los subproductos y agua de lavado.
- Alto contenido de grasas.

- Presencia de sólidos que se generan durante el lavado (Hernández & Sánchez, 2014)

### 2.2.1.3. Composición de aguas residuales de camales

La composición de los afluentes de los camales depende del proceso de producción, de la separación en la descarga de materias como sangre, intestinos y desechos del suelo. Estas presentan concentraciones típicas encontradas en efluentes de faena de vacunos y porcinos (Castellanos, 2013), Además de poseer una elevada concentración de materia orgánica, tanto disuelta como en suspensión, que fundamentalmente está constituida por proteínas y sus productos de descomposición, como ácidos orgánicos volátiles (AGVs), aminas y otros compuestos orgánicos nitrogenados. Las aguas residuales de camal también tienen una concentración importante de grasas, que pueden interferir gravemente en su tratamiento biológico, así como una concentración variable de productos lignocelulíticos.

Las características de las aguas residuales de camales dependen de los siguientes factores:

- Tipo de animal sacrificado (aves, cerdos, terneros, corderos, conejos, etc.)
- Grado de procesado; en particular de estómagos, rumen e intestinos (tripería) y de la posible elaboración de harinas (rendering-plant). El contenido rumenal por lo general se gestiona como subproducto sólido, sin embargo, por lo general el contenido de los estómagos y las mucosidades intestinales se incorpora a las aguas residuales (Tritt & Schuchardt, 1992)
- Equipamiento de retención de líquidos y sólidos.
- Protocolo de limpieza y uso de agua.

**Tabla 1.** Concentración de contaminantes en afluentes de camales.

Parámetros	Valores Medios	Valores Máximos
DQO (mg/L)	3500	12000
DBO (mg/L)	1200	7000
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L)	700	3000
NTK (mg/L)	300	6000
Aceites Y Grasas (mg/L)	500	1500
PH	6 – 6.5	8 – 8.5

Fuente: (Castellanos, 2013)



Los efluentes generados en el faenamiento vacuno son principalmente aguas de lavado, con contenidos de sangre y algunas partículas gruesas de cueros y huesos: en el caso de procesamiento de cerdos, son aguas calientes con gran cantidad de pelo. Se debe tener muy en cuenta el análisis de las siguientes sustancias: DBO, PH, Sólidos suspendidos, Sólidos sedimentables, Aceites y grasas, Coliformes fecales de animales, Color, Otros.

#### **a) Sólidos**

En las aguas residuales se encuentra todo tipo de sólidos, distinguiéndose entre ellos orgánicos e inorgánicos. Los sólidos orgánicos son sustancias que contienen carbón, hidrógeno y oxígeno, pudiendo alguno de estos elementos combinarse con nitrógeno, azufre o fósforo. Los principales grupos lo conforman las proteínas, los carbohidratos y las grasas, susceptibles todos a ser degradados por medio de bacterias y organismos vivos que son combustibles es decir que pueden ser quemados. Los sólidos inorgánicos son sustancias inertes y no susceptibles a ser degradados, designándose comúnmente como minerales. Dentro de estos se incluye arenas, aceites y sales minerales disueltas (Lara, 2011 ; Industrial, 2008)

#### **b) Gases Disueltos**

Las aguas residuales contienen pequeñas y variadas concentraciones de gases disueltos. Entre los más importantes de estos se encuentran el oxígeno, el cual está presente en el agua en su estado original, así como también disuelto en el aire que está en contacto con la superficie del líquido. Este oxígeno, generalmente denominado oxígeno disuelto, es un factor muy importante en el tratamiento de las aguas residuales ya que puede producir Biogás.

Se encuentra también presente en las aguas residuales otros gases como anhídrido carbónico, resultante de la descomposición de materia orgánica, nitrógeno disuelto de la atmósfera y sulfuro de hidrógeno de compuestos de azufre tanto orgánico como inorgánico (Lara, 2011 ; Gonzales, 2013).

#### **c) Turbiedad**

Es una medida de las propiedades de dispersión de la luz de las aguas. Sirve principalmente para conocer la cantidad de luz que es absorbida o disipada por el material suspendido en el agua.



La turbiedad en el agua se da debido a la desintegración y la erosión de materiales arcillosos, limos o rocas, pero también de residuos industriales, productos de corrosión, así como también por los restos de plantas y microorganismos. La presencia de detergentes y jabones en las aguas residuales causan de igual forma un aumento en la turbiedad del agua.

La medición de la turbiedad se lo realiza por la comparación entre la intensidad de luz dispersa en una muestra por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones.

Los resultados de las mediciones de turbiedad se dan en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) (Gonzales, 2013 ; Lara, 2011).

#### **d) Color**

El color en aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color causado por sólidos suspendidos se denomina color aparente, mientras que el causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero. El color verdadero se obtiene sobre una muestra filtrada. El color de una muestra de agua residual se determina comparando el color de la muestra y el color producido por soluciones de diferente concentración de cloroplatinato de potasio.

Una unidad de color corresponde al color generado por 1 mg/L de platinato. El color de las aguas residuales se debe a la infiltración en sistemas de recolección, descargas industriales y la descomposición de compuestos orgánicos (Lara, 2011).

#### **2.2.1.4. Parámetros fisicoquímicos que determinan la calidad del agua**

Existen varios parámetros fisicoquímicos de importancia que caracterizan a las aguas residuales y cuyos valores se encuentran estrechamente relacionados con el grado de contaminación de la misma. Por esta razón, el cuantificar las concentraciones de estas sustancias es de gran interés en el tratamiento del agua residual (Castellanos, 2013).

##### **a) Materia orgánica**

Esta constituye la tercera parte de los elementos de las aguas residuales, siendo los principales compuestos que se pueden hallar: Proteínas 40-60 % Carbohidratos 25-50 %, Grasas y aceites 10 % (Carrillo, 2014).



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

Es una medida de la cantidad de oxígeno requerido para degradar la materia orgánica de una muestra de agua, por medio de una población microbiana heterogénea. La información obtenida en la prueba corresponde a la materia orgánica biodegradable (León Gil, 2009). La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) determina de la rapidez con que la materia orgánica consume oxígeno por la descomposición bacteriana. Además es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media (tiempo en que descompone la mitad de la cantidad inicial de materia orgánica) del elemento nutritivo (Tamayo, 2004). La DBO se determina con la relación en la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica en un período de incubación generalmente de 5 días a 20 °C (Metcalf & Eddy, 2003).

### **c) Temperatura**

La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente de múltiples usos. La medición de temperatura es de suma importancia debido a que la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura. Es un parámetro muy importante ya que afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos. Cuando la temperatura del agua es baja, el crecimiento y la reproducción de microorganismos son bajos también (Lara, 2011; Gonzales, 2013).

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

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia en aguas naturales como residuales. El agua residual con concentraciones inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos (Metcalf & Eddy., 2003).



#### e) Conductividad eléctrica

Este parámetro nos da la idea global del grado de mineralización de un agua, al tiempo que nos indica, de forma indirecta su contenido iónico. Además, se trata de un parámetro relacionado con la temperatura, así como la naturaleza de los terrenos drenados por la corriente.

Los vertidos industriales incrementan el valor de la conductividad eléctrica. Sin embargo, la mayor parte de los vertidos residuales, al contener sustancias de tipo orgánico que no se pueden disociar lo enmascara. Por lo que, a priori no es fácil calcular la carga de vertidos de una corriente basándonos tan sólo en el valor que ofrece este parámetro (Castellanos, 2013).

#### f) Sólidos totales disueltos

Es la materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0  $\mu\text{m}$  (o más pequeños).

Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Agua para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. Los análisis de sólidos disueltos son también importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamientos biológicos y físicos de aguas residuales (Gomez, 2008).

#### 2.2.1.5. Clasificación de las aguas residuales.

Las aguas residuales se clasifican según su origen y composición. Las aguas residuales por su origen se clasifican en:

**a) Aguas residuales domésticas, urbanas o aguas negras:** Son los vertidos que se generan en los núcleos de la población urbana como consecuencia de las actividades propias de estos. Los aportes que generan estas aguas son aguas negras o fecales, aguas de lavado doméstico, aguas provenientes del sistema de drenaje de calles y avenidas y aguas de lluvia.

**b) Aguas residuales industriales:** son aquellas aguas que proceden de los diferentes procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos



y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal (Carrillo, 2014 ; Castellanos, 2013).

**c) Aguas residuales comerciales:** son aquellas aguas provenientes de los mercados, restaurantes, hoteles.

**d) Aguas residuales agrícolas:** son aquellas aguas procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo.

### 2.2.2. Indicadores microbiológicos de la calidad del agua

Las bacterias coliformes, son organismos indicadores específicos que pueden indicar que esa agua puede estar contaminada con patógenos; su presencia indica contaminación fecal en la fuente de esa agua. La experiencia ha demostrado que la densidad del grupo de los coliformes es un indicador del grado de contaminación y por tanto, de la calidad sanitaria (Madigan, Martinko & Parker, 2006).

Desde hace tiempo, se reconoce que los organismos del grupo coliformes son un buen indicador microbiano de la calidad del agua potable, debido principalmente a que son fáciles de detectar y enumerar en el agua. La presencia de *E. coli* en muestras de agua potable, indica la existencia de fallas en la eficacia de tratamiento de aguas, integridad, sistema de distribución y por tanto es una evidencia de contaminación de diferentes orígenes: suelo, superficies de agua dulce y tracto digestivo (OPS, 1987).

Cabe señalar sin embargo, que aunque se reconoce que la determinación de la concentración de estas bacterias en el agua es un elemento crítico para determinar el riesgo de enfermedades relacionadas al consumo de la misma, no existe una relación simple entre el nivel de coliformes en el agua con la presencia de patógenos en la misma y el riesgo de enfermedades (Castellanos, 2013). Según (Mihelcic, 2013) la clasificación de los parámetros fisicoquímicos se considera según la **Tabla 12**. ANEXOS.

#### a) Coliformes totales

El conjunto coliformes se define como todas las bacterias Gram negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37 °C, produciendo ácido y gas CO<sub>2</sub>. Se consideran aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la B-galactosidasa. Entre ellas



se encuentran los diferentes *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella* (OPS, 1987; Larrea *et al.*, 2013).

#### **b) Coliformes termotolerantes**

Los coliformes fecales también denominados coliformes termotolerantes, llamados así porque soportan temperaturas hasta de 45°C, comprenden un grupo muy reducido de microorganismos los cuales son indicadores de calidad, ya que son de origen fecal. Son Gram negativas capaces de fermentar la lactosa con producción de gas a las 48 h. de incubación a  $44.5 \pm 0.1^\circ\text{C}$ .

En su mayoría están representados por la bacteria *E. coli* pero se pueden encontrar, entre otros menos frecuentes, *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae*, estos últimos hacen parte de los coliformes termotolerantes, pero su origen se asocia normalmente con la vegetación y sólo ocasionalmente aparecen en el intestino (Hayes, 1993 ; Larrea *et al.*, 2013).

Los coliformes fecales integran el grupo de los coliformes totales, pero se diferencian de los demás microorganismos que hacen parte de este grupo, en que su rango de temperatura óptima de crecimiento es muy amplio (hasta 45°C) y son mejores indicadores de higiene en alimentos y en aguas.

La presencia de estos organismos indica presencia de contaminación fecal de origen humano o animal, ya que las heces contienen dichos microorganismos, presentes en la flora intestinal y de ellos entre un 90% y 100% son *E. coli* mientras que en aguas residuales y muestras de agua contaminadas este porcentaje disminuye hasta un 59% (Goez *et al.*, 1999).

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

Es un bacilo corto Gram negativo que se encuentra clasificado dentro de la familia Enterobacteriaceae (bacterias entéricas). Existe como comensal en el intestino delgado de humanos y animales. Sin embargo, hay algunas cepas de *E. coli* patógenas que provocan enfermedades diarreicas. Estas *E. coli* se clasifican con base en las características que presentan sus factores de virulencia únicos, cada vez están más frecuentemente implicados en infecciones cuasi-disentéricas y cuadros febriles y agudos. Estas cepas forman antígeno K, que permite la colonización del intestino delgado y producción de una enterotoxina que es la responsable de los cuadros diarreicos (Madigan *et al.*, 2006).

La temperatura óptima de crecimiento de este microorganismo es de 37°C, con un intervalo de crecimiento de 10 a 40°C. Su pH óptimo de crecimiento es de 7,0 a 7,5 con un pH mínimo de crecimiento de valor de 4,0 y un pH máximo de crecimiento de valor de 8,5. Este microorganismo es relativamente termosensible y puede ser destruido con facilidad a temperaturas de pasteurización y también mediante la apropiada cocción de los alimentos (Eraso & Ruiz , 2015).

### 2.2.3. Tratamientos de aguas residuales

En el tratamiento de las aguas residuales es un proceso que se compone de múltiples etapas de carácter físico y biológico independientes que se emplean para reducir la contaminación fecal y química del agua. Cada nivel de tratamiento emplea tecnologías más complejas y caras. Existen varios procesos que se pueden clasificar en: pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario (Madigan *et al.*, 2006).

**Tabla 2.** Proceso de tratamientos de aguas residuales.

Tratamiento	Características
Pre tratamiento	Consiste en eliminar elementos físicos inertes que pueden perjudicar el proceso del tratamiento posterior.
Tratamiento Primario	Consiste solamente en separaciones físicas. El líquido resultante se deja que se asiente durante unas horas para permitir la sedimentación de sólidos.
Tratamiento Secundario	Se usan comúnmente los filtros trampa y el fango activado. El líquido pasa lentamente a través del lecho y la materia orgánica se adhiere a las rocas, en cuya superficie tiene lugar el crecimiento microbiano. El agua que se va ser tratada es mezclada y aireada en un gran tanque. El agua residual normalmente se mantiene entre 5 y 10 h, en el tanque de fango, tiempo insuficiente para la completa oxidación de la materia orgánica.
Tratamiento Terciario	Es el método más completo para el tratamiento de aguas residuales aunque, debido a lo caro que resulta, su aplicación no ha sido ampliamente adoptada. Este tratamiento consiste en una serie de procesos físico químicos en que los incluyen precipitaciones, filtraciones y cloraciones en procesos muy similares a los seguidos para la potabilización del agua potable. Esta agua es tan escasa en nutrientes que no se apta para soportar el crecimiento microbiano.

Fuente: (Madigan *et al.*, 2006)



### **1. Tratamiento primario**

Consiste en la separación por medios físicos de las partículas en suspensión que no hayan podido ser retenidas en la fase de pretratamiento. Esta fase es muy poco efectiva en cuanto a eliminación de materia orgánica se refiere. Los procesos pertenecientes a esta fase son: sedimentación primaria, flotación, coagulación-floculación, neutralización y homogeneización (Jimenez, 2014).

### **2. Tratamiento secundario anaerobio de las aguas residuales**

El tratamiento secundario anaeróbico de las aguas residuales les recoge una serie de reacciones digestivas y fermentativas llevadas a cabo por bacterias y es empleado generalmente para tratar aguas con gran contenido de materia orgánica (y por tanto, con una DBO alta), tales como aguas provenientes de fábrica de fibras, celulosa, alimento o leche. La degradación anóxica se lleva a cabo en grandes tanques cerrados llamados digestores de lodos o bioreactores y requiere de la cooperación de muchos tipos diferentes de microorganismos que a través de la acción de estos mismos, los componentes macromoleculares son primero digeridos por polisacarosas, proteasas y lipasas rindiendo componentes solubles (Madigan *et al.*, 2006).

