



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



**EFFECTO DE LA AIREACIÓN EN AGUAS DE LA LAGUNA DE  
ESTABILIZACIÓN ESPINAR EN LA REMOCIÓN DE BACTERIAS  
COLIFORMES TOTALES Y TERMOTOLERANTES Y PRESENCIA  
DE ORGANISMOS EN CONDICIONES DE LABORATORIO**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**Br. VICTORIA ISABEL LUQUE ROMERO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**LICENCIADA EN BIOLOGÍA**

**PUNO - PERÚ**

**2020**



## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres por haberme formado como la persona que soy ahora, a los cuales les debo y agradezco todos mis logros alcanzados. Quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre, los amo mucho.

*Victoria Isabel Luque Romero*



## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas y docentes que inculcaron en mi formación profesional.

A Dios por ser la luz incondicional que ha guiado mi camino.

A mis padres que con su gran esfuerzo y apoyo pude realizar mi tesis.

A mis queridos docentes que apoyaron en mi formación profesional con mucha paciencia, responsabilidad y profesionalismo y en especial a mí Asesor de tesis quien estuvo guiándome académicamente con su gran experiencia.

*Victoria Isabel Luque Romero*



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN** ..... 9

**ABSTRACT**..... 10

### **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 Aguas residuales ..... 18

2.2.2 Aireación de aguas residuales ..... 23

2.2.3 Oxidación del agua residual..... 24

2.2.4 Bacterias coliformes..... 25

2.2.5 Protozoos..... 28

2.2.6 Metazoos y algas verdes ..... 28

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

**3.1 ZONA DE ESTUDIO** ..... 30

**3.2 TIPO DE ESTUDIO**..... 30

**3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA** ..... 31

**3.4 METODOLOGÍA** ..... 31

3.4.1 Evaluación del efecto de la aireación de aguas residuales de la laguna

Espinar en la remoción de coliformes..... 31



3.4.2 Identificación de los organismos protozoos y metazoos..... 33

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**4.1 REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y TERMOTOLERANTES  
EN AGUAS RESIDUALES ..... 35**

**4.2 ORGANISMOS PROTOZOOS Y METAZOOS EN EL PROCESO DE  
AIREACIÓN DE AGUAS ..... 43**

**V. CONCLUSIONES ..... 48**

**VI. RECOMENDACIONES ..... 49**

**VII. REFERENCIAS ..... 50**

**ANEXOS..... 57**

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

**Área:** Ciencias Biomédicas

**Tema:** Biotecnología



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Zonas de muestreo de aguas residuales en la laguna Espinar. ....	30
<b>Figura 2.</b> Regresión lineal y coeficiente de determinación de la remoción de bacterias coliformes totales y el tiempo de aireación. ....	37
<b>Figura 3.</b> Efecto de la aireación en el crecimiento en aguas de la laguna Espinar, laboratorio de Botánica y Biotecnología, julio – setiembre 2019. ....	38
<b>Figura 4.</b> Regresión lineal y coeficiente de determinación de la remoción de bacterias coliformes termotolerantes y el tiempo de aireación. ....	41
<b>Figura 5.</b> Organismos identificados en muestras de agua de la laguna Espinar, laboratorio de Botánica y Biotecnología, julio – setiembre 2019. <i>Keratella</i> sp (a), <i>Arcella</i> sp (b), <i>Acineta</i> sp (c), <i>Chlamydomonas</i> sp (d), nemátodo (e), <i>Aspidisca</i> sp (f), <i>Paramecium caudatum</i> (g), <i>Podophrya</i> sp (h), <i>Opercularia</i> sp (i) y <i>Vorticella</i> sp (j superior) y <i>Telotrocho</i> sp (j inferior). ....	45



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características de la calidad fisicoquímica para agua residual doméstica.....	19
<b>Tabla 2.</b> Parámetros físicos de la calidad del agua residual.....	22
<b>Tabla 3.</b> Distribución de muestreos en diseño de bloque completo al azar. ....	31
<b>Tabla 4.</b> Criterio de abundancia de protistas y metazoos (Martínez, 2016). ....	34
<b>Tabla 5.</b> Remoción de la carga bacteriana de coliformes totales (NMP/100 ml) en muestras de agua de la laguna Espinar con y sin aireación, laboratorio de Botánica y Biotecnología – FCCBB, julio – setiembre 2019. ....	36
<b>Tabla 6.</b> Remoción de la carga bacteriana de coliformes termotolerantes en muestras de agua de la laguna Espinar con y sin aireación, laboratorio de Botánica y Biotecnología – FCCBB, julio – setiembre 2019.....	40
<b>Tabla 7.</b> Abundancia de organismos en muestras de aguas de la laguna Espinar, laboratorio de Botánica y Biotecnología, setiembre – 2019. ....	43
<b>Tabla 8.</b> Informe de los resultados de análisis fisicoquímicos adicionales del agua. ....	57



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

°T: temperatura

μm: micrómetro

C. V.: coeficiente de variabilidad

*et al.*: y colaboradores

mS/cm: miliSiemens por centímetro

NMP/100 ml: número más probable por 100 ml

OD: oxígeno disuelto

P: probabilidad

pH: potencial de hidrogeniones

r: correlación de Pearson

R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación



## RESUMEN

La investigación se realizó en el Laboratorio de Botánica y Biotecnología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNA Puno, durante los meses de junio – setiembre 2019. **Los objetivos específicos** fueron: a) evaluar el efecto de la aireación en muestras de aguas residuales de la laguna Espinar de la ciudad de Puno en la remoción de coliformes totales y termotolerantes durante 1, 3, 5 y 7 días y b) identificar organismos microscópicos presentes en el proceso de aireación de aguas residuales de la laguna Espinar de la ciudad de Puno. **La metodología** inició con la recolección de muestras de agua residual de la laguna Espinar de la ciudad de Puno, luego fueron dispuestas en acuarios de 5 litros, a los cuales se airearon, las evaluaciones se realizaron antes de la aireación y luego de 24 (un día), 72 (3 días), 120 (cinco días) y 168 (7 días) horas de aireación, cuantificando la carga bacteriana de coliformes totales (CT) y termotolerantes (CTT), determinándose el porcentaje de remoción (PR), a continuación se realizó la identificación y cuantificación de organismos por campo óptico para determinar si la aireación influye en la presencia de dichos organismos, los valores numéricos fueron evaluados mediante pruebas de correlación lineal, regresión y coeficiente de determinación. **Los resultados fueron:** el método de aireación en las aguas residuales permitió disminuir la cantidad de 2400 NMP/100 ml a 33 NMP/100 ml en coliformes totales y de 2400 NMP/100 ml a 3.5 NMP/100 ml para coliformes termotolerantes y se logró identificar especies como *Chlamydomonas* sp, *Aspidisca* sp, *Paramecium caudatum*, *Podophrya* sp, *Opercularia* sp, *Telotrocho* sp, *Keratella* sp, *Arcella* sp, *Acineta* sp, nematodo y *Vorticella* sp., indistintamente algunas presentaron una escala de distribución ocasional, frecuente, secundario y dominante. **Se concluye** que la aireación de un agua residual disminuye la carga bacteriana patógena de coliformes y se debe a la presencia de organismos protozoos, rotíferos, nemátodos y algas verdes.

**Palabras clave:** aireación, aguas residuales, coliformes, organismos acuáticos, laguna Espinar, Puno.



## ABSTRACT

The research was carried out in the Laboratory of Botany and Biotechnology of the Faculty of Biological Sciences of UNA Puno, during the months of June - September 2019. The specific objectives were: a) evaluate the effect of aeration in wastewater samples from the Espinar lagoon of the city of Puno in the removal of total and thermotolerant coliforms and b) identify the protozoan and metazoan organisms present in the wastewater aeration process of the Espinar lagoon of the city of Puno. The methodology began with the collection of samples of wastewater from the Espinar lagoon in the city of Puno, then they were placed in 5 L aquariums, to which they were aired, the evaluations were carried out before aeration and after 24 (a day), 72 (3 days), 120 (five days) and 168 (7 days) hours of aeration, quantifying the bacterial load of total coliforms (CT) and thermotolerant (CTT), determining the percentage of removal (PR), a The identification and quantification of protozoa and metazoans were then carried out to determine if aeration influences the presence of these organisms, the numerical values will be evaluated by means of linear correlation tests, regression and coefficient of determination. The results were: the wastewater aeration method allowed a reduction in the amount from 2400 NMP/100 ml to 33 NMP/100 ml in total coliforms and from 2400 NMP/100 ml to 3.5 NMP/100 ml for thermotolerant coliforms, and species identified were *Chlamydomonas* sp, *Aspidisca* sp, *Paramecium caudatum*, *Podophrya* sp, *Opercularia* sp, *Telotrocho* sp, *Keratella* sp, *Arcella* sp, *Acineta* sp, nematode and *Vorticella* sp, indistinctly some presented an occasional, frequent, secondary and dominant distribution scale. It is concluded that the aeration of a residual water decreases the pathogenic bacterial load of coliforms and is due to the presence of invertebrate microorganisms.

**Key words:** aeration, sewage, coliforms, invertebrates, Espinar lagoon, Puno.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En Perú, como en la mayoría de países tenemos los panoramas en el tratamiento de agua residual, tales como las aguas residuales domésticas o industriales que van al alcantarillado y, las aguas residuales que debe tratar cada empresa privada o pública, bajo su responsabilidad y cumpliendo los estándares indicados por la ley nacional, donde según la ONU, el 80 % de las aguas residuales mundiales no se descontaminan antes de su vertimiento o rehúso, lo que ocasiona, no sólo la contaminación de la flora y fauna, sino, enfermedades y muertes prematuras que cuestan anualmente varios cientos de miles de millones al PBI del planeta.