### **3. Procesos biológicos anaeróbicos**

El tratamiento anaerobio es un proceso biológico ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Cuando estas tienen una alta carga orgánica, se presenta como única alternativa frente al que sería un costoso tratamiento aerobio, debido al suministro de oxígeno. El tratamiento anaeróbico se caracteriza por la producción del denominado "biogás", formado fundamentalmente por metano (60-80%) y dióxido de carbono (20-40%) y susceptible de ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica. Además, solo una pequeña parte de la DQO tratada (5-10%) se utiliza para formar nuevas bacterias, frente al 50-70% de un proceso aerobio (Castellanos, 2013).

#### **Enzimas Biodigestoras BST**

Producto biológico denominado Enzimas Biodigestoras de Residuos "BST", estas contienen, enzimas y bacterias seleccionadas los tipos de enzimas que poseen son: grupos de amilasas, proteasas, celulasas y lipasas, en tanto a las bacterias, poseen grupos de micro-organismos seleccionados, no-patógenos, no-tóxicos, benéficos tanto aeróbicos como anaeróbicos, además de otros componentes como estabilizadores, preservantes, activadores y cofactores, es un producto 100% natural y no-manipulado genéticamente completamente amigable con el medio ambiente



este producto es reconocido como seguro en los EEUU como GRAS y por la AAFCO sin dañar ningún ser vivo como personas, animales, plantas, peces, larvas, etc. Producto no-corrosivo, seguro para todo tipo de instalaciones y materiales el modo de presentación es granular y micro-encapsulado (Tipo leche en polvo) la concentración que posee son más de 2 billones de UFC/gr. El tiempo de vigencia del producto es más de 2 años de fácil empleo, basta con mezclar con agua y aplicar las dosis sugeridas, con el beneficio de ser empleado en agua dulce o salada, siendo ideal para tratamientos de Bioaumentación y Bioremediación avanzados (BOSS-TECH, 2019).

#### **4. Lodos activados**

Es el proceso aerobio de crecimiento en suspensión, o más comúnmente conocido como lodos activados, fue desarrollado en Inglaterra por E. Arden y W. T. Lockett en 1914. y era llamado originalmente en ese entonces como proceso convencional de lodos activados (Arcos & Fernandez, 1993), Ellos observaron que al proveer de aire al agua residual se conducía al apareamiento de flóculos, los cuales al ser retenidos en el sistema contribuían a la eliminación de compuestos orgánicos en un menor periodo de tiempo (Carrillo, 2014).

El desarrollo del proceso de los lodos activados ha marcado un progreso importante en el tratamiento secundario de las aguas negras. Este es un proceso biológico de contacto, en el que los organismos vivos aerobios y los sólidos orgánicos de las aguas negras, se mezclan íntimamente en un medio ambiente favorable para la descomposición aeróbica de sólidos (Giraldo & Restrepo, 2003). Los lodos activados se desarrollan inicialmente por la aireación prolongada bajo ciertas condiciones que favorecen el crecimiento de los organismos que tienen la habilidad de oxidar la materia orgánica. La materia orgánica degradable, que se encuentra en el agua residual, se estabiliza por la acción de las bacterias, que utilizan esa materia a manera de alimento, ya que de ella obtienen la energía que requieren para mantenerse vivas y reproducirse (Carrillo, 2014).

El sistema está conformado por las siguientes unidades internas.

##### **a) Cámara de sedimentación primaria.**

Esta cámara recibe el efluente crudo, la materia en suspensión se sedimenta y se produce un primer tratamiento anaeróbico de la carga orgánica, así como la digestión de parte de los barros generados en la etapa aeróbica, aquí se tratan los sólidos gruesos (papeles y algodones así como también la orina).



#### **b) Sistema de aireación.**

Este es alimentado por soplador, dispersa el aire en el fondo de la cámara de aireación por medio de una serie de difusores de alto rendimiento y están diseñados de tal manera que son inconstruibles, impidiendo el retorno del líquido por la cañería al cesar el flujo de aire. En esta etapa se eliminan todos los elementos que provocan olores y también las grasas y detergentes.

#### **c) Cámara de sedimentación secundaria.**

Proceso que está asociado a los tratamientos biológicos o secundarios.

#### **d) Cámara de cloración.**

Esta etapa implica la eliminación de todo tipo de contaminación bacteriana a través de incorporación de cloro a demanda. Se prevé un mínimo de contacto del líquido con el cloro de 30 minutos.

**e) Filtro UVC.** El filtro UV es un equipo que tiene adentro de tubo de luz ultravioleta el cual está en contacto con el agua del estanque. La función de este filtro es eliminar las algas unicelulares (agua verde), algas microscópicas que no capture el filtro mecánico, parásitos, hongos, bacterias y virus (Carrillo, 2014).

#### **Tipos de lodos**

- **Convencional.** Este proceso se caracteriza por operar con régimen de flujo pistón. Este proceso consiste de un tanque de aireación, un sedimentador secundario y una recirculación del lodo. El sistema de aireación puede estar constituido por difusores o aireadores mecánicos, obteniéndose eficiencia en la remoción de DBO5 entre el 85% y 95% para un tiempo de retención hidráulico que varía de 4 a 8 horas. Este proceso es sensible a sobrecargas (Carrillo, 2014). Los lodos activados se recirculan en una proporción que mantengan un contenido de sólidos de 1000 a 2500 ppm en el licor mixto. El índice de lodos y su edad, según se determinen para cada planta, caerán respectivamente dentro de los límites de 100 a 200 y de 3 a 4 días. Se puede esperar una eficiencia global de la planta de 80 - 95%. (Giraldo & Restrepo, 2003).
- **Mezcla Completa.** Este proceso consiste básicamente en una mezcla completa entre las bacterias y agua residual en un tanque de aireación de micro burbuja. A medida que la población de microorganismos aumenta, se agrupan y forman flóculos para producir una masa activa llamada lodo activado que sedimentara en la unidad subsiguiente del sistema. Este tipo de tratamiento es el más comúnmente utilizado a nivel mundial para tratar aguas residuales de ciudades de población



media, además de ser uno de los procesos más estudiados y seguros con el cual es posible lograr eficiencias en la remoción de los contaminantes entre 85% y 95% para un tiempo de retención hidráulico de 3 a 5 horas (Carrillo, 2014).

- **Lodos de Aireación Prolongada o Extendida.** Conocido también como Oxidación Total, en este tipo de lodos activados el tiempo de retención hidráulico varía de 18 a 36 horas. Este período de aireación permite que las aguas residuales y lodo sean parcialmente digeridos en el tanque aireador permitiendo su disposición sin ser necesaria una gran capacidad de digestión. Es posible lograr eficiencias en la remoción de los contaminantes entre el 90% y 95% para un tiempo de retención hidráulico superior a 8 horas (Carrillo, 2014). Requiriendo aireación prolongada, por lo que se utiliza con descargas pequeñas y el volumen del reactor es comparativamente mayor que el requerido en el proceso convencional de lodos activados (Giraldo & Restrepo, 2003).
- **Parámetros de diseño y operación de un sistema de lodos activados**
  - a) **Edad de los lodos: ( $\theta_c$ ),** es el parámetro de diseño y operación más ampliamente utilizado en la actualidad. Desde el punto de vista hidráulico, la edad de los lodos, es el tiempo promedio que permanece en el reactor una partícula de lodo biológico.
  - b) **Índice volumétrico de lodos: (IVL),** es un importante parámetro de operación del reactor, y de diseño del sedimentador secundario. Mide la asentabilidad de los lodos, la cual es variable. La forma estándar de medirlo es permitiendo el asentamiento del licor mixto durante 30 minutos, en un cilindro graduado de 1000 ml.
  - c) **Coefficiente de retorno:** Es la relación que existe entre el caudal de retorno de lodos del sedimentador secundario y el caudal neto de aguas residuales a tratar.
  - d) **Tiempo de detención:** Es la relación del volumen del aireador o reactor y el caudal influente neto, sin recirculación.
  - e) **Sólidos Suspendidos en el licor mixto (SSLM):** Representa la cantidad de microorganismos en el tanque de aireación, medidos como masa. Es un parámetro importante, ya que de él depende en gran medida la purga de lodos (Giraldo & Restrepo, 2003).



### 2.2.3.1. Composición de los flóculos de lodos activados

Los flóculos contienen células bacterianas y partículas orgánicas e inorgánicas. El tamaño de los flóculos varía de 1  $\mu$  hasta 1000  $\mu$  y más. Las células viables en el flóculo (medidas por el contenido de ATP y la actividad enzimática de la deshidrogenasa) son del 5 al 20 % del total de las células (Moeller & Tomasini, 2015).

#### a) Bacterias

Son los constituyentes más abundantes del flóculo, existen más de 300 especies reportadas que han sido aisladas del licor mezclado. Las bacterias son las responsables de la oxidación de la materia orgánica y de la transformación de los nutrientes, producen polisacáridos y materiales poliméricos que ayudan en la floculación de la biomasa microbiana. Los principales géneros son:

*Zooglea*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Achromobacter*, *Corynebacterium*, *Comomonas*, *Brevibacterium*, *Acinetobacter*, organismos filamentosos (*Sphaerotilus*, *Beggiatoa*), bacterias autotróficas nitrificantes (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*), bacterias sulfurosas fototróficas (*Rhodospirillaceae*) (Moeller & Tomasini, 2015).

#### b) Hongos

En general, las condiciones que prevalecen en un sistema de lodos activados, no favorecen el crecimiento de hongos, sin embargo, en algunas ocasiones se observan algunos filamentos fungales. Este crecimiento fungal puede favorecerse en condiciones de pH bajo, toxicidad y efluentes con deficiencia de nitrógeno. Algunos géneros encontrados son los siguientes: *Geotrichium*, *Penicillium*, *Cephalosporium*, *Cladosporium*, *Alternaria* (Moeller & Tomasini, 2015).

#### c) Protozoarios

Los protozoarios son organismos pertenecientes al reino Protista y que son predadores de bacterias. Los principales grupos son los siguientes:

##### 1. Ciliados

Su medio de locomoción son los cilios y por el movimiento de éstos se hacen llegar el alimento. Se clasifican en libres, trepadores y anclados. Los principales géneros son:



- Ciliados libres: *Chilodonella*, *Colpidium*, *Blepharisma*, *Euplotes*, *Paramecium*, *Leonotus*, *Trachelophylum*, *Spirostomum*.
  - Ciliados trepadores: *Aspidisca Euplotes*
  - Ciliados anclados: *Vorticella*, *Corchesium*, *Opercularia*. *Epystilis*
2. Flagelados
- Su medio de locomoción es mediante uno o varios flagelos. Algunos ejemplos de protozoarios flagelados son: *Bodo*, *Pleuromonas* y *Monosiga*
3. Rhizopoda o Amiboidea
- Su movimiento es por medio de pseudópodos o falsos pies, ejemplos: *Amoeba* y *Thecamoeba*
- d) Rotíferos**
- Los rotíferos son organismos multicelulares. Su tamaño fluctúa entre las 100 y 500 micras (Moeller & Tomasini, 2015). Los rotíferos presentes en lodos activados pertenecen a dos órdenes principales:
- Bdelloidea (*Philodina* y *Habrotocha*)
  - Monogononta (*Lecane* y *Notomata*)

#### 2.2.4. Normatividad

##### 2.2.4.1. Reglamento de la ley de recursos hídricos

Según el **capítulo VI sobre el vertimiento de aguas residuales tratadas**

**Artículo 131°.** Aguas residuales y vertimientos

**a.** Aguas residuales, aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades por actividades antropogénicas, tengan que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas y que por sus características de calidad requieren de un tratamiento previo (ANA, 2017).

**Artículo 132°.** Aguas residuales domésticas y municipales

**132.2.** Las aguas municipales son aquellas aguas residuales domesticas que puedan incluir la mezcla con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (ANA, 2017).

**Artículo 133°** Condiciones para autorizar el vertimiento de aguas residuales tratadas.



**133.1.** La Autoridad Nacional del Agua podrá autorizar el vertimiento de las aguas residuales tratadas únicamente cuando:

- a. Las aguas residuales sean sometidas a un tratamiento previo, que permitan en el cumplimiento de los límites máximos permisibles – LMP.
- b. No se trasgreden los estándares nacionales de calidad ambiental para agua, ECA- agua en el cuerpo receptor, según las disposiciones que dicte el ministerio del ambiente para su implementación (ANA, 2017).

#### **2.2.4.2. Límites máximos permisibles para plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales**

Decreto supremo N° 003-2010-MINAM

Según el Ministerio del Ambiente MINAM, 2010, se aprueba: los Límites Máximos Permisibles (LMP) para plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Teniendo como objetivo en su Artículo 1°.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales domésticas o municipales, aprobar los límites máximos permisibles para efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente decreto supremo y que son aplicables en el ámbito nacional (MINAM, 2010).

Artículo 2°.- Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales domésticas o municipales.

- **Límite Máximo Permisible (LMP).**- Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental (MINAM, 2010).

**Tabla 3.** Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR.

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/10 0 mL	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

Fuente. (MINAM, 2010).

### 2.2.4.3. Límites máximos permisibles para aguas residuales de camales y centros de beneficio.

Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2009), se aprueba: los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes provenientes de actividades agroindustriales tales como plantas de camales y plantas de beneficios. Teniendo como objetivo en su Artículo 1°. Establecer los límites máximos permisibles (LMP) para efluentes provenientes de las actividades agroindustriales tales como plantas de camales y plantas de beneficio, con el objetivo de minimizar los efectos negativos en el ambiente, principalmente, la contaminación de los cuerpos receptores como ríos, lagos, mares, campos, así como los riesgos a la salud. El presente decreto supremo es aplicable a todas industrias con actividades agroindustriales que se ejercen en el territorio del país.

**Tabla 4.** Límites máximos permisibles para efluentes de camales y centros de beneficio.

PARÁMETROS	UNIDAD	LMP	Método de ensayo
<b>generales</b>			
pH	--	6 – 9	APHA 4500-H+ - B, Págs.. 4-90 a 4-94, 21.a edición.2005
Sólidos suspendidos Totales	mg/L	300	APHA 2540-D, Págs.. 2-58 a 2-59, 21.a edición.2005
<b>Orgánicos</b>			
DBO	mg/L	250	APHA-AWWA-WEF-5210 B, ED. 21 TH.2005
DQO	mg/L	500	EPA 410.2.1999
<b>Inorgánicos</b>			
Fosforo total	mg/L		Standard methods for the examination of water and wastewater, 21° Edition SM 4500-P-E. 2005
Nitrógeno total	mg/L	5	Standard Methods for the Examination of water and wastewater, Ed. 21 cap. 4500 B B. 2005

Fuente. (MINAM, 2009).



#### **2.2.4.4. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias.**

Decreto supremo N° 004-2017. MINAM

Decreta:

Según el Ministerio del Ambiente MINAM-2017, se aprueba: los Límites Máximos Permisibles (LMP) para cuerpos de agua. Teniendo como objetivo en su Artículo 2°.- Aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

##### **Artículo 1.- Objeto de la norma**

La norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos (MINAM), 2017).

##### **Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua**

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

##### **Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua**

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

##### **3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional**

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable. Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

##### **- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección**

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

##### **- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación,



y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente (MINAM), 2017).

**- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, microfiltración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

**b) Subcategoría B:** Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

**- B1. Contacto primario**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

**- B2. Contacto secundario**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

**3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales**

**a) Subcategoría C1:** Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

**b) Subcategoría C2:** Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras



Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

**c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

**d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

### **3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**

#### **a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

##### **- Agua para riego no restringido**

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

##### **- Agua para riego restringido**

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados

y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).



#### **b) Subcategoría D2: Bebida de animales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno, equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

### **3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

#### **a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

#### **b) Subcategoría E2: Ríos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

##### **- Ríos de la costa y sierra**

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

##### **- Ríos de la selva**

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

#### **c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos**

##### **- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

##### **- Marinos**

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precísese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

**Tabla 5.** Parámetros para el Riego de vegetales y bebidas de animales categoría: 3

<b>PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA DE ANIMALES</b>				
<b>Parámetros</b>	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>Fisicoquímicos</b>				
Aceites y grasas	mg/L		5	10
Conductividad	(uS/cm)		2500	5000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L		15	15
Demanda química de oxígeno	Mg/L		40	40
pH	Unidad de pH		6.5 – 8.5	6.5 – 8.4
<b>Microbiológicos y parasitológico</b>				
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1000	2000	
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	100	**	**
Huevos de helmintos	Huevos/litro	1	1	**

Fuente: (MINAM, 2017).



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

La recolección de muestras se realizó de las instalaciones del Camal de Azoguini, ubicado al noroeste de la ciudad de Puno, con las siguientes coordenadas UTM. 15°49'53"S 70°02'16"W. La temperatura del lugar de estudio fluctuó de 3 a 20 °C, la cantidad de diaria de beneficio es 18-20 cabezas de ganado vacuno, generando un volumen aproximado de 8000 l/día de aguas residuales rojas como efluentes, y que estas pasan por cribas separadoras de materiales y sólidos mayores a un estanque retenedor de 1.5m por 2m aproximadamente el cual se redirige a un estanque acumulador final de 3,5m por 3,5 m y 4 m de diámetro por medio de una bomba de agua.

#### 3.2. Población y muestra

La población en estudio fueron las aguas residuales crudas del efluente del camal de Azoguini Puno, y en el agua residual tratada mediante el uso de un bioreactor de lodos activados.

#### 3.3. Tipo de investigación

La investigación fue del tipo experimental y analítico, ya que se determinó la reducción de los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual, antes y después del uso del bioreactor, el cual fue sometido a diferentes tratamientos como los tiempos de retención celular y las temperaturas.

##### 3.3.1. Frecuencia de muestreo

El muestreo del agua residual se realizó mediante el uso de un bidón de 30 litros aproximadamente, limpiado asépticamente y teniendo en cuenta del uso de implementos de bioseguridad. Las frecuencias de muestreo que se consideraron fueron las siguientes; cada día durante una semana esto con el fin de realizar las tres repeticiones para el tiempo de retención celular de 11.7 horas, cada semana durante un mes para el tratamiento de tiempo de retención de 120 horas, y cada dos semanas durante el último mes de estudio para el tiempo esto para el tiempo de retención celular de 240 horas, los cuales fueron utilizados para este proyecto de investigación.

**Tabla 6.** Frecuencia de muestreo de aguas residuales del camal de Azoguini Puno, 2019.

Meses	Semanas	Muestreo	Cantidad en litros
Agosto	1	Diario 5/días	20 L
	2	01/semana	20 L
	3	01/semana	20 L
	4	01/semana	20 L
Setiembre	5	01/semana	20 L
	6	01/semana	20 L
	7	01/dos semanas	20 L
	8		
Octubre	9	01/dos semanas	20 L
	10		
	11	01/dos semanas	20 L
	12		

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2. Descripción de equipos y materiales

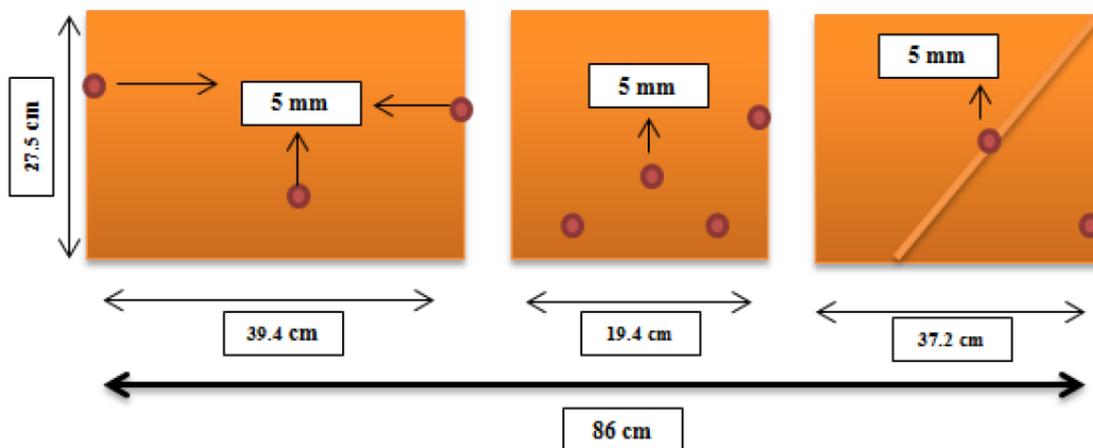
#### Diseño y construcción

Para el diseño del bioreactor se consideró el propuesto por Carrillo, (2014) quien ajustó e hizo los cálculos del tamaño del reactor para tratar aproximadamente 20 litros de agua residual. Para el estudio de este proyecto se mandó a fabricar el bioreactor según las especificaciones y medidas dadas en su investigación por dicho autor.

El bioreactor consistió en un tanque hecho de vidrio de 86 cm de largo, 19cm de ancho y 27.5 cm de alto, con un volumen útil aproximado de 27.8 L, dividido en tres compartimientos, uno que corresponde a la cámara anaeróbica, el segundo compartimiento al tanque de aeración cámara aeróbica y el tercero al sedimentador con volúmenes de 15.78 -7.7 y 4.4 litros respectivamente, dichas unidades se comunicaron a través de orificios de 5 mm de diámetro, ubicados en la parte superior de los tabiques,

existiendo por parte media salidas con una manguera que permite la extracción de muestras para su análisis.

El suministro del aire se realizó por medio de difusores porosos, utilizando dos aireadores de 60 Hz marca SEBO® Aquarium Filter, AC 220-240v, 50/60HZ POWER FMAX :800 L/H, colocados dentro del segundo compartimiento del reactor, además se usó un termostato metálico de 100W marca MINJIAN Aquarium Heater, Modelo MJ-HB100W. Para acondicionar la temperatura de la cámara aeróbica del reactor, también se usaron Tiras de pH marca PANPEHA® Multi-colour special and universal indicator paper pH range 0-14.



**Figura 1.** Diseño estructural del bioreactor de lodos activados.

Fuente: Carrillo, (2014)

### **Puesta en marcha del bioreactor**

Se realizó la instalación y puesta en marcha del bioreactor de lodos activados en el Laboratorio de Biotecnología de la FCCBB de la UNA-Puno, con un volumen de 20 litros, el efluente que le alimentó el bioreactor con agua residual cruda es colectada en un tanque de plástico de una capacidad de 30 litros aproximadamente que alimentó al sistema por gravedad controlando su caudal por medio de unas llaves.

Después de haber llenado el tanque del tratamiento anaeróbico en un lapso de tiempo de 24 horas (tiempo de retención hidráulica), el agua se pasó a la cámara de aireación en donde permaneció aireándose con los difusores de oxígeno, teniendo en cuenta el tiempo de retención hidráulica a utilizar en el estudio. Seguidamente el agua fue pasada a la cuba



de sedimentación donde el agua residual permaneció en reposo para sedimentar los sólidos formados en el reactor aeróbico.

Posteriormente a ello el agua tratada fue depositada en un recipiente de plástico, para ser analizada, los parámetros a analizar fueron: Demanda Bioquímica de Oxígeno y coliformes termotolerantes.

## **1. Determinación de coliformes totales y termotolerantes**

### **Técnica del número más probable o tubo múltiple (NMP)**

Para la determinación de coliformes totales y termotolerantes se usó la técnica del tubo múltiple o número más probable.

#### **Procedimiento**

##### **a) Pruebas presuntivas.**

#### **Determinación de coliformes totales**

Para determinar cuantitativamente en las muestras de agua la presencia de bacterias pertenecientes al grupo coliformes totales, representados por los géneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Citrobacter*, se utilizó la técnica modificada de diluciones de tubos múltiples (NMP).

Se utilizó series que constan de 5 diluciones: 10.0 ml, 1.0 ml, 0.1 ml, 3 0.01 ml y 0.001 ml. Por cada dilución se usó 5 tubos de ensayo de ensayos de 18 x 180mm con campanas de Durham. .

Para las cinco diluciones, primero se usó 90 ml del diluyente (agua estéril) en un matraz de 100 ml estéril inoculándose 10 ml de muestra, teniendo así la primera dilución 10

Las tres últimas diluciones hechas anteriormente se sembraron individualmente en tres series de 5 tubos de ensayo que contenían caldo lactosado estéril más Rojo fenol como indicador de pH y en el interior de cada tubo además se depositó una campana Durham, para detectar la producción de gases. La primea serie de 5 tubos, cada uno contiene 9ml de caldo lactosado concentrado, se inocula en forma independiente con la dilución 0.1 ml de la muestra de agua. La segunda serie de 5 tubos, cada uno de ellos contiene 9 ml de caldo lactosado diluido (concentración simple), se inocula en forma independiente con 0.01 ml de la muestra de agua y la tercera serie de 5 tubos, cada uno



de ellos contiene 9 ml de caldo lactosado diluido, se siembra en forma independiente con 0.001 ml de la muestra de agua. Una vez sembrados los tubos se incubaron a 37° C por 24 horas. En un estufa marca ECOCELL.

Se tomaron como positivos los tubos que presentan un cambio de color de rojo a amarillo y que a la vez presentaron gas en la campana Durham. Terminado el periodo de incubación se registraron los tubos positivos de cada serie para conformar una cifra de tres dígitos, el cual se confronta con la tabla del número más probable **Tabla 4. Anexo.** y se determina así el número de coliformes totales que se encuentra por cada 100 ml de agua analizada (Vonjohnn, 2006; Cázares & Alcántara, 2014).

#### **b) Prueba confirmativa**

##### **Determinación de coliformes termotolerantes.**

A partir de los tubos positivos de la prueba presuntiva se inocularon con dos series de tubos con caldo bilis lactosa verde brillante (BLVB) marca HIMEDIA.

Para determinar coliformes totales se incubaron una serie de tubos a 37°C y fueron examinados a las 48 horas para ver si hubo producción de gas.

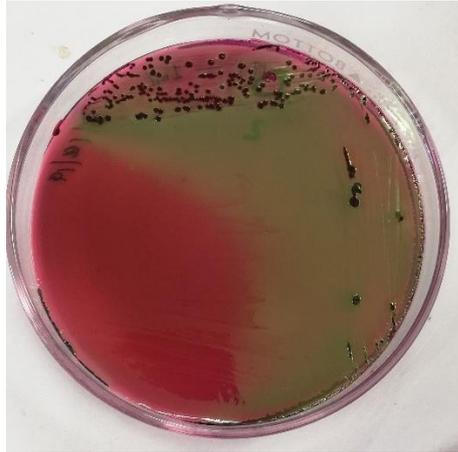
Para confirmar la presencia de organismos coliformes termotolerantes, se incubo otra serie de tobos a 44°C durante 48 horas para ver si hubo producción de gas.

Para confirmar la presencia de *Escherichia coli* presuntiva, a partir de caldo lactosado bilis verde brillante se inocularon los tubos con agua de triptona necesarios. Se incubaron a 44.5°C durante 24 horas. Después se añadió de 0.2 a 0.3mL de Reactivo de Kovac's Indole marca (CDH)<sup>®</sup>, mostrando desarrollando un anillo de color rojo luego de haber agitado suavemente indicando la presencia de indol.

La detección de *Escherichia coli* presuntiva considero una evidencia satisfactoria de contaminación fecal. Sin embargo, se efectuó mayores pruebas para su confirmación.

#### **c) Prueba completa**

De los tubos positivos de Caldo Lactosa Verde Brillante Bilis (BLVB) confirmativa, se sembró por estría cruzada una placa de agar Eosina Azul de Metileno (EMB) marca HIMEDIA.



**Figura 2.** *Escherichia coli* aislada en el medio de cultivo agar EMB en el laboratorio de Botánica y Biotecnología de la FCCBB. UNA-Puno, Octubre 2019.

A partir de la colonia aislada se sembró en tubos conteniendo los siguientes medios:

#### **Prueba en Agar hierro tres azúcares (TSI)**

Se usó para determinar si la bacteria fermenta alguno de los tres azúcares que están presentes en este medio (glucosa, lactosa y sacarosa ) (Koneman *et al.*, 2008).

Procedimiento.

Con una aguja bacteriológica se tomó la muestra de la colonia de bacteria a identificar y se sembró en el medio de cultivo inclinado, se realizó un piquete hasta el fondo el medio y luego estría en la superficie, luego se llevó a incubación por 24 horas a 37°C. Pasando este tiempo se observó si las reacciones bioquímicas por el viraje del color del medio de rojo a amarillo y la producción de ácido sulfúrico por un viraje a negro

#### **Prueba de Agar lisina hierro agar (LIA)**

Se usó para determinar si la bacteria descarboxila o desamina la lisina y forma ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>S) (Bailey & Scott, 2003).

Procedimiento.

Se tomó con la aguja bacteriológica la muestra de colonia a identificar y se sembró realizando 3 piquetes hasta el fondo inclinado del agar y luego estría simple en la superficie, luego se llevó a incubación por 24 horas a 37°C, pasando este tiempo se observó las reacciones bioquímicas en el medio por el viraje de color del medio de violeta a amarillo o lila intenso.

#### **Prueba del Citrato**

Este medio permite observar si la bacteria es capaz de utilizar el citrato como única fuente de energía y carbono (Koneman *et al.*, 2008).



Procedimiento.

Se tomó nuevamente con la aguja bacteriológica la muestra de colonia y se sembró sobre la superficie del medio inclinado por método de estría simple, luego se llevó a incubación por 24 horas a 37°C, pasado este tiempo se observó la reacción bioquímica en caso de ser positiva el medio se torna azul y negativa mantiene su color verde original.

### **Prueba del SIM (Hidrógeno sulfurado, Indol, Movilidad)**

Este medio se usa más que todo para observar si las bacterias producen el indol mediante la degradación del tryptofano, ver la movilidad y en ocasiones la producción de hidrógeno sulfurado (Bailey & Scott, 2003).

Procedimiento.

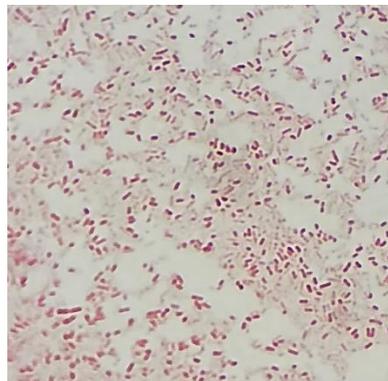
Se tomó la muestra de bacteria con la aguja bacteriológica y se sembró en el medio realizando una punzada hasta la tres cuartas partes del medio y se llevó a incubación por 24 horas a 37°C, pasado este tiempo se le incorporo el reactivo de Kovac's para observar la presencia del indol, formándose un anillo rosado indicando como positivo, también se pudo observar la movilidad y la presencia de hidrógeno sulfurado si este se tornara negro.