Las entidades reguladoras en Perú, encargadas de supervisar el cumplimiento de los decretos supremos relacionados al tratamiento de agua residual, por ejemplo, la OS090, la OS037, además de, el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles y de los valores de ECA a los que se compromete cada empresa privada o pública, cuando solicita un permiso para realizar vertimiento, riego o rehúso del agua efluente; cumplen con su trabajo de forma exhaustiva, pero, la obligación de cumplir con estas normativas no debería sólo responder al hecho de evitar una multa, sino, a una concientización y respeto por el medio ambiente. Existen muchas plantas de tratamiento de agua residual que no funcionan de forma correcta, porque fueron dimensionadas y que no son eficientes, cuentan con una tecnología no recomendada para el clima en el que han sido instaladas, son módulos importados que no funcionan en la realidad peruana, entre otras problemáticas.

Al inicio del proceso de aireación de aguas residuales, se observa la presencia de amebas y flagelados, posteriormente aparecieron protozoarios holozoicos, y los ciliados nadadores (*Ciclydium*, *Aspidisca*), quienes se reprodujeron en altas densidades reduciendo el material suspendido del licor de mezcla, generando las condiciones para el inicio del climax del sistema, apareciendo luego los ciliados fijos como: *Opercularia*, *Epistylis*; y micrometazoarios como rotíferos: *Philodina*, *Lecane*; y Copépodos: *Cyclops* y nemátodos, en ese sentido se desea estudiar los organismos en el proceso de aireación de aguas residuales con la finalidad de indicar su función en dicho proceso que estaría



relacionado con la remoción de materia orgánica y la disminución de bacterias patógenas con las coliformes fecales y termololerantes.

La depuración biológica por lodos activados es un proceso biológico empleado en el tratamiento de aguas residuales convencional, que consiste en el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculo en un depósito agitado, aireado y alimentado con el agua residual, que es capaz de metabolizar como nutrientes los contaminantes biológicos presentes en esa agua. La aireación requerida tiene por objeto suministrar el oxígeno necesario tanto para las bacterias como para el resto de los microorganismos aerobios, el cual puede provenir del aire, de un gas enriquecido en oxígeno o de oxígeno puro.

En nuestra ciudad de Puno, las aguas residuales día a día vienen ingresando casi directamente a la bahía interior de Puno, portando una altísima carga bacteriana de coliformes, altos niveles de nitrógeno, fósforo, entre otros contaminantes, afectando la calidad fisicoquímica de sus aguas y por tanto a la diversa flora y fauna existente en dicho ecosistema, éstas se almacenan temporalmente en la laguna Espinar, pero al no poseer tratamiento alguno discurre al lago Titicaca. El motivo de estudio de esta investigación, radica en que desea experimentar si un proceso de aireación, disminuiría el recuento de coliformes totales y termotolerantes, así como si existe la activación de organismos en la disminución bacteriana, ya que es uno de los muchos efectos que originan al ingresar el agua residual al Titicaca.

De este modo se desea contribuir con este estudio, al tratamiento de las aguas residuales en la disminución de coliformes, mediante la activación de organismos aeróbicos entre ellos muchas bacterias, protozoos, metazoos y algas verdes, los cuales se constituirían en una alternativa ecológica en el tratamiento de aguas residuales en las condiciones de la ciudad de Puno.



Por tales razones esta investigación tuvo los siguientes objetivos:

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar el efecto de la aireación en aguas residuales de la laguna de estabilización Espinar en la remoción de bacterias coliformes totales y termotolerantes y presencia de organismos en condiciones de laboratorio.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar el efecto de la aireación en muestras de aguas residuales de la laguna Espinar de la ciudad de Puno en la remoción de coliformes totales y termotolerantes durante un día, 3 días, 5 días y 7 días de tratamiento.
- Identificar los organismos microscópicos presentes en el proceso de aireación de aguas residuales de la laguna Espinar de la ciudad de Puno.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES

En Panamá, el funcionamiento y la eficiencia de un sistema de lodos activados, a escala de laboratorio con mediciones en un período aproximado de tres meses, obtuvo una remoción de DQO de 54%, de sólidos suspendidos de 70% y de DBO de 83%, siendo apto para la reducción de materia orgánica, entre los organismos reportados se encuentran *Cyclops* sp, *Cocconus* sp, *Oedogonium* sp, *Epistylis plicastilis* (Alpírez *et al.*, 2017), en Medellín (Colombia), se observó al microscopio la biomasa de un biorreactor de lodos activados, reportando especies, como vorticelas, protozoos ciliados sésiles, adheridas al floc, luego aparecen algunos protozoos flagelados y amebas, indicadores de una alta relación alimento/microorganismo, estos metazoos indican ausencia de tóxicos en el afluente, una buena cantidad de OD, y una edad de lodos alta (Muñoz & López, 2011); en Bogotá (Colombia), en análisis de laboratorio encontraron que el porcentaje de remoción de la DBO es del 12%, debido a que la planta no tiene el funcionamiento correcto por la falta de aireación y recirculación de los lodos, y que al mantener un suministro de oxígeno constante a las bacterias oxidarían la materia orgánica y se mantendría el proceso de lodos activados (Arroba & Ávila, 2015); en el mismo país, las concentraciones iniciales y finales de DQO, DBO y sólidos suspendidos totales, implementando microorganismos aerobios identificados en el sistema de tratamiento de lodos activados, permitió la remoción de un 79.8% de carga orgánica en el reactor, contribuyendo a un buen funcionamiento de la PTAR, e identificaron bacterias que realizan el proceso de remoción y hongos *Fusarium*, *Penicillium* y *Aspergillus* (Bejarano & Escobar, 2015).

En Cundinamarca (Colombia), el comportamiento del metanol en un sistema de lodos activados (aireación) evidenciaron pérdidas significativas (11.2%), lo que confirma su propiedad de volatilización y se mantiene estable en cuanto a la cantidad de sólidos suspendidos, demostrando que el lodo cumplía con los requisitos óptimos de alimentación, pH y oxigenación para tener un buen funcionamiento como tratamiento biotecnológico de aguas residuales Caravali *et al.* (2016); en Tingo María (Perú), un



sistema de lodos activados a escala de laboratorio, con una cuba de aireación de 20.5 x 21 x 31 cm (13.8 litros), disminuyó la carga orgánica con un promedio en la entrada de 1046.45 ppm y en el reactor 267.96 ppm, la biomasa microbiana incrementó en promedio de 715.75 ppm, 1872.09 ppm, 7732.36 ppm para la entrada al reactor, en la cuba de aireación y en la recirculación respectivamente Cerna (2014); en Puno (Perú), el nivel de remoción del sustrato de materia orgánica soluble en el agua residual urbana mediante sistema de reactores aireados, redujo la DQO de 510 mg/l a 205 mg/l, la DBO de 250 mg/l a 88 mg/l y sólidos suspendidos totales de 2200 mg/l a 20 mg/l, en un tiempo de 8 horas corridas, en intervalos de hora y media para tomar muestras y para un volumen de agua residual de 100 litros (Condori & Ruelas, 2017); en Lima (Perú), experimentos en el tratamiento de los lixiviados con tecnología de lodos activados, con un caudal de 144 litros/día y una retención de 30 horas, obtuvieron DBO<sub>5</sub> de 191.7 mg/l, una DQO de 587.0 mg/l, una relación de DBO<sub>5</sub>/DQO igual a 0.33 iniciales, 72% de la presencia biológica, y finalmente DBO<sub>5</sub> de 22.55 mg/l con una remoción del 88.24% y una DQO de 193 mg/l con una remoción del 70.87% de la misma (Dávila & Granda, 2013).

En Pasto (Colombia), un efectivo funcionamiento del reactor de lodos activados, disminuyó los parámetros de DBO y DQO, incrementó los parámetros microbiológicos como coliformes totales y *E. coli*, y aumentó considerablemente el oxígeno disuelto, siendo de gran importancia en el estudio biológico en tratamientos de aguas residuales (Eraso & Ruíz, 2015); en Lima (Perú), el agua residual proveniente de un camal, caracterizado por contener alta carga orgánica fue tratada por medio de otro tratamiento biológico (aireación), lográndose la reducción de la DBO de 3200 mg/l a 1638 mg/l, la DQO de 8810 mg/l a 3300 mg/l, con un tiempo de retención hidráulica de 17 horas (Garibay & Orellana, 2011); en Zulia (Venezuela), en plantas procesadoras de cangrejos la generación de aguas residuales por kg de cangrejo procesado es de 7.48 litros, pero son susceptibles de tratamiento biológico alcanzando una depuración eficiente (aireación), lográndose constantes que regulan su funcionamiento tales como  $K= 0.0046 \text{ L}/(\text{mg DQO}/\text{d})$ , coeficiente de correlación del 91.4%;  $YT= 0.5442 \text{ mg SSV}/ \text{mg DQO}$  y  $K_d= 0.1175/\text{d}$ , ambas con coeficientes de correlación de 93.9% (Herrera *et al.*, 2007); en Huancayo (Perú), el comportamiento del sistema de nanoburbujeo en la eliminación de la DQO, se evaluó 1 m<sup>3</sup> de agua del sedimentador primario, con diferentes los tiempos de inyección, a las dos horas el porcentaje de remoción fue bajo 0.87%, a las 8 horas de inyección de aire (aireación) el porcentaje es el máximo 79.92% y a las 10 horas no hay



una disminución de la DQO, posiblemente por una deficiente agitación (Macassi, 2017).