### **Tinción Gram**

Los principios de la tinción de Gram están basados en las características de la pared celular de las bacterias, la cual le confiere propiedades determinantes a cada microorganismo. La pared celular de las bacterias Gram negativas está constituida por una capa fina de peptidoglicano y una membrana celular externa, mientras que las bacterias Gram positivas poseen una pared celular gruesa constituida por peptidoglicano, pero no cuentan con membrana celular externa; así pues, la composición química y el contenido de peptidoglicano en la pared celular de las bacterias Gram negativas y Gram positivas explica y determina las características tintoriales (López *et al.*, 2014).

La técnica de coloración de Gram es de gran utilidad en Bacteriología, ya que permite diferenciar las bacterias en Gram positivas y Gram negativas. Casi la mitad de las bacterias, son Gram positivas y el resto Gram negativas (Castañeda, 2003 ; López *et al.*, 2014).

Se preparó 3 extensiones con una gota agua destilada estéril sobre una lámina porta objetos y se añadió una colonia aislada con un asa de siembra bacteriana realizándose así el extendido, se dejó secar a temperatura ambiente. Terminado el proceso se cubrió la extensión con cristal violeta dejándolo actuar durante un minuto luego se lavó con agua corriente, cuidando que no se arrastre la preparación sacudiéndolo para eliminar el exceso de agua, para luego cubrir la extensión con solución de lugol se dejó actuar por un minuto. Lavar con agua corriente. Decolorar con alcohol al 95 o 96%, aproximadamente 10 segundos o hasta que se haya observado el alcohol transparente. Lavar con agua corriente luego se cubrió la extensión con safranina y dejar actuar por 1 minuto. Lavar finalmente con agua corriente y dejar secar la preparación al aire o colocándola entre 2 capas de papel absorbente (Castañeda, 2003 ; López *et al.*, 2014).



**Figura 3.** Microfotografía de coloración gram de *Escherichia coli*, bacilos cortos gram negativos observadas en el microscopio con un aumento de 100X, en el Laboratorio de Botánica y Biotecnología de la FCCBB.. UNA-Puno, Octubre 2019.

## 2. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

### Fundamento

Esta prueba determina los requerimientos relativos de oxígeno de aguas residuales, efluentes y aguas contaminadas, para su degradación biológica. Expresa el grado de contaminación de un agua residual por materia orgánica degradable y por oxidación biológica (Fernandez & Curt 1999).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es un método empírico en el cual su procedimiento es usado para determinar la cantidad de oxígeno relativo en aguas naturales, efluentes domésticos e industriales (Rodríguez *et al.*, 2019).

El test de DBO es empleado para determinar los niveles de contaminación, evaluar cargas contaminantes y para evaluar la eficiencia de un determinado sistema de tratamiento.



## Materiales y equipos

Incubadora capaz de mantener una temperatura de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , Bureta automática, Agitador magnético, Botellas DBO (preferiblemente de color ámbar), Balones aforados de 1 l, Pipetas de 20, 10, 5, 2 y 1 ml, Pipetas automáticas de 2 ml, Vasos de precipitado, Matraces Erlenmeyer, Varilla de vidrio.

### Procedimiento

- a) **Preparación de agua de dilución:** Se transfirió el volumen de agua necesario a un recipiente de tamaño. Se agregó por cada litro de agua, 1 ml de cada una de las soluciones siguientes: solución tampón de fosfato,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$  y  $\text{FeCl}_3$ . Se saturó la solución con oxígeno mediante agitación o por aireación. Asegurar que la concentración de oxígeno disuelto sea como al menos  $7.5 \text{ mg/L}$ , recomendando que se sitúe entre  $8,0$  y  $9,0 \text{ mg/L}$  antes de utilizar el agua para ensayos de DBO. Se mezcló bien y se llevó a una temperatura de  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ . Preparar el agua de dilución inmediatamente antes de su uso (NTP, 2015 ; IVEMAR, 2003).
- b) **Ajuste de temperatura de muestras:** Temperar las muestras a  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  antes de hacer las diluciones.
- c) **Preparación de diluciones:** Utilizando el agua de dilución se preparó por lo menos tres diluciones de una muestra. Se recomienda cinco diluciones si la experiencia con una determinada muestra no produce al menos tres botellas con un consumo mínimo de OD. Un análisis más rápido, por ejemplo, DQO puede correlacionarse de manera aproximada con DBO y sirve como guía para seleccionar las diluciones (NTP, 2015).

Se utilizó los porcentajes de dilución para aguas con las características citadas en la Tabla 4. Preparándose luego las diluciones en material para después transferir las a botellas de DBO o prepararlas directamente en botellas de DBO. Cualquiera de los dos métodos de dilución puede combinarse con cualquier técnica de medición de OD.

**Tabla 7.** Diluciones recomendadas

<b>% de dilución</b>	<b>características</b>
<b>0.01 %</b>	Para aguas residuales no domesticas
<b>1 a 5%</b>	Para aguas residuales sin tratar y sedimentables
<b>5 a 25%</b>	Para efluentes tratados biológicamente
<b>25 a 100%</b>	Para aguas de río

Fuente. NTP, 2015.

- d) Sellado de botellas:** Se completó el llenado de cada botella añadiendo el agua de dilución hasta rebosar sin dejar burbujas en las botellas, recomendándose que se elimine las burbujas con pequeños golpes a la botella de incubación. Luego mezclar la muestra volteando manualmente la botella varias veces salvo que se use una sonda de OD con agitador para medir inmediatamente la concentración de OD inicial. Como precaución evitar el ingreso de aire dentro de la botella de dilución durante la incubación (NTP, 2015).
- e) Determinación del OD inicial:** Para la medición del oxígeno inicial se utilizó un multiparametro marca METTLER TOLEDO.
- f) Incubación de la muestra:** Se incubó a  $20 \pm 1$  °C las botellas de DBO que contienen las diluciones realizadas, control de inóculo, blancos y verificación del ácido glutámico-glucosa excluirlos de la luz para evitar el crecimiento de algas de las botellas durante la incubación.
- g) Determinación del OD final:** Después de 5 días +1- 6 horas de la incubación, se determinó el oxígeno disuelto en todas las diluciones de las muestras con el multiparámetro de medición.

### Expresión de resultados

#### Cálculos:

Ensayo sin adición de inóculo: Para este caso se aplica la fórmula siguiente:

$$\text{DBO mg/l} = \frac{\text{ODi} - \text{ODf}}{P}$$



OD<sub>i</sub>: Oxígeno disuelto inicial en mg/l, de la muestra inmediatamente después de la Preparación.

OD<sub>f</sub> : Oxígeno disuelto final en mg/l, de la muestra preparada, al quinto día de incubación a 20°C ± 1°C;

P: Fracción volumétrica decimal de la muestra.

### 3.3.3. Variables a analizar

#### Operacionalización de variables

a) Variables independientes

Temperaturas Ambiente, 22°C, 37°C; tiempos de retención celular en horas, TR11.7, TR120, TR240

b) Variables dependientes

Coliformes termotolerantes y DBO.

### 3.3.4. Prueba estadística

#### a) Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente aleatorio, los tratamientos correspondieron a las temperaturas y tiempos de retención celular, relaciones entre parámetros fisicoquímicos medidos antes y después del tratamiento con lodos realizados, los resultados de cada prueba, fueron sujetos a pruebas descriptivas (media) y de dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación), posteriormente se realizó los análisis de varianza (ANOVA) y prueba de medias de Tukey (P≤0.05) para la comparación entre los tratamientos de cada variable, todos los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de confianza de 95%. Los datos se procesaron con el software estadístico INFOSTAT versión estudiantil 2019 para Windows.

#### b) Media

La media es en la mayoría de los casos un valor no observable, viene dado en la misma unidad de medida que la variable.

Es la más usual de las medidas de concentración y la más conocida. Es llamada también media aritmética o promedio (Canales, 2011).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$



Donde  $\sum_{i=1}^N x_i$  indica que se deben sumar todas las (x) disponibles desde  $x_1$  hasta  $x_N$ . La secuencia de valores que debe sumarse se especifica mediante los símbolos N e  $i = 1$  que aparecen arriba y debajo de la letra griega  $\Sigma$  (sigma). El resultado tiene la misma unidad de medida que las lecturas individuales. La media se representa simbólicamente por la letra griega  $\mu$  (mu) cuando se obtiene de datos poblacionales, y mediante  $\bar{X}$  cuando se estima a partir de una muestra aleatoria simple

c) **Fórmula de desviación estándar:** Es la raíz cuadrada de la varianza (Canales, 2011).

$$S = \sqrt{S^2}$$

Dónde: S indica desviación estándar y  $S^2$  varianza

e) **Fórmula de coeficiente de variación:** Es el cociente entre la desviación estándar y la media muestral, expresado en porcentaje. Y su valor está comprendido entre el 0% y el 100%.(Canales, 2011 ; Llanos , 2017).

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100$$

Dónde:

CV= coeficiente de variación

s= desviación estándar de la muestra

$\bar{X}$ = media aritmética de la muestra

f) **Modelo matemático de análisis de varianza:** Es un procedimiento que descompone la variabilidad total en la muestra (suma de cuadrados total de las observaciones) en componentes (suma de cuadrados) asociados cada uno a una fuente de variación reconocida.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$ = Observación del tratamiento

$\mu$  = Promedio general

$t_i$  = efecto del tratamiento i

$\epsilon_{ij}$  = término de error aleatorio asociado a la observación  $Y_{ij}$

Las pruebas estadísticas se evaluaron:

- Si el resultado es  $p < 0,05$  las pruebas son significativas.

- Si el resultado es  $p > 0,05$  las pruebas no son significativas.

Fuente: (Llanos, 2017).



- g) Fórmula para prueba de Tukey:** Calculó como valor crítico para la identificación de diferencias significativas, una cantidad (DMS) basada en el cuartil correspondiente de la distribución de rangos estudiados (Llanos, 2017).

$$W_{ij} = q \times \frac{CME}{r}$$

Dónde:

$W_{ij}$  = comparador para el par de tratamientos  $ij$

$q$  = valor de la tabla de Tukey, con grados de libertad de tratamientos y grados de libertad del error

CME = cuadrado medio del error

$r$  = son las repeticiones de los tratamientos.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

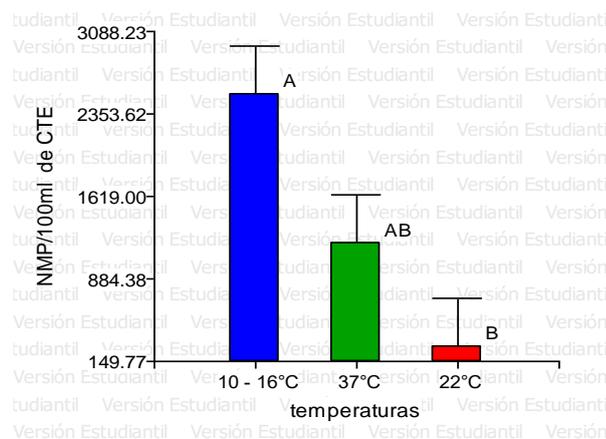
#### 4.1. Remoción de coliformes termotolerantes postratamiento a diferentes temperaturas; temperatura ambiente, temperatura a 22°C y temperatura a 37°C.

La caracterización inicial del agua residual poseía un número muy alto de coliformes termotolerantes, teniendo como resultado promedio el valor de  $3.5 \times 10^5$  NMP/100ml, siendo este un número superior a los valores establecidos el (MINAM, 2010) quienes mencionan que para el vertimiento de efluentes de PTAR estos deberían poseer el valor de  $1 \times 10^4$  NMP/100ml con respecto a los coliformes termotolerantes.

**Tabla 8.** Número más probable de coliformes termotolerantes respecto a los tratamientos por temperaturas; temperatura ambiente (10- 16°C), temperatura a 22°C y temperatura a 37°C.

	10 -16 °C	22 °C	37 °C
R1	$2.8 \times 10^3$	$2.8 \times 10^2$	$1.7 \times 10^3$
R2	$3.3 \times 10^3$	$2.2 \times 10^2$	$2.2 \times 10^2$
R3	$1.5 \times 10^3$	$3.5 \times 10^2$	$1.7 \times 10^3$

En esta prueba se evaluó el comportamiento de la reducción de bacterias coliformes termotolerantes en NMP/100ml a diferentes temperaturas; temperatura ambiente (10-16°C), temperatura de 22°C y a 37°C, donde se determinó que estadísticamente si existió diferencia significativa ( $F=7.21$ ,  $GL=2$ ,  $P=0.0254$ ) entre los tres tratamientos (figura 4)



**Figura 4.** Efecto de la temperatura postratamiento sobre la reducción de coliformes termotolerantes en NMP/100ml, (medidas con una letra distinta A, B y AB son significativamente diferentes  $p < 0.05$ ).



Se demostró que a temperatura ambiente se obtuvo un porcentaje relativamente alto de reducción de CTT en un tiempo de retención de 120 horas, pero este valor fue menor con respecto a los tratamientos de 37°C y 22°C. La temperatura de 22°C obtuvo un 99.91% de remoción, sin embargo esta temperatura es estadísticamente similar al de 37°C con una diferencia entre ambos del 0.26%, lo que demuestra que temperatura superiores a 20°C influyen en la remoción de coliformes termotolerantes, siendo estos superiores, lográndose así obtener porcentajes mayores de remoción de coliformes termotolerantes a estas dos temperaturas, lo que serían corroboradas por Arcos, (2014) y De Francisco, (2003), quienes mencionan que las temperaturas ideales para el tratamiento por lodos activados son los superiores a 20°C.

Resultados similares obtuvo Castellanos, (2013) entre setiembre de 2012 y setiembre de 2013, donde utilizó dos tratamientos, el tratamiento 1 fue (al 5% con microorganismos eficientes) y el tratamiento 2 (al 10% de microorganismos eficientes) y un testigo quien logro altos porcentajes de remoción de coliformes termotolerantes en el tratamiento 1 con un 89% de remoción y en cuanto al tratamiento 2 obtuvo un porcentaje de 93% de remoción de coliformes termotolerantes demostrando que el mejor tratamiento fue el número dos.

Arcos, (2014) menciona que la temperatura es una variable muy importante en el sistema de lodos activados, dado que es la que favorece la velocidad de la actividad enzimática, los microorganismos más comunes en este sistema son los mesófilos que toleran temperaturas entre 20°C y 40°C, demostrando que la presencia de estos microorganismos aumentan la remoción de coliformes, por lo tanto el rango de temperatura ideal en los procesos de lodos activados es de 20°C a 35°C.

Sin embargo De Francisco, (2003) menciona que en el ensayo que realizo, el ajuste de la curva parabólica de crecimiento microbiano determina los valores mínimos para el desarrollo microbiano siendo estos de 20°C teniendo como bajos rendimientos a temperaturas inferiores a este rango de temperatura, confirmando que partir de 20°C de temperatura los rendimientos permanecieron prácticamente constantes en relación a la curva de crecimiento microbiano. Obteniendo así un rendimiento medio de la mayoría de las depuradoras analizadas con un 90 -91% de remoción de coliformes.