En Valle del Cauca (Colombia), el tratamiento a base de lodos activados en la modalidad de estabilización por contacto es una tecnología biológica ampliamente utilizada para el tratamiento del agua residual, la clarificación primaria incrementó un 44% de la concentración de materia orgánica biodegradable, y en las dos configuraciones evaluadas, el SLAEC alcanzó eficiencias de reducción de DQO, DBO<sub>5</sub> y SST superiores al 76% (Mañunga *et al.*, 2012); en Alicante (España), la valoración de fango activado mediante control microscópico de forma periódica, caracterizó la microestructura de los flóculos y los microorganismos en los lodos, por ser una herramienta útil para el control de los procesos de depuración biológica, manteniéndose los parámetros operacionales durante todo el estudio y las eficiencias de eliminación de DQO superaron el 90% (Martos, 2016); en Lima (Perú), el tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio, se identificaron 15 especies: 2 de protozoarios ciliados fijos, 2 protozoarios ciliados nadadores, 2 protozoarios flagelados, 3 rotíferos, 1 copépodo, 1 nematodo, 3 rhizópodos y 1 ostrácoda, cumpliendo un rol fundamental en la degradación de la materia orgánica, la presencia y abundancia indican el nivel de tratamiento de los lodos activados (Méndez *et al.*, 2004); en Guayaquil (Ecuador), la eficiencia del reactor de lodos y del tratamiento del agua residual que involucra la integración de procesos químicos, físicos y biológicos, con una relación alimento / microorganismos de 0.27 y edad de lodos de 18 días, se estableció que el sistema presenta conversiones de sustrato por encima del 92% y los valores de DQO total resultaron por debajo del LMP establecido por las normas ambientales (Morales, 2013);

En Concepción (Chile), se monitoreó parámetros fisicoquímicos en el tratamiento biológico de residuos líquidos mediante lodos activados, como resultado, se obtuvo una eficiencia de eliminación de materia orgánica de 60% y que disminuyó de 76 a 20%, debido a la disminución de la actividad heterótrofa en la hora 6 y su aumento la hora 24, lo que concordó con las oscilaciones en el número de ciliados fijos y rotíferos, que además tuvo su menor valor 73 y 78 organismos/ml, respectivamente, durante el período de más baja eliminación (Morales, 2014); en Tlaxcala (México), en un sistema de lodos activados a escala piloto, las concentraciones promedio de coliformes totales (CT), *E. coli* (EC) y DQO en el efluente fueron  $8.03 \times 10^6$ ,  $4.13 \times 10^6$  NMP/100 ml y 528 mg/l, respectivamente, luego los porcentajes de remoción fueron de 99.84%, 99.92% y 92.78%



para CT, EC y DQO, respectivamente, en un tiempo de residencia de 11 horas, asimismo las comunidades pueden utilizar este sistema para reusar el agua residual tratada en el riego agrícola (Muñoz & Baumann, 2017); en Huancayo (Perú), monitoreos diarios de temperatura, pH y oxígeno disuelto, se utilizó sensores donde los valores promedio de los datos son: 15.4 °C; 7.4 y 2.4 ppm respectivamente; el tiempo de residencia fueron de 0.6 día; 1.0 día y 1.3 días, en el análisis de la DQO se obtuvo los valores de 216 ppm, 224 ppm y 230 ppm (Chocce & Galarza, 2012); en Quito (Ecuador), a partir de sedimentos acuáticos de la laguna sintética de la USFQ y manto de lodos UASB, a escala de laboratorio, la demanda química de oxígeno, los sólidos suspendidos y la producción de metano en 110 días se estableció la eficiencia del reactor UASB del 48.28% en la remoción de la materia orgánica, por lo cual muestran que las bacterias anaeróbicas fueron capaces de recuperar su actividad microbiana al reducir la alimentación de la carga orgánica incluso después de haber sido sometidas a una concentración elevada y tóxica de sustrato (López, 2011).

En Tlalpan (México), distintos procedimientos que se debe utilizar para realizar un balance de masas para establecer un seguimiento de la relación alimento/microorganismos, así como de la recirculación y purga de lodos, con la finalidad de mantener un sistema maduro, el uso de guías para establecer un adecuado control del sistema y elaborar una serie de registros, los cuales deben contener el proyecto ejecutivo de la planta de tratamiento y los resultados de los parámetros que se analizan rutinariamente (CONAGUA, 2016); en Colombia, para un tratamiento primario, una porción de los sólidos suspendidos y la materia orgánica es eliminada del agua residual, tal remoción es realizada por procesos físicos, en el cual el efluente del tratamiento primario contiene, comúnmente, grandes cantidades de materia orgánica, por lo tanto, una DBO alta, el tratamiento secundario contiene pequeñas cantidades de DBO y sólidos suspendidos y concentraciones variables de oxígeno disuelto por la cual para la remoción de la DBO carbonácea, la coagulación de los sólidos no sedimentables y disueltos y la estabilización de la materia orgánica, intervienen una serie de diferentes microorganismos como hongos, algas, protozoos y rotíferos (Moeller & Tomasini, 2010); en Loja (Ecuador), con ayuda del procedimiento de un modelo matemático del sistema A2/O (anaerobio-anóxico-aerobio, la aplicación combinada de los diferentes componentes alcanzó altos niveles de remoción de contaminantes: DBO<sub>5</sub> (98.08%), DQO (97.08%), SST (97.63%), PT(99.45%), NT (93.01%) y NTK (96.10%) a caudal máximo y DBO<sub>5</sub>



(97.93%), DQO (96.86%), SST (97.45%), PT(99.24%), NT (93.05%) y NTK (96.16%) a caudal promedio, estos valores obtenidos corresponden a la condición más crítica, la cual se relaciona con la temperatura mínima del agua residual, en el modelo de análisis elegido (Ortiz, 2011); en Granada (España), los valores de DBO<sub>5</sub> en el agua en el experimento 1 fueron conformes a los límites de vertido establecidos por la Directiva 91/271/CEE, de 25 mg/l, los valores de DQO en los experimentos 1 y 2, son acordes con los requerimientos exigibles (125 mg O<sub>2</sub>/l), en el 4 experimento los SSV fueron desde 6.1673 g/l como valor máximo a 4.3206 g/l como valor mínimo (Cortés, 2012).

En Valencia (España), el agua afluyente a la EDAR, la concentración media de la DQO se encontró sobre los 51.4 mgO<sub>2</sub>/l, en el caso de la DBO<sub>5</sub> la concentración es de 17.2 mgO<sub>2</sub>/l, en tres de los ocho muestreos realizados se describen como especies codominantes *Aspidisca cicada* y el complejo *Vorticella aquadulcis* en alguno de los muestreos han sido: *Trochilia minuta*, *Acineria uncinata*, *Entosiphon sp.* y *Holophrya sp* (Martínez, 2016); en Pereira (Colombia), la remoción de DBO<sub>5</sub> para el humedal 1 es de 3.08 g/día y para el humedal 2 una remoción de 2.56 g/día, la remoción de coliformes totales en ambos humedales, UFC de *E. coli* por cada 100 ml, durante todas las semanas se presentó una remoción en los dos humedales, excepto en la semana 9 que se presentó una remoción negativa para el humedal 2, en algunas semanas se presentaron remociones del 100 % (Marín & Correa, 2010).

## 2.2 MARCO TEÓRICO

### 2.2.1 Aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. Las principales propiedades físicas del agua residual, así como sus principales constituyentes químicos y biológicos, y su procedencia (Arroba & Ávila, 2015). Es conveniente observar que muchos de los parámetros que aparecen en la tabla están relacionados entre ellos. Por ejemplo, una propiedad física como la temperatura afecta tanto a la actividad biológica como a la cantidad de gases disueltos en el agua residual (Caravali *et al.*, 2016) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Características de la calidad fisicoquímica para agua residual doméstica.

<b>Parámetro fisicoquímico</b>	<b>Descripción</b>	<b>Concentración</b>	<b>Intervalo típico</b>
Sólidos totales	Inorgánicos y orgánicos, sedimentables suspendidos y materia disuelta.	375 – 1800	730
Sedimentables (mg/l)	Porción de sólidos orgánicos e inorgánicos, que sedimentan durante una hora en un cono Imhoff	5 – 20	10
Suspendidos totales o SST (mg/l)	Porción de sólidos orgánicos e inorgánicos	120 – 360	230
No volátiles o SSF (mg/l)	Porción de sólidos no combustibles o minerales, de los SST	30 – 80	55
Volátiles o SSV (mg/l)	Componentes orgánicos o combustibles (a $550 \pm 50$ °C) del total de SST	90 – 280	500
Disueltos totales o SDT (mg/l)	Porción de sólidos orgánicos e inorgánicos, que no son filtrables, materia más pequeña que una $\mu\text{m}$ caen en esta categoría	250 – 800	500
No volátiles o SDF (mg/l)	Porción de sólidos no combustibles o minerales, de los SDT	145 – 500	300
Volátiles o SDV (mg/l)	Componentes orgánicos o combustibles (a $550 \pm 50$ °C) del total de sólidos disueltos (SDT)	90 – 280	500
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Demanda bioquímica de oxígeno (5 días 20 °C). Representa la fracción biodegradable, de los compuestos orgánicos. Mide la cantidad de oxígeno disuelto empleado por los microorganismos para estabilizar la materia orgánica en 5 días	110 – 400	210