Demostrando así que la influencia de la temperatura disminuye a temperaturas altas (más de 20 °C para el tratamiento biológico) mencionando también que a temperaturas bajas (10 -14 °C), los rendimientos disminuyen rápidamente al inhibirse el crecimiento microbiano. Esto se pudo apreciar en la evaluación de este trabajo, donde a la temperatura de 22° se lograron obtener remociones altas y estables de un 99.91% durante las tres repeticiones realizadas a comparación de los tratamientos de temperatura ambiente donde se obtuvieron porcentajes menores. Demostrando así que la temperatura fundamentalmente influye en el proceso biológico por lodos activos en los efectos que produce en el crecimiento microbiano. Tratándose así de una influencia "biológica" y no física.

Por otro lado Arcos & Fernandez , (1993) indicaron que para la evaluación de oxígeno requerido en un proceso de biodegradación de material orgánico de aguas residuales mediante la difusión de burbujas con equipo mecánico, estas se evalúan normalmente bajo condiciones estándar de temperatura de 20°C y concentración de oxígeno cero, demostrando que la concentración de oxígeno decrece a altas temperaturas teniendo como consecuencia la disminución de microorganismos que componen el lodo, y por consiguiente la disminución de remoción de materia orgánica.

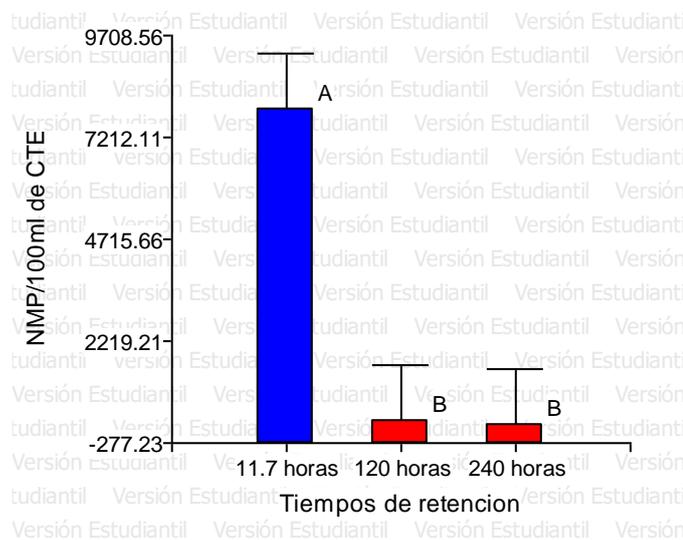
Eraso & Ruiz, (2015) también mencionan sobre la importancia de los efectos de la temperatura ya que la dependencia de la temperatura en las constantes de la velocidad de la reacción biológica es muy importante a razón de asegurar la eficacia conjunta en el proceso del tratamiento biológico. La temperatura no solo influye en las actividades metabólicas de la población microbiana, sino que también tiene un profundo efecto sobre factores tales como la velocidad de transferencia de gases y sobre las características de sedimentación de los sólidos biológicos.

#### 4.2. Remoción de coliformes termotolerantes postratamiento a diferentes tiempos de retención celular (TR/h): TR 11,7 horas, TR a 120 horas y TR 240 horas, aplicados al reactor.

**Tabla 9.** Número más probable de coliformes termotolerantes frente a los tratamientos por tiempo de retención celular.

	11.7 horas	120 horas	240 horas
R1	$3.3 \times 10^3$	$2.8 \times 10^2$	$1.4 \times 10^2$
R2	$1.1 \times 10^4$	$2.2 \times 10^2$	$1.7 \times 10^2$
R3	$9.4 \times 10^3$	$3.5 \times 10^2$	$2.2 \times 10^2$

Esta prueba consistió en evaluar la cantidad de remoción de coliformes termotolerantes en NMP/100ml frente a diferentes tiempos de retención aplicados en el bioreactor de lodos activados, teniendo como tiempos a: TR/11.7 horas; TR/120 horas y TR/ 240 horas, donde se determinó que estadísticamente si existió diferencia significativa ( $F=10.69$ ,  $GL=2$ ,  $P= 0.0105$ ) entre los tres tratamientos aplicados (figura 5).



**Figura 5.** Efecto del tiempo de retención en horas sobre la reducción de coliformes termotolerantes en NMP/100ml, al término del tratamiento en el reactor de lodos activados (Medias con una letra diferente A y B son significativamente diferentes  $p < 0.05$ ).

El tiempo de retención hidráulica con aireación es uno de los factores importantes que determina en medida la efectividad de la reducción de materia orgánica presente en el agua a tratar. Los tiempos de retención de 120 y 240 horas no presentan diferencia



estadística significativa entre ellas teniendo un porcentaje mayor al 96% de remoción de coliformes termotolerantes con respecto al TR 11.7 horas, quien obtuvo un porcentaje menor con una diferencia del 2.43%.

Pérez *et al.*, (2005) describió que el uso de un digestor anaerobio no convencional UASB, bajo las condiciones en las que fue operado, teniendo un tiempo de retención celular de 10 días y a temperaturas de 33-38 °C, no fue capaz de producir BIOSÓLIDOS (lodo residual tratado con características adecuadas para su neutralización como mejoradores de suelo) que cumplan con características que permitan su reúso como biosólidos para clase B, ya que para el contenido de coliformes fecales en los lodos del en el digestor, a partir de los análisis realizados, observaron una media geométrica de  $2.5 \times 10^6$  NMP/gST en los valores obtenidos, representando un 40% de remoción, mientras que la US-EPA especifica un valor máximo de  $2 \times 10^6$  para este parámetro se utilizado como un biosólido clase B.

Además Chuchon & Aybar (2008) reportaron los siguientes resultados de la evaluación La capacidad de remoción de coliformes fecales realizadas a la planta de tratamiento “La Totorá” siendo estos del 99.98 %, evacuando efluentes con una cantidad en promedio de  $1.29 \times 10^5$  NMP/100 ml.

También Terreros *et al.*, (2009) mencionan que mediante el reactor de tipo UASB en un proceso dos etapas de tratamiento de mejoraron la formación de compuestos solubles, aunque no lograron alcanzar altas eficiencias en la reducción de patógenos. Sin embargo obtuvieron los mejores resultados en el reactor acidogénico a 2 días de tiempos de retención hidráulica (TRH), a una proporción de lodo primario (LP) y lodo secundario (LS) de 50:50, con una carga orgánica volumétrica ( $B_v$ ) de 3.6 Kg DQO/m<sup>3</sup>.d y con un 68.6 % de eficiencia en la destrucción de sólidos suspendidos volátiles (SSV) y eliminación de coliformes fecales de 8.5 log<sub>10</sub> y una reducción de huevos de helmintos del 85%.

Por otro lado Eraso & Ruiz, (2015) mencionan que los coeficientes cinéticos que se produjeron a partir de datos obtenidos utilizando un reactor de mezcla completa de fase experimental con recirculación de sólidos para un proceso de lodos activados utilizando un tiempo de retención de 16 horas, se refirieron de igual forma a que se puede obtener

datos similares con reactores de mezcla completa sin recirculación de sólidos variando sus tiempos de retención para procesos de lagunas aireadas, esto se puede hacer ya que el equipo que se entrega puede utilizarse también como un reactor de mezcla completa sin recirculación de sólidos retirando su deflector ajustable.

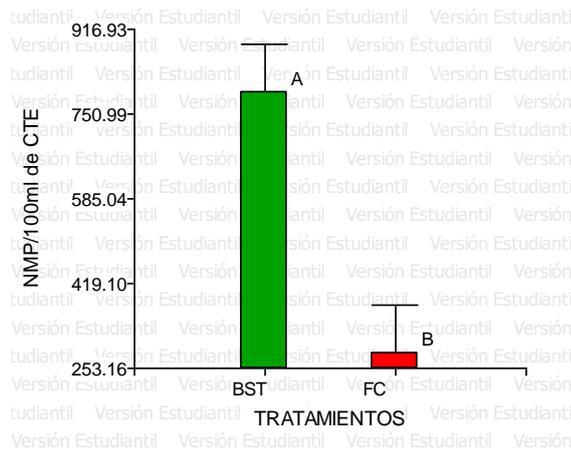
Dautan et al. (1988) indican que el tiempo de residencia de los lodos prolongados por más 30 días afecta a las fases de respiración endógena, donde la descomposición de los lodos excede el crecimiento de los mismos. Así que, a pesar de que la proporción de la DBO no es mucho mayor que en los procesos convencionales, la tasa neta de producción de lodos es mucho más baja. El largo tiempo de residencia de los lodos y la baja carga de éstos implican una baja actividad de lodos, recomendado entonces que se usen tiempos largos de retención, de uno o dos días, para producir una reducción del 90% o más del % DBO de las aguas residuales.

#### **4.3. Remoción de coliformes termotolerantes postratamiento, entre lodos comerciales (Enzimas Biodigestoras BST) y lodos convencionales (LC) activados del agua residual en el bioreactor, con los tratamientos óptimos de TR 120, y a una T de 22°C.**

**Tabla 10.** Número más probable de coliformes termotolerantes con respecto al tipo de lodo utilizado en el bioreactor

	Carga inicial	BST	LC
R1	$3.15 \times 10^5$	$9.2 \times 10^2$	$2.8 \times 10^2$
R2	$3.15 \times 10^5$	$5.4 \times 10^2$	$2.2 \times 10^2$
R3	$3.15 \times 10^5$	$9.2 \times 10^2$	$3.5 \times 10^2$
$\bar{X}$		$7.93 \times 10^2$	$2.83 \times 10^2$

Para esta prueba se puso en comparación dos tipos de lodos para la remoción de coliformes termotolerantes en NMP/100ml, frente a los tratamientos que obtuvieron resultados óptimos TR/120 horas y a una temperatura de 22°C, donde se determinó que estadísticamente si existió diferencia significativa ( $F=14.90$ ,  $GL=1$ ,  $P=0.0181$ ) entre los dos tipos de lodos activados en el bioreactor (figura 6).



**Figura 6.** Comparación entre dos tipos de lodos, (Enzimas Biodigestoras BST) y lodos convencionales activados del agua residual (LC) sobre la reducción de coliformes termotolerantes en NMP/100ml, después del tratamiento (Medias con una letra diferente A y B son significativamente diferentes  $p < 0.05$ ).

La diferencia entre los dos tipos de lodos utilizados para el tratamiento de aguas residuales del camal de Azoguini, fueron los siguientes; el lodo convencional activado del manera natural presente en el agua residual a tratar, obtuvo un alto valor de significancia  $p = 0.0181$ , representando un 99.91% de remoción de CTE, en un tiempo de retención de 120 horas a 22°C siendo este levemente superior al de las bacterias comerciales BST que obtuvieron un 99.7 % de remoción, lo que indica que el tratamiento convencional tiene el mismo nivel de remoción, utilizando para ambos los mismos tratamientos de tiempo de retención y temperatura.

Resultados similares reporto Urbina *et al.*, (2006) Quienes al utilizar un pool comercial para el tratamiento del reactor 3, registraron la más baja de las remociones tanto en tiempos de retención altos (36 horas) como en tiempos de retención bajos (21 horas), lo que mostro que el inóculo comercial que se utilizaron para dicho tratamiento no fue el apropiado para tratar las aguas del Frigorífico “La Frontera Ltda”.

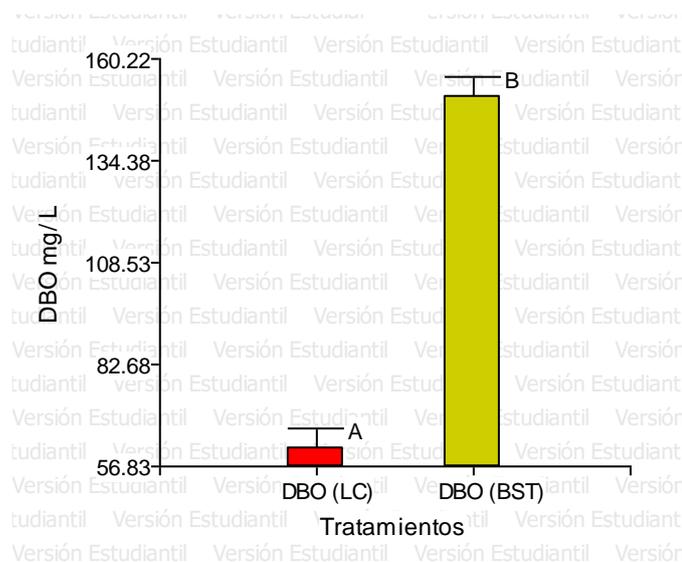
Corroborando así con los resultados de esta investigación, se puede diferir que la utilización de este tipos de lodos comerciales no son aptos para el tratamiento de aguas residuales de camales, por el contrario su uso referiría para el tratamiento de otro tipo de aguas residuales que no posean altas cargas de materia en suspensión como grasas, solidos totales, nitritos, fosfatos y otros compuestos orgánicos.

#### 4.4. Valores de DBO postratamiento de aguas residuales en el bioreactor de lodos activados.

**Tabla 11.** Valores de DBO determinados después del tratamiento, con los lodos comerciales (BST) y los lodos convencionales (LC)

	DBO BST (m/l)	DBO LC (m/l)
R1	138.84	58.60
R2	161.33	62.67
R3	152.2	63.33

Para esta prueba se puso en comparación la reducción de DBO entre los dos tipos de lodos utilizados en el tratamiento de aguas residuales haciendo el uso de un reactor, frente a los tratamientos que obtuvieron mejores resultados de TR/120 horas y a una temperatura de 22°C, donde se determinó que estadísticamente si existió diferencia significativa ( $F=177.69$ ,  $GL=1$ ,  $P=0.0002$ ) (figura 7).



**Figura 7.** Remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) postratamiento, entre los lodos comerciales (Enzimas Biodigestoras BST) y lodos convencionales (LC), (Medias con una letra diferente A y B son significativamente diferentes  $p < 0.05$ ).

Los lodos convencionales activados del agua residual tuvieron un alto porcentaje de remoción de DBO, siendo este altamente significativo con un valor  $p = 0.0002$  llegando a alcanzar un porcentaje de remoción del 63.41%, frente al tipo de lodos comerciales **BST** que solo lograron un 10.33 %. En un tiempo de retención de 120 horas y a 22°C.

En cuanto a la remoción de DBO Urbina *et al.*, (2006) reportaron que al utilizar un pool comercial para el tratamiento en el reactor 3 este registro la más baja de las remociones



de DBO, con un 35.43% , tanto en tiempos de retención altos (36 horas) como en tiempos de retención bajos (21 horas), lo que demuestra que el inóculo comercial que se utilizaron en ese reactor no fue apropiado para tratar las aguas del Frigorífico “La Frontera Ltda” resultados parecidos se pudo encontrar en la investigación de este trabajo, donde la eficiencia del reactor se midió en un 10.33 % de remoción de DBO , coincidiendo con dicho autor sobre la baja eficiencia que adquirió este tipo de lodo frente a las aguas residuales de camales, deduciéndose que este tipo de lodos no pueden degradar y transformar la materia orgánica, así como también los sólidos en suspensión volátiles y demás parámetros.

Por otro lado Urbina *et al.*, (2006) también indicó que el Reactor número uno de su investigación fue el que mejor se comportó alcanzando las mejores remociones de los parámetros medidos: 58.77 % de remoción de DQO y 78 % de DBO. Esto se debió a que el lodo de este reactor contenía un equilibrio adecuado de la población microbiana, siendo este aislado de manera natural del agua residual, evidenciado por los SSV (sólidos de suspensión volátiles) que registraron un valor por encima de los 4500 mg/l, y la variedad de organismos encontrados en su reactor, gracias a los microorganismos aislados de las cribas del sedimentador primario.