DQO (mg/l)	Demanda química de oxígeno. Mide la concentración de materia orgánica. Representa la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica con un oxidante fuerte (dicromato de potasio) bajo condiciones ácidas	200 – 780	200
COT (mg/l)	Carbono Orgánico Total, medida de la cantidad de materia orgánica determinada por la conversión de carbono orgánico a CO <sub>2</sub> . Se hace en un horno a alta temperatura, en presencia de un catalizador. Se mide cuantitativamente la presencia de CO <sub>2</sub> .	80 - 290	150
Nitrógeno total o NT (mg/l)	El nitrógeno total incluye nitrógeno orgánico, amonio, nitritos y nitratos. El nitrógeno, y el fósforo junto con el carbono, más otros elementos traza sirven como nutrientes, aceleran el crecimiento de plantas acuáticas en aguas naturales	20 – 85	40
Nitrógeno orgánico o NO, como nitrógeno (mg/l)	Es el nitrógeno ligado a las proteínas o aminoácidos y urea	8 – 35	20
Nitrógeno amoniacal NH <sub>3</sub> – N como N (mg/l)	El nitrógeno del amoniacal se produce primero en la etapa de descomposición de nitrógeno orgánico	12 – 50	20
Nitrito y nitrato como N (mg/l)	Los nitritos y los nitratos son la forma de nitrógeno con más elevado número de oxidación. Estas dos formas de	0 – poco	0



	nitrógenos están ausentes de las aguas residuales crudas		
Fósforo total (PT) (mg/l)	El fósforo total existe en forma orgánica e inorgánica, el fósforo en las aguas naturales es fuente de la eutroficación	4 – 8	6
Fósforo orgánico como P (mg/l)	El fósforo orgánico se encuentra en proteínas y aminoácidos	1 – 3	2
Fósforo inorgánico como P (mg/l)	La forma inorgánica de fósforo existe como ortofosfato y polifosfato	3 – 6	4
pH	pH indica la naturaleza ácida o básica del agua, una solución es neutra a pH 7	6.5 – 7.5	7.0
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	La alcalinidad en el agua residual, se debe a la presencia de los iones bicarbonato, hidróxilo y carbonato	50 – 200	100
Dureza como CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	La dureza en el agua residual se debe principalmente a los iones calcio y magnesio. La dureza del agua residual obviamente depende de la dureza del agua potable	180 – 350	240
Cloruros (mg/l)	Los cloruros en el agua residual provienen de los desperdicios humanos, y de los suavizantes domésticos	30 - 100	50
Aceites y grasas (mg/l)	Estos son solubles en porciones de materia orgánica en hexano. Su fuente son las grasas y aceites empleados en los alimentos	50 – 150	100

**Fuente:** Wastewater Treatment Plants (1999).

Los constituyentes físicos de las aguas residuales, los contaminantes importantes de cara al tratamiento de las aguas y las unidades que se emplean para caracterizar la presencia de cada uno de los contaminantes en el agua residual, es importante conocer los parámetros físicos del agua residual para garantizar un óptimo tratamiento (Cerna, 2014) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Parámetros físicos de la calidad del agua residual.

Parámetro	Descripción
Temperatura	La temperatura del agua es ligeramente superior, que la del agua potable. La temperatura tiene efecto sobre la actividad microbiana, solubilidad de gases y viscosidad. La temperatura del agua varía ligeramente con el clima, pero en general es mayor que la temperatura del aire, durante la mayor parte del año, y solamente es menor en los meses de verano más cálidos.
Densidad	La densidad del agua residual doméstica es la misma que la del agua potable (1000 kg/m <sup>3</sup> )
Color	El agua residual es ligeramente gris, rancio o séptico agua residual es gris oscura o negra
Olor	El agua residual doméstica tiene un olor jabonoso y aceitoso, el cual de cualquier modo es desagradable. El agua residual séptica, tiene olor putrefacto ocasionado por el sulfuro de hidrógeno, indol y skatol, más otros productos de la descomposición. Los residuos líquidos industriales imparten otro tipo de olores. Por esta razón las PTAR presentan objeción por parte de los vecinos que tiene que soportar estos olores a su alrededor
Turbiedad	El agua residual presenta turbiedad ocasionada por la gran cantidad de sólidos suspendidos, en general las aguas residuales fuertes presentan alta turbiedad

**Fuente.** Wastewater Treatment Plants (1999).



### 2.2.2 Aireación de aguas residuales

La aireación de las aguas residuales es la base de un proceso de lodos activados en el que se basa en el acto de airear las aguas residuales, el proceso de lodos activados es el más empleado en el tratamiento secundario convencional de las aguas residuales domésticas (Díaz *et al.*, 2010). El proceso de lodos activados y sus modificaciones pueden definirse como el contacto del floc biológico ya formado con los desechos que entran al tanque de aireación, el cual cuenta con suficiente oxígeno disuelto para mantener condiciones aeróbicas a través de todo el proceso, seguido de la separación sólido-líquido en el tanque de sedimentación (Hoyos, 2006).

Como lo describe Miranda (2005), el proceso biológico de lodos activados está constituido por bacterias, protozoos, hongos, algas y organismos filamentosos. Los hongos y las algas generalmente no tienen una gran importancia dentro del proceso, mientras que los protozoos, los organismos filamentosos y las bacterias participan activamente en el tratamiento biológico del agua residual. Las bacterias constituyen la mayor parte de la biomasa del proceso, siendo el grupo dominante dentro de la comunidad biótica de los lodos activados (Arango & López, 2011).

Si no se dispone de lodos activados, es necesario incubarlos de acuerdo a lo planteado por Orozco (Álvaro, 1977). Para ello se toma cierto volumen (dependiendo del volumen del reactor a trabajar) de agua residual a tratar, se le ajusta el pH, de ser necesario se le agregan nutrientes (N y P), y si existen tóxicos estos deben ser eliminados. Se airea durante varios días al cabo de los cuales ya deben haber aparecido algunos lodos. Se dejan asentar, se elimina el sobrenadante y se llena de nuevo con más agua residual, y así sucesivamente hasta obtener cantidad suficiente de sólidos suspendidos (mayor a 1000 mg/L de SST). Una vez alcanzada la cantidad adecuada de inóculo, que depende también de la relación F/M que se desea trabajar, se dispone en el reactor y se comienza a alimentar de manera continua (Arango & López, 2011).

Según Richard (2010), las concentraciones bajas de oxígeno disuelto son propicias para el crecimiento excesivo de bacterias filamentosas, en condiciones de temperaturas altas y bajas también se ha observado el crecimiento indeseado de este tipo de microorganismos y en casos donde el pH es menor a 6 unidades de pH se tiene la proliferación de hongos

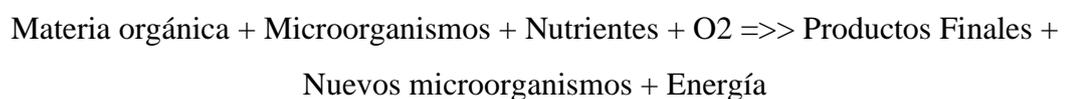


filamentosos. Por otro lado, cuando existe una deficiencia de nitrógeno o fósforo, normalmente tiene lugar una superproducción de polisacáridos y como consecuencia el lodo pasa a tener una pobre sedimentabilidad, un posible efecto bulking y problemas en su deshidratación (Serrano, 2010).

Miranda (2005), manifiesta que en los países del trópico tienen una variable menos de que preocuparse al no tener estaciones tan marcadas como Estados Unidos o algunos países del continente europeo. En esos últimos casos, se hace necesario adoptar medidas de control de temperatura, lo que obviamente incrementa los costos del proceso de tratamiento. A escala de laboratorio, el OD, ligado en buena parte a la temperatura, debe asegurarse, por ejemplo, mediante aireadores comunes de pecera (Hoyos, 2006). Estos, además de proporcionar el oxígeno que los microorganismos necesitan, crearán condiciones de agitación y mezcla dentro del reactor. A pesar de todo lo anterior, aun cumpliéndose los requerimientos nutricionales de la biomasa con el agua residual sintética, y cumpliendo los rangos conocidos para garantizar las condiciones óptimas del crecimiento de los microorganismos, el crecimiento excesivo de los microorganismos filamentosos puede tener lugar (Arango & López, 2011).

### 2.2.3 Oxidación del agua residual

Los procesos de oxidación biológica son mecanismos mediante los cuales los microorganismos degradan la materia orgánica presente en el agua residual, así mismo dichos microorganismos se alimentan de los nutrientes orgánicos presentes en el agua residual según la siguiente ecuación (Moeller & Tomasini, 2010):



Esto sucede en presencia tres reacciones fundamentales, de síntesis, de respiración endógena u oxidación y de respiración oxidativa: Las reacciones de síntesis o asimilación tienen como función la incorporación de nutrientes a los microorganismos, la reproducción de estos microorganismos es directamente proporcional a la cantidad de nutrientes que se incorporan en ellos (Mendez *et al.*, 2004). Las reacciones de respiración endógena u oxidación consisten en transformar la materia orgánica asimilada y la



acumulada en forma de sustancias de reserva de gases y agua, de esta manera al unir el agua residual con los microorganismos, estos metabolizan su propio material celular ocurriendo una destrucción de sus células, generando la sucesión de nuevas especies y haciendo que la materia orgánica presente en el agua disminuye notablemente (Metcalf & Eddy, 1985).