Chuchon & Aybar (2008) reportaron porcentajes altos de remoción de DBO, que fueron de 86.2%, evacuando efluentes con 46.35 mg/l, proceso que define como deficiente en relación a lo estipulado por la Ley General de Aguas D.L. 17752 para aguas de clase III, la cual establece una concentración máxima de 15 mg/l que para alcanzar esta concentración sería necesario una remoción del orden del 95.59%. en comparación al trabajo de investigación realizado, este si estaría dentro de los límites máximos permisibles de las normas legales establecidos por el Ministerio del Ambiente del 2010.

Barraza & Palpa, (2011) reportaron remociones parecidas, al caracterizar el agua residual obteniendo un valor promedio de DBO 1745.03 mg/l. en el agua cruda y en relación a los Reactores que utilizaron para tratar la aguas residuales obtuvieron los valores de 92.22% a una dilución del 50% para el reactor N° 01 en 100 días, mientras que para el reactor N° 02 el valor hallado en 100 días fue de 76.86% DBO con una dilución del 50%. El cual da por conclusión que valores de remoción promedio de para el reactor N° 01 fueron de 60.58% y para el reactor N° 02 fue el 54.25% de remoción de DBO utilizando



los reactores de tipo UASB y filtros percoladores. Siendo estos resultados superiores a los evaluados en este proyecto de investigación.

Además de Becerra *et al.*, (2015) quienes reportaron resultados semejantes, indicando que los porcentajes de remoción de DQO y DBO<sub>5</sub>, que fueron 83% y 44% respectivamente utilizando como tratamiento a los lodos activados, en el tratamiento de aguas residuales con microorganismos nativos de camales, siendo este superior a la obtenida por el grupo testigo (control negativo), determinando además que la disminución de aceites y grasas del efluente fueron mínimas.

Baquerizo & Flores, (2011) reportan resultados inferiores de DBO a los avaluados en este proyecto determinado que, los reactores con una altura inicial de lodo de 42cm (R1 y R2), tuvieron una máxima remoción de 41.32%, y una remoción promedio igual a 22.34%, mientras que los reactores con altura de lodo de 28cm (R3 y R4) obtuvieron una máxima remoción de 52.58% y una remoción promedio igual a 20.82%.

Quienes también obtuvieron resultados inferiores a los obtenidos en este trabajo fueron Pabón & Suarez, (2009) reportando una eficiencia promedio de 46,4% en DBO y un 40,84% en SS. Teniendo que el tratamiento primario que aportó la mayor eficiencia en promedio en remoción de los parámetros de control de eficiencia (68,92% DBO y 80,16% SS) y permitió que las concentraciones de sustrato a tratar sean las adecuadas para la operación del reactor, por lo que se hace necesario que todo sistema de tratamiento para aguas residuales de camal cuente con el diseño y construcción de un eficiente sistema de cribado y sedimentación. El reactor de lodos activos aporta una eficiencia promedio de eficiencia en remoción de DBO de 46,4% y de SS de 40,84%, mostrando que es una tecnología ambientalmente viable para estabilizar la materia orgánica contaminante generada en las industrias de faenado de ganado.



## V. CONCLUSIONES

Las temperaturas de 22 y 37°C son viables para la remoción de coliformes termotolerantes, ambos tratamientos al ser sometidos a tiempos retención hidráulica de 140 y 240 horas, mostraron valores superiores al 99 % de remoción, con un valor promedio de  $2.5 \times 10^2$  NMP/100 ml, para el tratamiento de aguas residuales de camal, estos valores están dentro de los límites máximos permisibles (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales según la norma N°003-2010 del Ministerio de Ambiente, y los estándares de calidad ambiental para aguas (ECA), para su uso en riego y bebidas de animales según la norma N° 002-2017 del Ministerio del Ambiente.

La reducción de demanda biológica de oxígeno (DBO) postratamiento mediante el uso de un bioreactor de lodos activados fue positiva, logrando reducir un 63.41% de DBO, con un valor de 61.53mg/L, dichos valores están dentro de los límites máximos permisibles (LMP) para efluentes de actividades agroindustriales como son los camales y plantas de beneficio con tratamiento previo según la norma N° 001-2009 del Ministerio de Ambiente, y para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) según la norma N° 003-2010 del Ministerio de Ambiente.



## VI. RECOMENDACIONES

Realizar análisis microbiológicos para la fase del tratamiento anaerobio del bioreactor, para determinar así el porcentaje de reducción de coliformes termotolerantes frente al tratamiento aerobio y así cuantificar con exactitud el porcentaje de remoción que posee cada etapa de tratamiento dentro del bioreactor de lodos activados.

Hacer los análisis de DBO para la fase de tratamiento anaerobio y conocer el grado de remoción que se efectúa por dicha fase antes de pasar a la fase aerobia. Y utilizar diferentes tratamientos de temperatura y tiempo de retención para tener un conocimiento más amplio sobre el comportamiento del bioreactor para la remoción de dicho parámetro.

Realizar estudios complementarios sobre el tratamiento de aguas residuales de camales en función a las épocas del año, en temporadas de lluvia y sequía, ya que la concentración de compuestos orgánicos presentes en el agua varían en relación a estos factores ambientales, teniendo así altas concentraciones de DBO, DQO, SSV, NKP y P, etc.

Proponer un diseño realizando cálculos estructurales para la ejecución de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales en base al uso bioreactores lodos activados de acuerdo al número de ganado beneficiado y la cantidad de agua utilizada por cabeza de ganado, para su empleo en camales municipales.

Identificar a los microorganismos del lodo activado presentes en el agua residual de camales.



## VII. REFERENCIAS

- Atlas, R. y R. Bartha 1998. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Tercera Edición. Editorial Addison Wesley. Madrid. España. 677pp
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). (2017). Ley de recursos hídricos y su reglamento ley N° 29338.
- Arcos Serrano, M. E., & Fernandez Villagómez, G. (1993). *Procesos Biológicos de tratamiento para la estabilización de residuos líquidos tóxicos*.
- Arcos, Y. (2014). Microbiología de lodos activados, Microbiology of the activated sludge, 4(2), 117–122.
- Baquerizo Nole, F., & Flores Mori, P. (2011). *Comportamiento de un sistema anaerobio de flijo ascendente para el tratamiento de aguas residuales de un matadero*.
- Barraza Felix, A., & Palpa Chavez, G. (2011). *Comparacion de eficiencias en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un camal utilizando en forma independiente reactores de UASB y filtros percoladores a escala piloto*.
- Becerra Gutiérrez, L. K., Horna Acevedo, M. V., & Barrionuevo Albújar, K. I. (2015). Influencia de microorganismos nativos en el tratamiento de efluentes de residuales de canales, 8(1), 15–18.
- Benavides, L. del P. (2006). *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la central de sacrificio de Túquerres (Nariño)*.
- Bolaños Gomes, T. M. (2016). *Plan de gestion de manejo de liquidos y sub productos de la palanta de beneficio de ganado municipio de San Francisco, Cundinamarca*. Universidad distrital francisco Jose de Caldas.
- BOSS-TECH, S. (2019). Enzimas Biodigestoras BST especificaciones técnicas.
- Cajacuri, M. P., Behling, E., Rincón, N., Colina, G., Marín L, J. C., & Araujo, I. (2013). Diversidad microbiológica del lodo anaerobio durante el tratamiento de aguas de producción petroleras venezolanas Microbiological Diversity of the Anaerobic Sludge During Treatment, (número 3), 325–334.
- Camacho, A., Giles, M., Ortegon, A., Palao, M., Serrano, B., & Velazquez, O. (2009). Método para la determinación de bacterias coliformes , coliformes fecales y Escherichia coli por la técnica de diluciones en tubo múltiple ( Número más Probable o NMP ), 1–17.
- Canales Gutierrez, A. (2011). *BIOESTADISTICA Herramienta para la Investigación*.
- Carrasquero Ferrer, S. J., Marquina Gelvez, D. C., Soto López, J. G., Vilorio, S., Pire Sierra, M. C., & Díaz Montiel, A. R. (2015). Remoción de nutrientes en aguas residuales de un matadero de reses usando un reactor biológico secuencial, 25-2.
- Carrillo-Silva, Y. B. (2014). *Diseño y construccion de un prototipo a aescala laboratorio que simule los procesos de digestion aerobia y anaerobia*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Castañeda Briones, M. (2003). *Microbiología Aplicada Manual de Laboratorio*.



- Castellanos-Castañeda, E. E. (2013). *Tratamiento biológico de agua residual del camal frigorífico Santo Domingo, Sicaya - Huanuco*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Cázares méndez, I., & Alcántara Araujo, J. (2014). Analisis microbiológico de la calidad del agua de ciudad Nezahualcóytl, acorde a la Norma Oficial Mexicana nom-127-ssa1-1994, 1–30.
- Chuchon Marinez, S., & Aybar Escobar, C. (2008). Evaluacion de la capacidad d remocion de bacterias coliformes feacles y demanda Bioquimica de Oxigeno de la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totora” Ayacucho, Perú.
- Dautan, R., Perez, M. L., Contreras, A., Marzana, A., & Rincones, B. (1988). Diseño y construccion de un reactor discontinuo secuencial para remocion de DBO, (82-89).
- De Francisco Diaz, J. P. (2003). *Investigacion sobre el efecto de la temperatura en los procesos biologicos por fangos activos*. Universidad Politecnica de Madrid.
- Del Angel Sanchez, M. (1994). *Contribución al estudio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)*. Universidad Autonoma de Nuevo Leon.
- Direccion General de Normas. (1987). Norma Mexicana NMX-AA-42-1987 Calidad del agua determinacion del Numero Mas Probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia coli presuntiva.
- Eraso Villota, G., & Ruiz Rosero, D. (2015). *Desarrollo de un reactor de mezcla completa para el estudio de los coeficientes cinéticos activados en el tratamiento de aguas residuales*. Universidad de Nariño.
- Fernandez, J., & Curt, M. D. (1999). Metodos Analiticos para aguas residuales., 117–128.
- Gallegos-Garcia, M., Celis, L. B., & Razo-Flores, E. (2010). Competencia por sustrato durante el desarrollo de Biomasa sulfatorreductora a aprtir de un lodo metanogenico en un reactor UASB, 26-2, 109–117.
- Gandarillas, J. L. I. (2016). Fundamentos lodos activados y tipos de reactores. Módulo Gestión de Aguas Residuales y Reutilización.
- Giraldo Valencia, L. F., & Restrepo Marulanda, I. C. (2003). Arranque y operacion de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales urbanas.
- Goez lopez, M., Vasquez Garcia, M. J., & Pena Camaño, P. (1999). Determinacion y diferenciacion de Escherichia Coli y Coliformes Totales usando un mismo Sustrato Cromogenico.
- Gomez Cardona, J., & Garcia Galindo, L. (2008). Evaluacion del efecto de los microorganismos eficaces (EM) sobre la calidad de un agua residual domestica.
- Gonzales Pizarro, L. (2013). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales del camal municipal de chupaca.
- Hernandez Torres, D., & Sanchez Cuervo, J. (2014). *Diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Marcos-departamento de Sucre*. Universidad Católica de Colombia.



- Industrial, E. O. (2008). Los vertidos de los mataderos e industrias carnicas, pp. 1–20.
- IVEMAR, I. de I. M. y C. "Jose B. V. D. A. (2003). Manual de Técnicas Analíticas para la determinación de parámetros Fisicoquímicos y Contaminantes Marinos (aguas, sedimentos y organismos).
- Jimenez Torres, N. (2014). Diseño de un reactor biológico de fangos activos, 0–37.
- Koneman, E., Allen, S., Janda, W., Procop, G., Schreckerberger, P., & Woods, G. (2008). *Koneman Diagnóstico microbiológico* (Vol. 6a Edición).
- Lara Villacís, L. E. (2011). *Las aguas residuales del camal municipal del Cantón Baños y su incidencia en la contaminación del río Pastaza en la Provincia de Tungurahua*.
- Larrea Murrell, J. A., Mercedes, N., Rojas Badía, M. M., Romeu Álvarez, B., Rojas Hernández, M., & Heydrich Pérez, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas : revisión de la literatura.
- León Gil, C. A. (2009). *Estandarización y validación de una técnica para medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno por el método respirométrico y la Demanda Química de Oxígeno por el método colorimétrico*.
- Llanos Machaca, M. (2017). *Bacterias solubilizadoras de fosfato del género Bacillus en suelos de la provincia de el Collao (Puno) y su efecto en la germinación y crecimiento de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en condiciones de invernadero*.
- López Jácome, L. E., Hernández Durán, M., Colín Castro, C. A., Ortega Peña, S., Cerón González, G., & Franco Cendejas, R. (2014). Las tinciones básicas en el laboratorio de microbiología, 3.
- Machado, W. D., Marquetti, F., Molina, F., Gusils, C., & Quaia, E. A. (2016). Caracterización de lodos como inoculantes para un reactor anaeróbico para el tratamiento de vinaza, 93(2), 13–17.
- Madigan, Mi., Martinko, J., & Parker, J. (2006). *Brock Biology of Microorganisms*.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2009). Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de actividades agroindustriales tales como planta de Camales y Plantas de Beneficio.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2010). Normas legales 415675, 415675–415676.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2017). Estándares de Calidad Ambiental ( ECA ) para agua y establecen disposiciones complementarias, 10–19.
- Moeller, G., & Tomasini Ortiz, A. (2015). Microbiología de lodos activados, 148–208.
- Mora, Z. A., Chavez, C. H., Fonseca, G., Cabra, J. A., & Salgado, Y. C. (2005). Desarrollo de un inóculo microbiano empleando lodos activados para la remoción de ácido sulfhídrico ( H<sub>2</sub>S ), VII(2), 26–34.
- Norma Técnica Peruana. (2015). Calidad de agua determinacion de la demanda



- bioquímica de 1454 oxígeno (DBO). Lima-Perú.
- Organización Panamericana de la Salud. 1987. “Guías para la calidad del agua Potable. 1507 1445 Volumen 2, criterios relativos a la salud y otra información base”. Organización Mundial 1446 1508 de la Salud, Publicación Científica N° 506 Washington D.C
- OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales.
- Pabón, S., & Suarez Gelvez, J. (2009). Arranque y operación a escala real de un sistema de tratamiento de lodos activos para aguas residuales de matadero., 29, 53–58.
- Pérez García, A., Mancebo del Castillo, U., Ortega Chárleston, L., & Noyola Robles, A. (2005). Digestión Anaerobia no convencional de Lodos Biológicos Utilizando un reactor tipo UASB.
- Peruana, P. de N. T. (2015). Calidad de agua determinacion de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- Renola, L., Delgado, J., & Lugo, S. (2016). Diseño y construcción de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales de lodos activados / José Delgado ... Diseño y construcción de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales por lodos activados y su puesta en marcha para tratar vi, *Vol. 27, N*, pp. 145–151.
- Rodríguez Chaparro, T., Blanco Londoño, S. A., Grisales Penagos, D. K., Ortega López, Linda J., Muñoz Ortiz, C. E., Hernández Avilés, D. M., ... Fuentes Escobar, K. L. (2019). Manual para el análisis de aguas residuales y lodos, (January).
- Terreros Mecalco, J., Olmos Dichara, A., Noyola Robles, A., Ramirez Vives, F., & Monroy Hermosillo, O. (2009). Digestion Anaerobia de lodo primario y secundario en dos reactores UASB serie, 8(2), 153–161.
- Terragno, R., Caffer, M. I., & Binsztein, N. (2007). Manual de Procedimientos: Diagnóstico y 1463 1522 caracterización de *Shigella* spp. América del Sur: Departamento Bacteriología del 1464 Instituto 1523 Nacional de Enfermedades Infecciosas
- Tritt, W. P., & Schuchardt, F. (1992). Materials Flow and Possibilities of Treating Liquid and Solid Wastes from Slaughterhouses in Germany . *A Review*, 41, 235–245.
- Urbina Suarez, N., Pabón, S., & Suárez Gelvez, J. (2006). Tratamiento Biológico de aguas residuales de matadero. caso: frigorífico la Fontanera Ltda., Villa del Rosario, Norte de Santander.
- Vonjohnn Navarro, S. B. (2006). *Calidad bacteriana del agua del río LLolehue de la x región de Chile*. Universidad Austral de Chile.