#### 2.2.4 Bacterias coliformes

Las coliformes son una familia de bacterias que se encuentran por lo general en el suelo y los animales, además de los humanos, la disposición de estas bacterias coliformes es un indicio en el cual el agua probablemente esté contaminada con distintas formas como aguas negras u otro tipo de desechos en distintas etapas de descomposición; usualmente, las bacterias coliformes se hallan en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo (Ramos *et al*, 2008). Las coliformes tienen la capacidad de proliferarse en una gran diversidad de alimentos, en agua y productos lácteos (Vásquez *et al.*, 2013). A pesar que el índice de coliformes ha sido aplicado a la evaluación de los alimentos durante varios años, existen limitaciones en algunos de ellos (Jay, 2002).

La presencia de bacterias coliformes en los alimentos no significa necesariamente que hubo una contaminación fecal o que hay patógenos entéricos presentes, estas bacterias son especialmente útiles como componentes de criterios microbiológicos para indicar la contaminación de un post proceso térmico, algunos de ellos (*E. coli*) que son comunes en las heces del hombre y otros animales, pero otros como *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Erwinia*, particularmente se encuentran en el suelo, agua y semillas (INAL, 2004).

##### a. Coliformes totales

Los coliformes totales son lactosa-positivas, pertenecen a la familia Enterobacteriaceae y poseen la capacidad para poder fermentar la lactosa con producción de ácido y gas, más o menos rápidamente, en un periodo de 48 horas a temperatura de incubación entre 30 – 37 °C, se definen como bacilos Gram negativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados. De este mismo grupo se encuentran *Escherichia coli*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter*. Se encuentran en su mayoría en el intestino del hombre y de los animales, como también en ambientes tales como el agua, suelo, plantas, cáscara de



huevo, entre otros (Paredes, 2014). Son capaces de crecer en medios que contienen sales biliares, como Mc Conkey y Bilis rojo violeta entre otros (Velez & Ortega, 2013).

#### **b. Coliformes fecales o termotolerantes**

Los coliformes fecales también denominados coliformes termotolerantes ya que soportan temperaturas de hasta 45 °C (Paredes, 2014). Estas bacterias fermentan la lactosa con producción de gas a una temperatura de 44 a 44.5 °C  $\pm$  0.2. En este grupo se integra el 90% de las colonias de *E. coli* y algunas cepas de *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Proteus*. Los coliformes fecales agrupan un grupo de los coliformes totales, pero estas se diferencian de otros microorganismos que forman parte de este grupo, las cuales son indol positivo y estos son los mejores indicadores de higiene en alimentos y en aguas, ya que la presencia de estos indica contaminación fecal de origen humano o animal (Ccencho, 2017). Algunas cepas de *E. coli* pueden producir enteritis o gastroenteritis, las cuales se agrupan en seis categorías de acuerdo a su mecanismo patogénico (Vélez & Ortega, 2013).

#### **c. Diagnóstico de laboratorio mediante Número Más Probable**

Eijkman en 1904, dio una propuesta la cual era la producción de gas a partir de glucosa a 46° C la cual sería un excelente método para lograr la determinación de Coliformes de origen fecal en diferentes cuerpos de agua, un cambio en este método da lugar para la identificación de las bacterias coliformes fecales termotolerantes, cuando estas bacterias fermentan lactosa como otros sustratos así como el manitol, a las mismas temperaturas con producción de ácido y gas y que también forman indol a partir del triptófano, se consideran como *E. coli* presuntivas (Cázeres & Alcantara, 2014). Hasta el momento en la mayoría de laboratorios se determinan coliformes totales y coliformes fecales dependiendo a su definición ya conocida como todo bacilo Gram negativo, tienen la capacidad de desarrollarse en presencia de sales biliares, que posean propiedades similares inhibitorias del crecimiento y que fermenten la lactosa a 35° - 37 °C, con una producción de ácido, gas y aldehído en un lapso de tiempo de 24 a 48 horas; son oxidasa negativas, no producen esporas y reducen el nitrato a nitrito, en este grupo se encuentran, según la clasificación de Clark y Pagel en los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* pertenecientes a la familia de las enterobacterias (López *et al.*, 1966).



La determinación de microorganismos coliformes totales por el método del Número más Probable (NMP), se fundamenta en la capacidad de este grupo microbiano de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos a  $35\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  durante 48 horas, utilizando un medio de cultivo que contenga sales biliares, dicha determinación consta de dos fases, la fase presuntiva y la fase confirmativa (Camacho *et al.*, 2009), para la determinación del número más probable de microorganismos coliformes fecales se realiza a partir de los tubos positivos de la prueba presuntiva y se fundamenta en la capacidad de las bacterias para fermentar la lactosa y producir gas cuando son incubados a una temperatura de  $44.5 \pm 0.1\text{ °C}$  por un periodo de 24 a 48 horas.

#### **d. Significado ambiental de las coliformes**

El contenido de bacterias del tipo de los coliformes fecales como indicador biológico de contaminación, conforma las siguientes ventajas: se toma en cuenta que los niveles bajos de coliformes fecales son buenos indicadores de ausencia de organismos patógenos; su evaluación es relativamente simple y directa; su concentración en aguas residuales (unos 100 millones/100 mililitros) es significativamente más alta que el contenido de patógenos fecales en las mismas aguas; no se multiplican fuera del tracto intestinal de animales de sangre caliente; además, su presencia en sistemas acuáticos es evidencia de contaminación de origen fecal (Mora & Calvo, 2010).

Distintas investigaciones utilizan indicadores bacterianos para evaluar la entrada de descargas a los ambientes marino costeros y la distribución de bacterias patógenas humanas (Narváez *et al.*, 2008). Los distintos cuerpos de agua pueden estar contaminados por aguas de desechos y excretas de los diferentes estados de salud de las personas, las cuales contienen una gran variedad de organismos patógenos. También se logró reportar que personas aparentemente saludables actúan como portadoras de estos organismos (Montiel *et al.*, 2005).

La presencia de coliformes totales debe interpretarse de acuerdo con el tipo de aguas: deben estar ausentes en 85% de las muestras de aguas potables tratadas. En caso de estar presentes, su número no puede ser superior a 2-3 coliformes. Esta contaminación a pesar de ser baja, no puede ocurrir en tres muestras recolectas en días consecutivos. En aguas tratadas, los coliformes totales funcionan como una alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen. Indican que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución o en



las propias fuentes domiciliarias. Su presencia acciona los mecanismos de control de calidad y de procesamiento dentro de la planta de tratamiento de agua, e intensifica la vigilancia en la red de distribución (CYTED, 2004).

### 2.2.5 Protozoos

Son organismos unicelulares que metabolizan sustancias solubles e insolubles, logrando reducir la carga bacteriana y de materia orgánica, contribuyendo con que un efluente sea más claro y de mejor calidad. Se constituye en los organismos más abundantes de la microfauna presente en los lodos activados, llegando a densidades de 5,000 individuos/ml en los reactores biológicos, y constituyen alrededor del 5% del peso seco de los sólidos en suspensión. La gran mayoría son heterótrofos aerobios, y solo algunos son anaerobios. Tienen dos funciones principales: eliminar el exceso de bacterias no floculadas, ya que se alimentan de bacterias libres o no formadoras de flóculos (bacterias dispersas) y son buenos indicadores directos de toxicidad, debido a su sensibilidad a los tóxicos y los cambios de oxígeno, es así que son indicadores del funcionamiento de una planta de tratamiento. Entre los protozoos se mencionan a flagelados, sarcodinos, ciliados nadadores libres y ciliados pedunculados (Vilaseca, 2001).

**Ciliados.** Los protozoos ciliados en los lodos activos son de gran importancia en el proceso de tratamiento de aguas residuales aireadas, ya que clarifican el efluente mediante la floculación y la depredación. Los ciliados se alimentan de bacterias patógenas, reduciendo sus niveles. Se clasifican en ciliados asociados al flóculo (pedunculados y reptantes) y ciliados no asociados al flóculo o nadadores (Vilaseca, 2001).

### 2.2.6 Metazoos y algas verdes

**Rotíferos.** Son organismos pluricelulares, poseen distintas formas y tamaños que varían entre 50 – 500  $\mu$ m y son más complejos que los protozoos, mayormente son móviles, se encuentran en plantas de tratamiento con una buena estabilización y oxígeno disuelto adecuado, se alimentan de partículas sólidas, protozoos y bacterias, tiene actividad clarificadora positiva del efluente. Varias especies forman flóculos ya que producen mucus.

**Nematodos.** Son predadores de bacterias dispersas y protozoos, asimismo son saprozoicas ya que se alimentan de la materia orgánica disuelta e incluso de los flóculos.



Son muy abundantes en plantas de tratamiento con retención medios altos y en filtros percoladores.

**Algas verdes.** Son organismos unicelulares y flageladas, o pluricelulares. Generalmente son especies bentónicas o ligadas al fondo, asimismo hay planctónicas, normalmente viven en suspensión y son los principales integrantes del fitoplancton (García *et al.*, 2017).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 ZONA DE ESTUDIO

La laguna de estabilización Espinar se encuentra ubicada en la bahía interior del Lago Titicaca, distrito, provincia y región de Puno. Geográficamente se sitúa a 15°51'11" de Latitud Sur y a 70°02'08" de Longitud Oeste, a una altura de 3812 msnm. La ciudad se desarrolla a lo largo del Lago Titicaca, en la Bahía de Puno, sobre un terreno accidentado, con zonas bajas, y rodeado de cerros y quebradas. Sus cotas van de los 3810 a 4050 msnm (Figura 1).



**Figura 1.** Zonas de muestreo de aguas residuales en la laguna Espinar.

#### 3.2 TIPO DE ESTUDIO

El trabajo de investigación estuvo enmarcado en el tipo de estudio descriptivo, en razón de que se buscó especificar, evaluar datos y las características, sobre la remoción de bacterias coliformes totales y termotolerantes, así como los organismos microscópicos presentes en las muestras evaluadas. Fue experimental, en razón de que se realizó la manipulación intensional de variables independientes (aireación) y medición de variables dependientes (remoción bacteriana) y existe comparación entre los tratamientos. Fue transversal, debido a que la magnitud y la remoción bacteriana y la identificación de organismos se determinó en un momento dado (Hernández *et al.*, 2014).

### 3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

El muestreo aplicado fue el no probabilístico por conveniencia, en el cual se caracterizó por obtener muestras representativas, para ello se trabajó con un total de 8 muestras las cuales procedieron de dos envases de plástico de agua de mesa con capacidad de 10 litros uno con aireación y otro sin aireación, así como en el proceso de aireación en los tiempos pre establecidos (24, 72, 120 y 168 horas) e hicieron un total de 27 muestras a analizar, tal como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Distribución de muestreos en diseño de bloque completo al azar.

Tiempo de aireación	Tratamientos	
	Con aireación	Sin aireación
24 horas (1 día)	2 muestras	2 muestras
72 horas (3 días)	2 muestras	2 muestras
120 horas (5 días)	2 muestras	2 muestras
168 horas (7 días)	2 muestras	2 muestras
Total	8 muestras	8 muestras

**Fuente:** Elaboración propia.

Paralelamente a las evaluaciones bacterianas y de organismos, se determinaron el pH y la temperatura en las muestras de agua residual de la laguna Espinar – Puno.

### 3.4 METODOLOGÍA

#### 3.4.1 Evaluación del efecto de la aireación de aguas residuales de la laguna Espinar en la remoción de coliformes

##### a. Frecuencia y lugares de muestreo

Para este procedimiento se utilizaron envases de plástico reciclados de agua de mesa de 5 litros limpios y enjuagados por tres veces con las muestras de agua residual colectados en la laguna Espinar, dichas muestras fueron inmediatamente remitidas al laboratorio de Botánica y Biotecnología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNA Puno, previa rotulación de los envases. La frecuencia de muestreo fue mensual por un lapso de tres dos



consecutivos, las fechas de muestreo fueron el 15 de julio y agosto del 2019, respectivamente.

## **b. Descripción detallada del uso de equipos y procedimientos**

**Instalación del experimento de remoción de las coliformes en aguas residuales.** Las muestras de agua residual colectadas en la laguna Espinar de la ciudad de Puno, fueron colocadas en dos envases de plástico de agua de mesa de 10 litros de capacidad, los cuales fueron acondicionados con un aireador de acuarios y sus difusores de pequeñas burbujas de aire, paralelamente con un tratamiento control se realizó el mismo procedimiento con la diferencia que no presentó aireación, el tiempo de residencia de las muestras de agua residual en cada acuario conteniendo 5 litros de agua residual fue de 24 horas, 72 horas, 120 horas y 168 horas.

Los procedimientos para cuantificar coliformes se detallan a continuación:

### **Cuantificación de coliformes totales**

**Método:** Número más probable (NMP).

**Fundamento:** El NMP es el cálculo de la densidad probable de bacterias coliformes en la combinación de resultados positivos y negativos obtenidos en cada dilución. La precisión de cada prueba depende del número de tubos utilizados. Son necesarias tres diluciones para la obtención del código del NMP. Las tablas de NMP se basan en la hipótesis de una dispersión de Poisson (dispersión aleatoria) (Pascual & Calderón, 2000).

### **Procedimientos:**

**Prueba presuntiva.** Se procedió a inocular volúmenes de 10 ml, 1 ml y 0.1 ml de muestra de agua en una serie de 9 tubos de caldo lactosado, en los cuales los primeros 3 tubos presentaron el doble de la concentración de dicho caldo y los 6 restantes de simple concentración, los cuales se incubaron los tubos rotulados a 37 °C durante 48 horas (Pascual & Calderón, 2000).

**Prueba confirmativa.** Se transfirió un inculo de cada tubo positivo de la prueba presuntiva a tubos que contengan caldo verde brillante bilis e incubados a 37 °C durante 48 horas, la formación de gas, el enturbiamiento y la fermentación dentro de 48 horas constituyeron prueba confirmativa a la presencia de coliformes totales (Pascual & Calderón, 2000).



**Cuantificación de coliformes fecales:** Se inculó desde los tubos positivos de la prueba confirmativa a las placas Petri que contenían medio de cultivo EMB, sembrando el inóculo mediante una estría simple por agotamiento en el agar y se incubó por 48 horas a una temperatura de 37 °C en una estufa de incubación.

**Cálculos:** De acuerdo a los tubos positivos en las pruebas confirmativas para coliformes totales y fecales, se estableció los códigos correspondientes para calcular por referencia en la tabla estadística correspondiente, el NMP de coliformes totales y fecales en 100 ml de agua (Pascual & Calderón, 2000). La cuantificación de coliformes totales (CT) y termotolerantes (CTT), se realizó al inicio y al final de las 24, 72, 120 y 168 horas de aireación de las aguas residuales

**Porcentaje de remoción (PR).** Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$PR = \frac{\text{Recuento a la entrada} - \text{Recuento a la salida}}{\text{Recuento a la entrada}} * 100$$

**c. Variables que se analizarán**

Variable independiente: Muestras de agua de la laguna Espinar aireadas y no aireadas.

Variables dependientes: Recuento de coliformes totales y termotolerantes.

**d. Aplicación de bioestadística para el contraste de hipótesis.** Se realizaron pruebas de correlación lineal de Pearson, regresión lineal y coeficiente de determinación.

### 3.4.2 Identificación de los organismos

**a. Frecuencia y lugares de muestreo**

Las muestras de agua residual colectados en la laguna Espinar y aireadas en el laboratorio de Botánica y Biotecnología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNA Puno, tuvieron una frecuencia de muestreo de un día, 3 días, 5 días y 7 días de tratamiento.

**b. Descripción detallada del uso de equipos y procedimientos**

El reconocimiento e identificación de organismos, se realizó en las muestras de agua residual al inicio y al final del proceso de aireación y luego de las 24, 72, 120 y 168 horas, la preparación de las muestras para identificación se realizó en el laboratorio de Botánica

y Biotecnología de la FCCBB. Las muestras de agua residual en una cantidad de 9 ml fueron dispuestas en tubos de ensayo de 15 x 125 mm, a continuación, fueron centrifugados a 2500 revoluciones por minuto por un tiempo de 5 minutos, seguidamente se descartó el sobrenadante y el sedimento o residuo centrifugado ubicado al fondo del tubo fue transferido a una lámina portaobjetos y sobre ella una lámina cubre objetos, todo ello fue llevado a realizar la visualización al microscopio óptico compuesto a 10X y 40X.

El análisis microscópico de las muestras se realizó a los intervalos de 24, 72, 120 y 168 horas en muestras de agua del envase de plástico con aireación y sin aireación, se observaron tres submuestras de 100 µl de cada muestra para proceder a la identificación de los microorganismos y se realizó una valoración de su abundancia. Los organismos fueron identificados *in vivo* usando las claves de Foissner & Berger (1996), Rodríguez *et al.* (2008) y Serrano *et al.* (2008), la determinación de la abundancia de organismos se realizó mediante una valoración subjetiva de los individuos tras realizar la observación microscópica de las submuestras. La densidad de los organismos caracterizados fue estimada mediante un criterio subjetivo, en el cual se estableció la abundancia de las especies dentro de una escala ordinal del 1 al 4 (Tabla 4) Se asignó el valor de 4 a los organismos con una presencia dominante y de 1 para la presencia ocasional (Martínez, 2016).

**Tabla 4.** Criterio de abundancia de organismos acuáticos (Martínez, 2016).

Escala	Denominación	No de individuos / campo
4	Dominante	$\geq 5$
3	Secundario	3 - 4
2	Frecuente	2
1	Ocasional	0 - 1

**Fuente.** Elaboración propia.

### c. Variables que se analizarán

Variable independiente: Aguas residuales de la laguna Espinar aireadas y no aireadas.

Variables dependientes: Identificación de organismos.