## ANEXOS

### ANEXO A

**Tabla 12.** Caracterización del agua residual del camal de Azoguini Puno Agosto-  
Noviembre 2019.

	DBO mg/L	Coliformes totales NMP/100ml	Coliformes termotolerantes NMP/100ml	pH	Temperatura °C
Valor máximo	168.67	$5.4 \times 10^5$	$3.5 \times 10^5$	8.5	18.5
Valor mínimo	167.67	$3.5 \times 10^5$	$2.8 \times 10^5$	7.5	19.5
Promedio	168.17	$4.45 \times 10^5$	$3.15 \times 10^5$	8	19

Fuente: Elaboración propia

### ANEXO B



**Figura 8.** Ubicación geográfica del lugar de muestreo camal de Azoguini-Puno.

Fuente: Google Earth (2019).



**Figura 9.** Camal de beneficio de ganado vacuno Azoguini-Puno, Noviembre 2019.

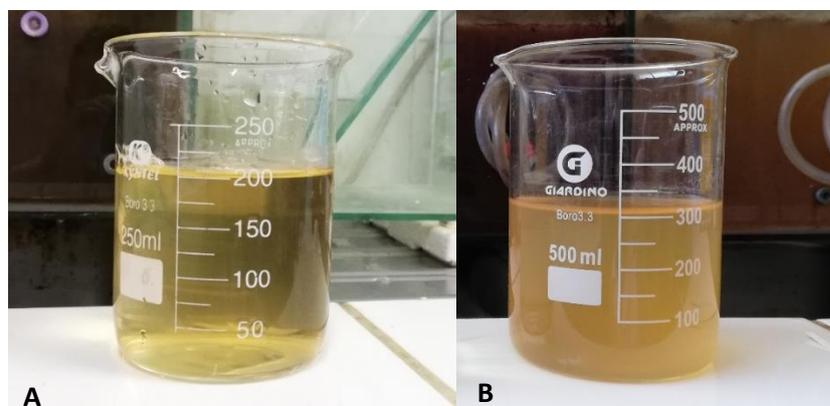
## Anexo B.



**Figura 10.** Reactor de lodos activados, acondicionado en el laboratorio de Biotecnología de la FCCBB. UNA- Puno, Noviembre 2019.

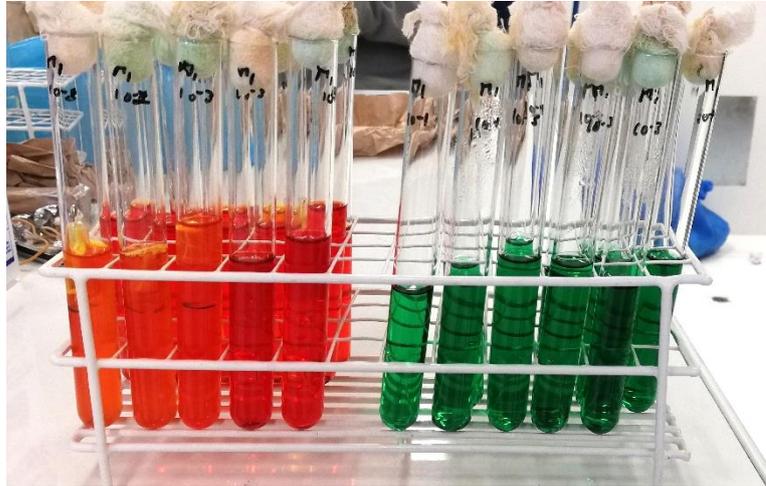


**Figura 11.** Lodos comerciales (ENZIMAS BIO-DIGESTORAS BST) utilizadas como control positivo, realizada en el laboratorio de Biotecnología de la FCCBB. UNA- Puno, Agosto 2019.



**Figura 12.** **A.** Agua residual tratada con lodos convencionales; **B.** Agua residual tratada con bacterias comerciales (Enzimas Biodigestoras BST) realizada en el laboratorio de laboratorio de Biotecnología de la FCCBB. UNA- Puno, Octubre 2019

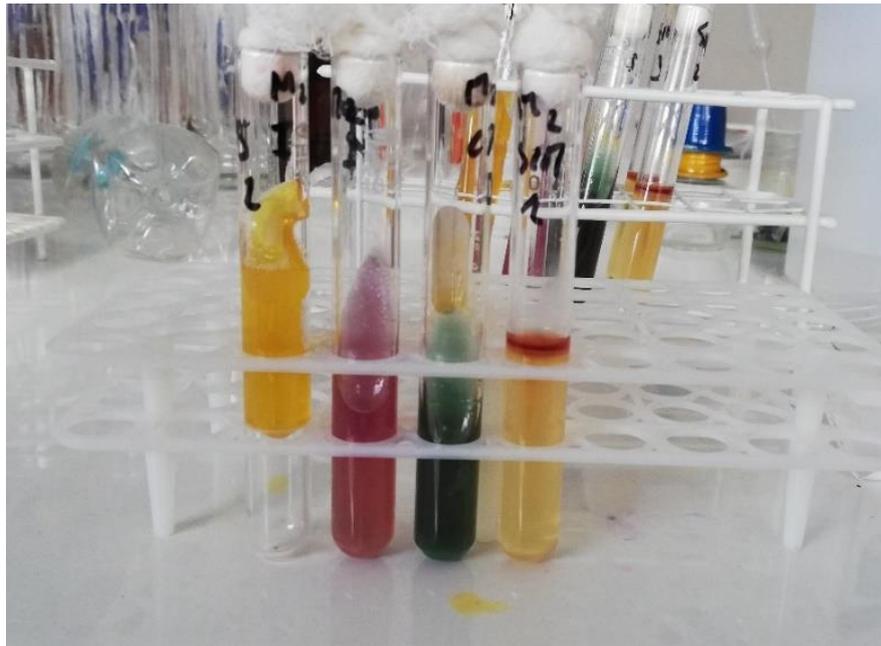
### ANEXO C. Metodologías para la determinación de Coliformes Totales, Termotolerantes y DBO en laboratorio de Botánica y Biotecnología FCCBB., UNA Puno.



**Figura 13.** Tubos con caldo lactosado y rojo fenol como indicador de pH para la prueba presuntiva de coliformes totales y tubos con caldo bilis lactosa verde brillante (BLVB), realizado en el laboratorio de Botánica y Biotecnología la FCCBB. UNA-Puno, Octubre 2019.



**Figura 14.** Tubos con caldo bilis lactosa verde brillante (BLVB) para la prueba confirmativa de coliformes termotolerantes, realizado en el laboratorio de Botánica y Biotecnología la FCCBB. UNA-Puno, Octubre 2019.



**Figura 15.** Bateria bioquímica para la identificación de *Escherichia coli*, TSI, LIA, Citrato de Simons y medio SIM, realizado en el laboratorio de Botánica y Biotecnología la FCCBB. UNA-Puno, Octubre 2019.



**Figura 16.** Medición del oxígeno disuelto para la prueba de Demanda Bioquímica de Oxígeno. Método de la botella de Winkler, realizado en el laboratorio continental del Instituto del Mar del Perú IMARPE-Puno, Octubre 2019.



## ANEXO C Tablas

**Tabla 13.** Parámetros físicos y químicos del agua

Parámetros físicos	
Turbiedad	Mide la claridad óptica del agua, es provocada por la dispersión y absorción de la luz por las partículas suspendidas en el agua. La Organización Mundial de la Salud (OMS) reporta que una turbiedad < 5NTU (Unidades Nefelométricas de Turbiedad) es en general aceptable, pero puede variar según la disponibilidad y recursos para el tratamiento.
Partículas	Son sólidos más grandes que las moléculas. Pueden adsorber metales tóxicos o químicos inorgánicos sintéticos. El tratamiento de aguas considera las partículas en un rango de 0,0001 – 100 µm. Las partículas más grandes de 1 µm se llaman sólidos suspendidos, mientras que las partículas entre alrededor de 0,0001 y 1 µm pueden considerarse como partículas coloidales. Los constituyentes menores a 0,0001 µm son llamados partículas disueltas.
Color	El color es dado al agua por materia orgánica disuelta, iones metálicos como el hierro, el manganeso y la turbiedad.
Sabor y Olor	Pueden originarse de constituyentes orgánicos o inorgánicos naturales y las fuentes biológicas presentes en el agua, también pueden ser resultado de un proceso de tratamiento de aguas residuales.
Temperatura	Las temperaturas de las aguas superficiales pueden variar de 0,5°C a 3°C en el invierno y de 23°C a 27°C en el verano.
Parámetros químicos	
pH	Es una medida de naturaleza ácida y alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua.
Dureza	Se debe a la presencia de sales disueltas del calcio y magnesio, mide la capacidad de agua para producir incrustaciones.
Sólidos Disueltos	Es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada.
Sólidos en suspensión (SS)	Es una medida de los sólidos sedimentables (no disueltos) que suelen ser retenidos en un filtro. La suma de estos con los Sólidos Disueltos se denomina Sólidos Totales.
Nitratos	Forma sales muy solubles y bastante estables aunque en medio reductor puede pasar a nitrito, nitrógeno o amoníaco.
Fosfato	Forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato de calcio. Al corresponder a un ácido débil contribuye a la alcalinidad de agua.
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Mide la cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua y se mide en ppm de O <sub>2</sub> . Un contenido superior, es indicativo de contaminación.
Demanda química de oxígeno	Expresa la cantidad de oxígeno equivalente necesario para oxidar las sustancias presentes en las aguas residuales, mediante un agente químico fuertemente oxidante, como el permanganato potásico (KMnO <sub>4</sub> ), utilizado en aguas limpias y el bicromato potásico (K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ), utilizado en aguas residuales, se mide en ppm de O <sub>2</sub> .

Fuente: Mihelcic, 2013.

**Tabla 14.** Índice del NMP y límite confiable de 95% para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se usan: 5 tubos con porciones de 10 cm<sup>3</sup> en cada uno, 5 con porciones de 1cm<sup>3</sup> y con 5 porciones de 0.1 cm<sup>3</sup>.

No. de tubos con reacciones positivas			Índice del NMP por 100cm <sup>3</sup>	Límite confiable de 95%		No. de tubos con reacciones positivas			Índice del NMP POR 100cm <sup>3</sup>	Límite confiable de 95%	
5tubos con 10cm	5tubos con 1cm <sup>3</sup>	5tubos con 0.1cm <sup>3</sup>		Interior	Superior	5tubos con 10cm <sup>3</sup>	5tubos con 1cm <sup>3</sup>	5tubos con 0.1cm <sup>3</sup>		Interior	Superior
0	0	0	<2								
0	0	1	2	<0.5	7	4	2	1	26	9	78
0	1	0	2	<0.5	7	4	3	0	27	9	80
0	2	0	4	<0.5	11	4	3	1	33	11	93
						4	4	0	34	12	93
1	0	0	2	<0.5	7						
1	0	1	4	<0.5	11	5	0	0	23	7	70
1	1	0	4	<0.5	11	5	0	1	31	11	89
1	1	1	6	<0.5	15	5	0	2	43	15	110
12	2	0	6	<0.5	15	5	1	0	33	11	93
						5	1	1	46	16	120
2	0	0	5	<0.5	13	5	1	2	63	21	150
2	0	1	7	1	17						
2	1	0	7	1	17	5	2	0	49	17	130
2	1	1	9	2	21	5	2	1	70	23	170
2	2	0	9	2	21	5	2	2	94	28	220
2	3	0	12	3	28	5	3	0	79	25	190
						5	3	1	110	31	250
3	0	0	8	1	19	5	3	2	140	37	340
3	0	1	11	2	25						
3	1	0	11	2	25	5	3	3	180	44	500
3	1	1	14	4	34	5	4	0	130	35	300
3	2	0	14	4	34	5	4	1	170	43	490
3	2	1	17	5	46	5	4	2	220	57	700
3	3	0	17	5	46	5	4	3	280	90	850
						5	4	4	350	120	1,000
4	0	0	13	3	31	5	5	0	240	68	750
4	0	1	17	5	46	5	5	1	350	120	1,000
4	1	0	17	5	46	5	5	2	540	180	1,400
4	1	1	21	7	63	5	5	3	920	300	3,200
4	1	2	26	9	78	5	5	4	1600	640	5,800
4	0	0	22	7	67	5	5	5	=<2400		

Fuente: Dirección General de Normas, 1987.

**Tabla 15.** Clave de identificación de Enterobacterias.

Grupo I Hidrógeno Sulfurado (H<sub>2</sub>S) Positivo

Anaerogenicos (Gas negativo)								
TSI	GAS	H <sub>2</sub> S	LIA	INDOL	CITRATO	UREA	MOV	ENTEROBACTERIA
K/A	-	+ ó -	K/K	-	-	-	-	<i>Salmonella typhi</i>
Aerogenicos (Gas positivo)								
TSI	GAS	H <sub>2</sub> S	LIA	INDOL	CITRATO	UREA	MOV	ENTEROBACTERIA
K/A	2+	4+	K/K	-	+	-	-	<i>Salmonella</i>
K/A ó A/A	2+	4+	K/K	-	+	-	+	<i>Arizona</i>
K/A ó A/A	2+	4+	K/A	-	+	-	+	<i>Citrobacter</i>
K/A ó A/A	2+	4+	R/K	+ ó -	D	+	+	<i>Proteus</i>
K/A	2+	4+	K/K	+	-	-	+	<i>Eswardsiella</i>
Grupo II Hidrógeno Sulfurado (H <sub>2</sub> S) Negativos								
Anaerogenicos (Gas negativo)								
TSI	GAS	H <sub>2</sub> S	LIA	INDOL	CITRATO	UREA	MOV	ENTEROBACTERIA
K/A	-	-	K/A	+ ó -	-	-	-	<i>Shigella</i>
A/A ó K/A	-	-	K/K ó K/N	+	-	-	V	<i>Escherichia</i>
A/A ó K/A	-	-	K/A	+ ó -	+	D	+ ó V	<i>Enterobacter</i>
A/A	-	-	K/K	-	+	-	+ ó V	<i>Serratia</i>
K/A	-	-	R/A	+	D	+	+	<i>Proteus</i>
K/A	-	-	R/A	+	+	-	+ ó -	<i>Providencia</i>
A/A	-	-	A/A ó K/A	+ ó -	-	V	V	<i>Yersinia</i>
Aerogenicos (Gas positivo)								
TSI	GAS	H <sub>2</sub> S	LIA	INDOL	CITRATO	UREA	MOV	ENTEROBACTERIA
A/A ó K/A	2+	-	K/K ó K/A	+	-	-	V	<i>Escherichia</i>
A/A	4+	-	K/K	+ ó -	+	+	-	<i>Klebsiella</i>
A/A ó K/A	3+	-	K/K ó K/A	-	+	D	+ ó V	<i>Enterobacter</i>
K/A ó A/A	2+	-	K/K	-	+	-	+ ó V	<i>Serratia</i>
K/A	+	-	K/A ó R/A	+	D	+	+	<i>Proteus</i>
K/A	+	-	K/A ó A/A	-	+	-	V	<i>Paratyphi A</i>

K= alcalino; A= ácido; R= Rojo; N= neutro; V= variable

Fuente: Terragno *et al.*, 2007.

## ANEXO D Normas legales.

El Peruano Lima, miércoles 17 de marzo de 2010	<b>NORMAS LEGALES</b>	<b>415675</b>
<p>de impuestos o de derechos aduaneros de ninguna clase o denominación.</p> <p><b>Artículo 5°.-</b> La presente Resolución Suprema será reafirmada por el Presidente del Consejo de Ministros.</p> <p>Regístrese, comuníquese y publíquese.</p> <p>ALAN GARCÍA PÉREZ Presidente Constitucional de la República</p> <p>JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN Presidente del Consejo de Ministros</p> <p><b>469446-6</b></p>	<p>implica necesariamente y según corresponda, la actualización de los planes originalmente aprobados al emitirse la Certificación Ambiental;</p> <p>De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11° de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;</p>	
<b>AMBIENTE</b>	DECRETA:	
<p><b>Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales</b></p>	<p><b>Artículo 1°.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)</b></p>	
<b>DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM</b>	<p>Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.</p>	
EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA	<p><b>Artículo 2°.- Definiciones</b></p>	
CONSIDERANDO:	<p>Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:</p>	
<p>Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;</p>	<p>- <b>Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):</b> Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.</p>	
<p>Que, el numeral 32.1 del artículo 32° de la Ley General del Ambiente define al Límite Máximo Permissible - LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio;</p>	<p>- <b>Límite Máximo Permissible (LMP).</b>- Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.</p>	
<p>Que, el numeral 33.4 del artículo 33° de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplique el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;</p>	<p>- <b>Protocolo de Monitoreo.</b>- Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.</p>	
<p>Que, el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, establece como función específica de dicho Ministerio, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;</p>	<p><b>Artículo 3°.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR</b></p>	
<p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 121-2009-MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el año fscal 2009 que contiene dentro de su anexo la elaboración del Límite Máximo Permissible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de fuentes domésticas;</p>	<p>3.1 Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.</p>	
<p>Que el artículo 14° del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aprobado mediante Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, establece que el proceso de evaluación de impacto ambiental comprende medidas que aseguren, entre otros, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental, los Límites Máximos Permisibles y otros parámetros y requerimientos aprobados de acuerdo a la legislación ambiental vigente; del mismo modo, en su artículo 28° el citado reglamento señala que, la modificación del estudio ambiental o la aprobación de instrumentos de gestión ambiental complementarios,</p>	<p>3.2 Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.</p>	
	<p>3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.</p>	
	<p>3.4 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.</p>	
	<b>Artículo 4°.- Programa de Monitoreo</b>	
	<p>4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.</p>	

**Figura 18.** Límites Máximos Permisibles aprobados por el MINAM, para la descarga de efluentes de plantas de tratamiento,

Fuente: MINAM, 2010.

415676

NORMAS LEGALES

El Peruano  
Lima, miércoles 17 de marzo de 2010

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPÍ.

#### Artículo 5°.- Resultados de monitoreo

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

#### Artículo 6°.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.

#### Artículo 7°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

#### DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

**Única.-** El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en coordinación con el MINAM, aprobará el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de PTAR en un plazo no mayor a doce (12) meses contados a partir de la vigencia del presente dispositivo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los dieciséis días del mes de marzo del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ  
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG  
Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO  
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

#### ANEXO

#### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	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

469446-2

Designan responsable de brindar información pública y del contenido del portal de internet institucional del Ministerio

#### RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 036-2010-MINAM

Lima, 16 de marzo de 2010

#### CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013, se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

Que, la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, cuyo Texto Único Ordenado fue aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM, tiene por finalidad promover la transparencia de los actos del Estado y regular el derecho fundamental del acceso a la información consagrado en el numeral 5 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú;

Que, el artículo 3° de la citada Ley, señala que el Estado tiene la obligación de entregar la información que demanden las personas en aplicación del principio de publicidad, para cuyo efecto se designa al funcionario responsable de entregar la información solicitada;

Que, asimismo, de acuerdo a lo previsto en el artículo 5° de la mencionada Ley, las Entidades Públicas deben identificar al funcionario responsable de la elaboración de los Portales de Internet;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 070-2008-MINAM, se designó a la señorita Cristina Miranda Beas, como funcionaria responsable de brindar información que demanden las personas, y responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet del Ministerio del Ambiente;

Que, por razones del servicio y considerando la renuncia al cargo que desempeñaba en el Ministerio del Ambiente la servidora citada en el considerando precedente, resulta necesario designar al personal responsable de brindar información en el marco de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y responsable del Portal de Internet Institucional;

Con el visado de la Secretaría General y de la Oficina de Asesoría Jurídica; y

De conformidad con lo establecido en el Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente; el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM; y el Decreto Supremo N° 007-2008-MINAM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

#### SE RESUELVE:

**Artículo 1°.-** Designar al abogado Hugo Milko Ortega Polar como Responsable de brindar la información pública del Ministerio del Ambiente y Responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet Institucional, de conformidad con el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM.

**Artículo 2°.-** Todos los órganos del Ministerio del Ambiente, bajo responsabilidad, deberán facilitar la información y/o documentación que les sea solicitada como consecuencia de lo dispuesto en el artículo precedente, dentro de los plazos establecidos en la normatividad vigente.

**Artículo 3°.-** Disponer que la presente Resolución se publique en el Diario Oficial El Peruano y en Portal de Internet del Ministerio del Ambiente.

**Artículo 4°.-** Notificar la presente Resolución a todos los órganos del Ministerio del Ambiente, al Órgano de Control Institucional y al responsable designado.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG  
Ministro del Ambiente

469445-1

**Figura 19.** Límites Máximos Permisibles aprobados por el MINAM, para la descarga de efluentes de plantas de tratamiento

Fuente: MINAM, 2010.

## Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO  
N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

### Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

### Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

### Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

#### 3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

##### a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

##### - A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

##### - A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

##### - A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

##### b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

**Figura 20.** Aprobación de estándares de calidad ambiental (ECA) para agua.

Fuente: (MINAM, 2017).

**- B1. Contacto primario**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

**- B2. Contacto secundario**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

**3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales**

**a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

**b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

**c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

**d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

**3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**

**a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

**- Agua para riego no restringido**

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

**- Agua para riego restringido**

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

**b) Subcategoría D2: Bebida de animales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

**3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

**a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

**b) Subcategoría E2: Ríos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

**- Ríos de la costa y sierra**

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

**- Ríos de la selva**

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

**c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos**

**- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

**- Marinos**

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precísese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermiales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

**Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua**

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

**Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio**

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

**Figura 21.** Aprobación de estándares de calidad ambiental (ECA) para agua.

Fuente: (MINAM, 2017).

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

#### **Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua**

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

#### **Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla**

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

#### **Artículo 8.- Sistematización de la información**

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

#### **Artículo 9.- Refrendo**

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

#### **DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES**

##### **Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados**

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

##### **Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua**

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

##### **Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas**

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

#### **DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS**

##### **Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente**

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

##### **Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas**

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

##### **Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados**

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

**Figura 22.** Aprobación de estándares de calidad ambiental (ECA) para agua.

Fuente: (MINAM, 2017).

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA  
DEROGATORIA**

**Única.- Derogación de normas referidas a  
Estándares de Calidad Ambiental para Agua**

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD  
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN  
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS  
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES  
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN  
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA  
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI  
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

**ANEXO**

**Categoría 1: Poblacional y Recreacional**

**Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antrópico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO <sub>3</sub> -) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO <sub>2</sub> -) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

**Figura 23.** Categoría: 1. ECAs para uso poblacional y recreacional calidad ambiental.

Fuente: (MINAM, 2017).

14

**NORMAS LEGALES**

Miércoles 7 de junio de 2017 / **El Peruano**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
<b>ORGÁNICOS</b>				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C <sub>8</sub> - C <sub>47</sub> )	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	( e )	1,0	1,0	1,0
Bromoforno	mg/L	0,1	**	**
Cloroforno	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0,06	**	**
<b>I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</b>				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
<b>BTEX</b>				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
<b>Organofosforados</b>				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
<b>Organoclorados</b>				
Aldrín + Dieldrín	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
<b>Carbamato</b>				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
<b>II. CIANOTOXINAS</b>				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
<b>III. BIFENILOS POLICLORADOS</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS</b>				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 <sup>6</sup>	<5x10 <sup>6</sup>

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub>).

**Figura 24.** Categoría: 1. ECAs para uso poblacional y recreacional calidad ambiental.

Fuente: (MINAM, 2017).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{E_{CA\text{Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{E_{CA\text{Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodichlorometano}}}{E_{CA\text{Bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{E_{CA\text{Bromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 1:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

**Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ )	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )	mg/L	10	**
Nitritos ( $\text{NO}_2\text{-N}$ )	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
<b>INORGÁNICOS</b>			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Niquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

**Nota 2:**

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.

- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

**Figura 25.** Categoría: 1. ECAs para uso poblacional y recreacional calidad ambiental.

Fuente: (MINAM, 2017).

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	80	80	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>					
Amoniaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Niquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
<b>ORGÁNICO</b>					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
<b>Bifenilos Policlorados</b>					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
<b>ORGANOLÉPTICO</b>					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
<b>MICROBIOLÓGICO</b>					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

(d) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

**Área Restringida:** Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 3:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoniaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH<sub>3</sub>).

**Figura 26.** Categoría: 2. ECAs para uso de extracción cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Fuente: (MINAM, 2017).

**Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoniaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH<sub>3</sub>)**

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

**Nota:**

(\*)El estándar de calidad de Amoniaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(\*\*)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoniaco-N (NH<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoniaco (NH<sub>3</sub>).

**Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>FISICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24

**ORGÁNICO**

**Bifenilos Policlorados**

Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04	0,045
------------------------------	------	------	-------

**PLAGUICIDAS**

Paratión	µg/L	35	35
----------	------	----	----

**Organoclorados**

Aldrin	µg/L	0,004	0,7
Clordano	µg/L	0,006	7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001	30
Dieldrin	µg/L	0,5	0,5
Endosulfán	µg/L	0,01	0,01
Endrin	µg/L	0,004	0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01	0,03
Lindano	µg/L	4	4

**Carbamato**

Aldicarb	µg/L	1	11
----------	------	---	----

**MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO**

Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 4:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

**Figura 27. Categoría: 3. ECAs para uso de riego y bebidas de animales.**

Fuente: (MINAM, 2017).

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
<b>ORGÁNICOS</b>						
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles</b>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
<b>BTEX</b>						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Bifenilos Policlorados</b>						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
<b>PLAGUICIDAS</b>						
<b>Organofosforados</b>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
<b>Organoclorados</b>						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,000019	0,000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,000023	0,000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Figura 28. Categoría: 4. ECAs para la conservación del ambiente acuático.

Fuente: (MINAM, 2017).

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Rios		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Carbamato</b>						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
<b>MICROBIOLÓGICO</b>						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

- (a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).  
 (b) Después de la filtración simple.  
 (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos ( $\text{NO}_3$ ).  
 $\Delta$  3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 5:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.
- (1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de  $\text{NH}_3$ ) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- (2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de  $\text{NH}_3$ ).

**Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de  $\text{NH}_3$ )**

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
<b>Salinidad 10 g/kg</b>								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,60	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00
7,4	17,00	12,00	7,80	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,60	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,80	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
<b>Salinidad 20 g/kg</b>								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
<b>Salinidad 30 g/kg</b>								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	3,10	1,80	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8,8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

**Notas:**

(\*)El estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(\*\*)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

**NOTA GENERAL:**

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo  $\Delta$  significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.
- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

**1529835-2**

**Figura 29. Categoría: 4. ECAs para la conservación del ambiente acuático.**

Fuente: (MINAM, 2017).



*Universidad Nacional del Altiplano de Puno*

Facultad de Ciencias Biológicas  
Escuela Profesional de Biología  
Programa Académico de Microbiología y Laboratorio Clínico  
Laboratorio de Botánica y Biotecnología



## CONSTANCIA

LA QUE SUSCRIBE, **DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS DE LA UNA – PUNO.**

HACE CONSTAR:

Que el (la) Bachiller **DAVID PASTOR LUQUE PACOMPIA**, egresado (a) de la Escuela Profesional de Biología de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, ha realizado **los análisis microbiológicos de coliformes** de su trabajo de investigación (Tesis) titulado: **REMOCIÓN DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO) DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL DE AZOGUINI PUNO (2019) MEDIANTE UN BIOREACTOR DE FANGOS ACTIVADOS**, en el laboratorio de Botánica y Biotecnología, del Programa Académico de Microbiología y Laboratorio Clínico de la Escuela Profesional de Biología, entre los meses de agosto a noviembre del 2019.

Se le expide la presente Constancia a solicitud del (a) interesado (a) para los fines que se estime por conveniente.

Puno, 26 de octubre del 2020.



**UNA**  
PUNO

Firmado digitalmente por LAURA  
CHAUCA DE MEZA Eva FAU  
20145496170 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 27.10.2020 17:06:47 -05:00

**M. Sc. EVA LAURA CHAUCA**  
**DECANO**  
**FCCBB – UNA Puno**



## CONSTANCIA

EL COORDINADOR DEL LABORATORIO CONTINENTA DEL PUNO DEL INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

**HACE CONSTAR:**

Que el sr. **David Pastor LUQUE PACOMPIA**, bachiller en Biología de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, ha realizado sus pruebas de Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub> para su tesis titulada: **"Remoción de Coliformes Termotolerantes y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de Aguas Residuales del camal de Azoguini Puno (2019) Mediante un Biorreactor de Fangos Activados"**, en el Laboratorio Continental de Puno entre los meses de agosto a octubre del año 2019, con el siguiente detalle:

Análisis Físicoquímico	Tipo de muestra	Cantidad	Unidad de medida	Resultado
Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Agua residual cruda	1000 ml	mg/ L	168.17
	Agua residual cruda	1000 ml	mg/ L	138.84
	Agua residual tratada	1000 ml	mg/ L	58.60
	Agua residual cruda	1000 ml	mg/ L	161.33
	Agua residual tratada	1000 ml	mg/ L	62.67
	Agua residual cruda	1000 ml	mg/ L	152.20
	Agua residual tratada	1000 ml	mg/ L	63.33

Se expide el presente a solicitud personal para fines administrativos que crea por conveniente.

Puno, 12 de octubre del 2020

INSTITUTO DEL MAR DEL PERU  
 BILGUEZ, ROSA MARIA PERALTA  
 COORDINADORA DEL LABORATORIO CONTINENTAL DE PUNO

**CERTIFICO: QUE LA PRESENTE COPIA FOTOSTÁTICA GUARDA ABSOLUTA CONFORMIDAD CON LA ORIGINAL EXHIBIDA ANTE MI, DE LO QUE DOY FE**  
 03 NOV 2020  
 PUNO,

**LUIS E. MARRIQUE SALAS**  
 NOTARIO - ABOGADO

LUIS E. MARRIQUE SALAS  
 INSCRIP. CAP. 136  
 ONP. 14  
 Notario de Puno