### d. Aplicación de bioestadística para el contraste de hipótesis.

Como el objetivo es descriptivo no se realizó ninguna prueba estadística.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y TERMOTOLERANTES EN AGUAS RESIDUALES

##### 4.1.1 Remoción de coliformes totales

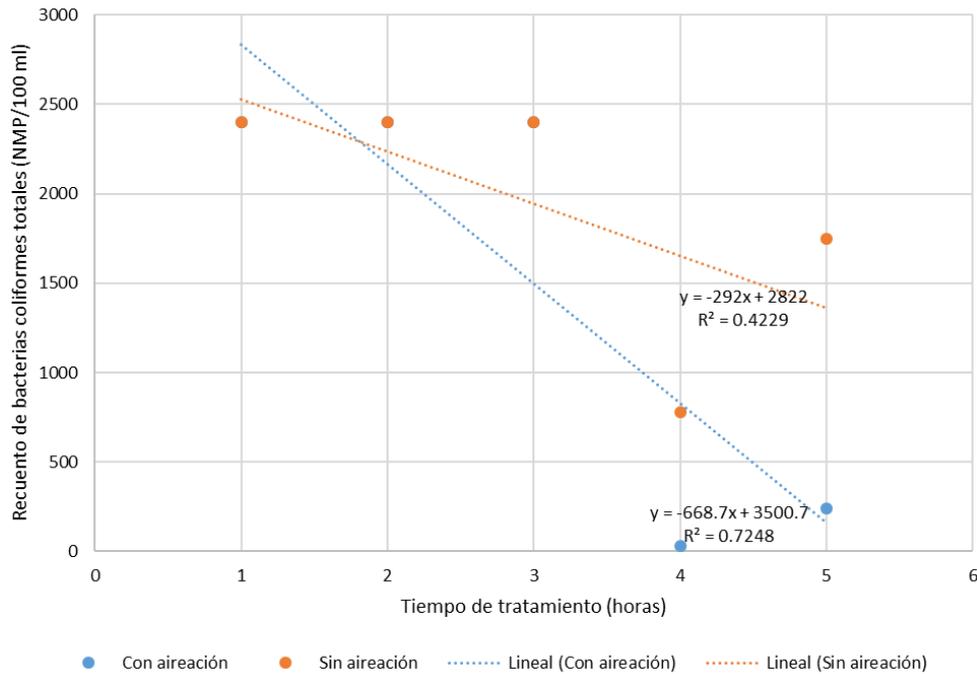
La carga de coliformes totales fue similar desde inicio a las 72 horas (tres días) de aireación y sin aireación de las muestras de agua de la laguna Espinar con valores y promedios de 2400 NMP/100 ml, a las 120 horas (cinco días) de tratamiento con aireación, el recuento bacteriano de coliformes totales disminuye a valores de 240 NMP/100 ml, posteriormente disminuye más llegando a 33 NMP/100 ml a las 168 horas (siete días), logrando una remoción del 98.63%; por otro lado a diferencia de las muestras de agua aireadas, las aguas de la laguna Espinar no aireadas, también se observa una disminución a 1750 NMP/100 ml a las 120 horas (cinco días), disminuyendo a 780 NMP/100 ml a las 168 horas (siete días) se logró una remoción del 67.50% (Tabla 5).

Luego de asociar las variables tiempo de aireación y recuento de coliformes totales, se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) de -0.88, y sin aireación y el recuento de coliformes totales un  $r$  de -0.46, dichos valores indican que existió una correlación negativa alta y baja respectivamente, es decir de que a mayor tiempo de aireación se observa una disminución del recuento de bacterias coliformes totales. Por otro lado, los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) fueron de 0.7248 en muestras de agua aireadas y una  $R^2$  de 0.4229, para las muestras de agua no aireadas, estos valores indican que el 72.48% de la disminución de los recuentos de bacterias coliformes totales se debieron a causa de la aireación, mientras que a pesar de que las muestras de agua en el segundo recipiente no recibió aireación, por razones no estudiadas también existe otros factores que disminuirían la carga bacteriana de coliformes totales (Figura 2).

**Tabla 5.** Remoción de la carga bacteriana de coliformes totales (NMP/100 ml) en muestras de agua de la laguna Espinar con y sin aireación, laboratorio de Botánica y Biotecnología – FCCBB, julio – setiembre 2019.

Tiempo de aireación	Recuentos de coliformes totales (NMP/100 ml)									
	Con aireación					Sin aireación				
	Rep 1	Rep 2	Prom	T° (°C)	pH	Rep 1	Rep 2	Prom	T° (°C)	pH
Inicio	2400	2400	2400	14.75	8.75	2400	2400	2400	14.25	8.30
24 horas (1 día)	2400	2400	2400	14.00	9.25	2400	2400	2400	13.75	8.75
72 horas (3 días)	2400	2400	2400	14.75	9.40	2400	2400	2400	14.75	9.0
120 horas (5 días)	240	240	240	14.75	9.50	2400	1100	1750	14.50	8.60
168 horas (7 días)	43	23	33	14.75	8.55	1100	460	780	14.5	8.85
% remoción	--	--	98.63	--	--	--	--	67.50	--	--
R <sup>2</sup>	0.7248		--	--	0.4229		--	--	--	--
Correlación (r)	-0.88		--	--	-0.46		--	--	--	--

**Donde:** Rep 1 = repetición 1; Rep 2 = repetición 2; Prom = promedio; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación.



**Figura 2.** Regresión lineal y coeficiente de determinación de la remoción de bacterias coliformes totales y el tiempo de aireación.

En la presente investigación se obtuvieron remociones de coliformes totales de 98.63% y para coliformes fecales de 99.85% en aguas residuales aireadas (Figura 3), dichos resultados son similares a los obtenidos por Muñoz & Baumann (2017), quienes, en sistemas aireados de lodos activados, obtuvieron en coliformes totales (CT) y *E. coli* (EC) porcentajes de remoción de 99.84% y 99.92% respectivamente, en un tiempo de residencia de 11 horas, a diferencia de éste la investigación se realizó en un tiempo máximo de 168 horas (7 días) y la demora de la remoción se debe probablemente a las condiciones ambientales adversas en las que se encontraron las bacterias en las muestras de aguas de la laguna Espinar con un promedio de entre 11 y 13 °C (Prescott *et al.*, 2009), por otro lado concuerdan con el hallazgo de Marín & Correa (2010), quienes experimentaron la remoción de coliformes totales en humedales, y que luego de nueve semanas se presentaron remociones negativas en uno de los humedales y en las restantes se presentaron remociones del 100 %, coincidiendo con los altos niveles de remoción e coliformes señaladas en esta investigación. Por otro lado, Eraso & Ruíz (2015), en un reactor de lodos activados, lograron disminuir los parámetros de DBO y DQO, los parámetros microbiológicos como coliformes totales y *E. coli*, incrementando el nivel de oxígeno disuelto, siendo de gran importancia en el estudio biológico en tratamientos de aguas residuales. Por lo tanto, el proceso de aireación de aguas residuales, incrementa el oxígeno disuelto, activando a los organismos aeróbicos, los cuales son los agentes que

disminuirían los niveles de bacterias coliformes y el contenido de materia orgánica, disminuyendo la DBO.



**Figura 3.** Efecto de la aireación en el crecimiento en aguas de la laguna Espinar, laboratorio de Botánica y Biotecnología, julio – setiembre 2019.

Luego de aproximadamente una hora de inicio de aireación, las muestras de agua sufrieron alteraciones físicas notorias tales como el cambio de coloración debido a la aireación que sufría el agua residual, mientras tanto las muestras de agua del recipiente sin aireación, se mantenía de una coloración verdosa característica del agua residual. A pesar de ello, los niveles de remoción tanto de coliformes totales y termotolerantes en el recipiente no aireado fue moderado, esto se debe a que al ser transparente el recipiente de plástico o cubeta utilizada en la investigación fue transparente y al ingreso de los rayos solares durante el día, hacía que se incrementara el número de algas, los cuales vendrían produciendo el oxígeno suficiente para incrementar los protozoos y bacterias benéficas (Madigan *et al.*, 2003), que consumen la materia orgánica y las bacterias patógenas tales como las coliformes totales y termotolerantes. Los microorganismos utilizan la materia orgánica coloidal y disuelta que sería utilizado como alimento de esta manera llevaría a cabo sus funciones metabólicas, entre ellos el crecimiento, su reproducción, generando productos finales, varios gases y materia inorgánica y más células (biomasa) (Moeller & Tomasini, 2004).



El proceso de degradación de la materia orgánica en el recipiente con aireación se debe al incremento de la biomasa microbiana benéfica capaz de reducirla (Cerna, 2014), el tamaño de burbuja es un factor muy importante a considerar en el tratamiento de aguas residuales, a un principio de dispuso en la investigación de aireadores convencionales donde producían burbujas grandes, las cuales no originaban una adecuada aireación, por lo que se cambió a difusores de aire que originaban burbujas más finas, la explicación sería de que cuando un mm cúbico de agua se administra con nanoburbujas (1  $\mu\text{m}$  de diámetro), sucede de que el área de contacto del agua y las burbujas es 10000 veces mayor a comparación del contacto de una burbuja normal (1mm de diámetro), incrementando dramáticamente la tasa de transferencia de gas suministrado (aire, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, entre otros), lográndose así el afianzamiento de la actividad bacteriana aeróbicas en el líquido aireado (Macassi, 2017).

La aireación del agua residual, base fundamental de la tecnología de los lodos activados, es largamente utilizada en el tratamiento del agua residual y alcanza eficiencias de reducción de demanda química de oxígeno (DQO),  $\text{DBO}_5$  y sólidos suspendidos totales (SST) superiores al 76% (Mañunga *et al.*, 2012), la aireación incluye la integración de procesos químicos, físicos y biológicos, asimismo existe una relación alimento / microorganismos el tiempo de aireación (18 días), los sustratos sufren transformaciones por encima del 92% y disminuyó los valores de DQO (Morales, 2013). En tal sentido, a pesar de que el ambiente del altiplano peruano posee menores contenidos de oxígeno, la aireación de las aguas se constituye en una alternativa en la remoción de coliformes.

#### **4.1.2 Remoción de coliformes termotolerantes**

La carga de coliformes fecales fue similar al inicio y del inicio a las 24 horas (un día) en muestras de agua de la laguna Espinar con y sin aireación respectivamente, seguidamente en muestras de agua aireadas a 24 horas (un día), 72 horas (tres días), 120 horas (cinco días) y 168 horas (siete días), disminuyeron de 1750 NMP/100 ml a 3.5 NMP/100 ml, lográndose una remoción de bacterias del 99.85%; sin embargo, en las muestras de agua no aireadas presentaron una moderada disminución de 1750 NMP/100 ml a las 72 horas (tres días) a 1100 NMP/100 ml a las 168 horas (siete días), lográndose una remoción de bacterias coliformes termotolerantes del 54.16% (Tabla 6).

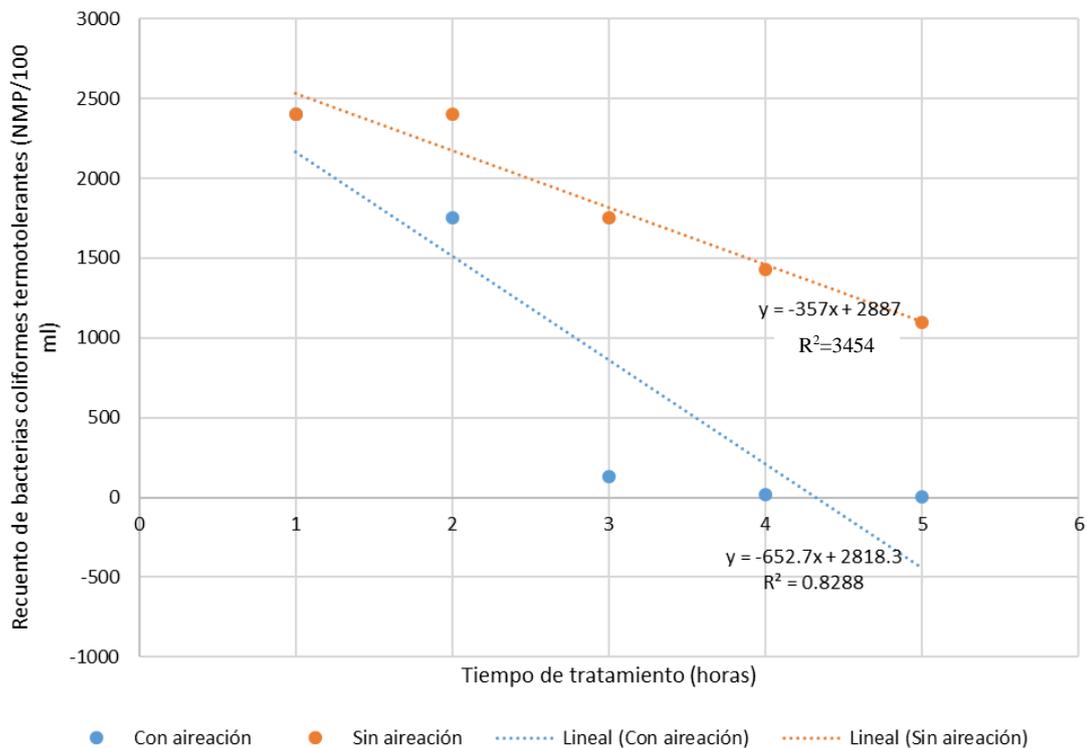
**Tabla 6.** Remoción de la carga bacteriana de coliformes termotolerantes en muestras de agua de la laguna Espinar con y sin aireación, laboratorio de Botánica y Biotecnología – FCCBB, julio – setiembre 2019.

Tiempo de aireación	Recuentos de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)									
	Con aireación					Sin aireación				
	Rep 1	Rep 2	Prom	T° (°C)	pH	Rep 1	Rep 2	Prom	T° (°C)	pH
Inicio	2400	2400	2400	14.75	8.75	2400	2400	2400	14.25	8.30
24 horas (1 día)	1100	2400	1750	14.00	9.25	2400	2400	2400	13.75	8.75
72 horas (3 días)	23	240	131.5	14.75	9.40	1100	2400	1750	14.75	9.0
120 horas (5 días)	9	23	16	14.75	9.50	460	2400	1430	14.50	8.60
168 horas (7 días)	<3	4	3.5	14.75	8.55	1100	1100	1100	14.5	8.85
% remoción	--	--	99.85%	--	--	--	--	54.16	--	--
R <sup>2</sup>		0.8288		--	--		0.3454		--	--
Correlación		-0.89		--	--		-0.39		--	--

**Donde:** R1 = repetición 1; R2 = repetición 2; Prom = promedio.

Después de asociar las variables tiempo de aireación y recuento de coliformes termotolerantes, se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson (r) de -0.89, y sin aireación y el recuento de coliformes termotolerantes un r de -0.39, dichos valores indican que existió una correlación negativa alta y baja respectivamente, es decir de que a mayor tiempo de aireación se observa una disminución del recuento de bacterias coliformes termotolerantes; mientras que al no airearse el agua existe una leve disminución bacteriana. Por otro lado, los coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) fueron de 0.8288 en muestras de agua aireadas y una R<sup>2</sup> de 0.3545 para las muestras de agua no aireadas, estos valores indican que el 82.88% de la disminución de los recuentos de bacterias coliformes termotolerantes se debieron a causa de la aireación, mientras que a pesar de que las muestras de agua en el segundo recipiente no recibió aireación, por razones no estudiadas también existe otros factores que disminuirían levemente la carga bacteriana de

coliformes termotolerantes (Figura 4).



**Figura 4.** Regresión lineal y coeficiente de determinación de la remoción de bacterias coliformes termotolerantes y el tiempo de aireación.

Entre las ventajas que posee el proceso de aireación, que en esta investigación fue equivalente a un proceso de tratamiento de aguas residuales mediante la tecnología de lodos activados, se encontró la disminución de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en un 83 % (Alpírez *et al.*, 2017), pero cuando la remoción de la DBO es baja (12 %), la causa serán los desperfectos en el funcionamiento y en el suministro de oxígeno, donde las bacterias oxidarían la materia orgánica (Arroba & Ávila, 2015) ya que al incrementar microorganismos aerobios en un sistema de lodos activados, se logra remover hasta el 79.8 % de carga orgánica (Bejarano & Escobar, 2015), así como también la remoción de materia orgánica en reactores aireados, reduciendo la DBO de 250 mg/l a 88 mg/l, en un tiempo de 8 horas corridas, en intervalos de hora y media para la colecta de muestras (Condori & Ruelas, 2017). Por tales razones, se constituye en una alternativa apropiada, que a pesar de ello se deben realizar experimentos piloto adicionales.

En los resultados obtenidos, se observa que en ciertas evaluaciones el recuento de coliformes totales y termotolerantes se incrementaron en algunos análisis de laboratorio,



éstas bacterias anaeróbicas fueron capaces de recuperar su actividad microbiana al reducir la alimentación de la carga orgánica que normalmente es consumida por las bacterias aeróbicas, incluso después de haber sido sometidas a una concentración elevada y tóxica de sustrato (López, 2011), entre las bacterias benéficas se manifiesta que existen más de 300 especies reportadas, que son las responsables de la oxidación de la materia orgánica y de la transformación de los nutrientes a polisacáridos y materiales poliméricos que ayudan en la floculación de la biomasa microbiana, entre los principales géneros bacterianos se mencionan a: *Zooglea*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Achromobacter*, *Corynebacterium*, *Comomonas*, *Brevibacterium*, *Acinetobacter*, organismos filamentosos (*Sphaerotilus* y *Beggiatoa*), bacterias autotróficas nitrificantes (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*) y bacterias sulfurosas fototróficas (*Rhodospirillaceae*) (Moeller & Tomasini, 2004).

El sistema de aireación de aguas residuales llevada a cabo en la investigación, tuvo como consecuencia la digestión aerobia que se aplica ampliamente en las plantas de tratamiento con capacidades menores a 220 l/s (Water Environment Federation, 2010), aunque presenta un menor costo de construcción que la digestión anaerobia, presenta la desventaja de que el costo de operación es más elevado, ya que requiere suministro de aire para estabilizar los lodos. El composteo se usa generalmente en los lodos que serán utilizados como mejoradores o acondicionadores de suelos. Este proceso requiere de mano de obra intensiva y puede generar olores. Además, puede incrementar la masa de biosólidos a disponer y transmitir los patógenos por medio del polvo que genera (Limón, 2013).

## 4.2 ORGANISMOS PRESENTES EN EL PROCESO DE AIREACIÓN DE AGUAS

Las muestras de agua con aireación de la laguna Espinar, presentaron los siguientes organismos con escala dominante al alga verde *Chlamydomonas* sp (Figura 5d), *Aspidisca* sp (Figura 5f), *Paramecium caudatum* (Figura 5g), *Podophrya* sp (Figura 5h), *Opercularia* sp (Figura 5i) y *Telotrocho* sp (Figura 5j inferior) todos ellos organismos protozoos ciliados, mientras que el único organismo secundario pluricelular fue *Keratella* sp (Figura 5a), *Arcella* sp (Figura 5b), *Acineta* sp (Figura 5c) éstos últimos fueron organismos protozoos unicelulares, un organismo pluricelular nematodo (Figura 5e) y el protozoo unicelulare *Vorticella* sp (Figura 5j superior). Por otro lado, en las muestras de agua sin aireación los organismos que presentaron una escala de frecuente *Chlamydomonas* sp, *Aspidisca* sp, *Paramecium caudatum*, *Podophrya* sp, *Opercularia* sp y *Telotrocho* sp, mientras que los organismos que presentaron una escala ocasional fueron *Keratella* sp, *Arcella* sp, *Acineta* sp, un nematodo y *Vorticella* sp (Tabla 7).

**Tabla 7.** Abundancia de organismos en muestras de aguas de la laguna Espinar, laboratorio de Botánica y Biotecnología, setiembre – 2019.

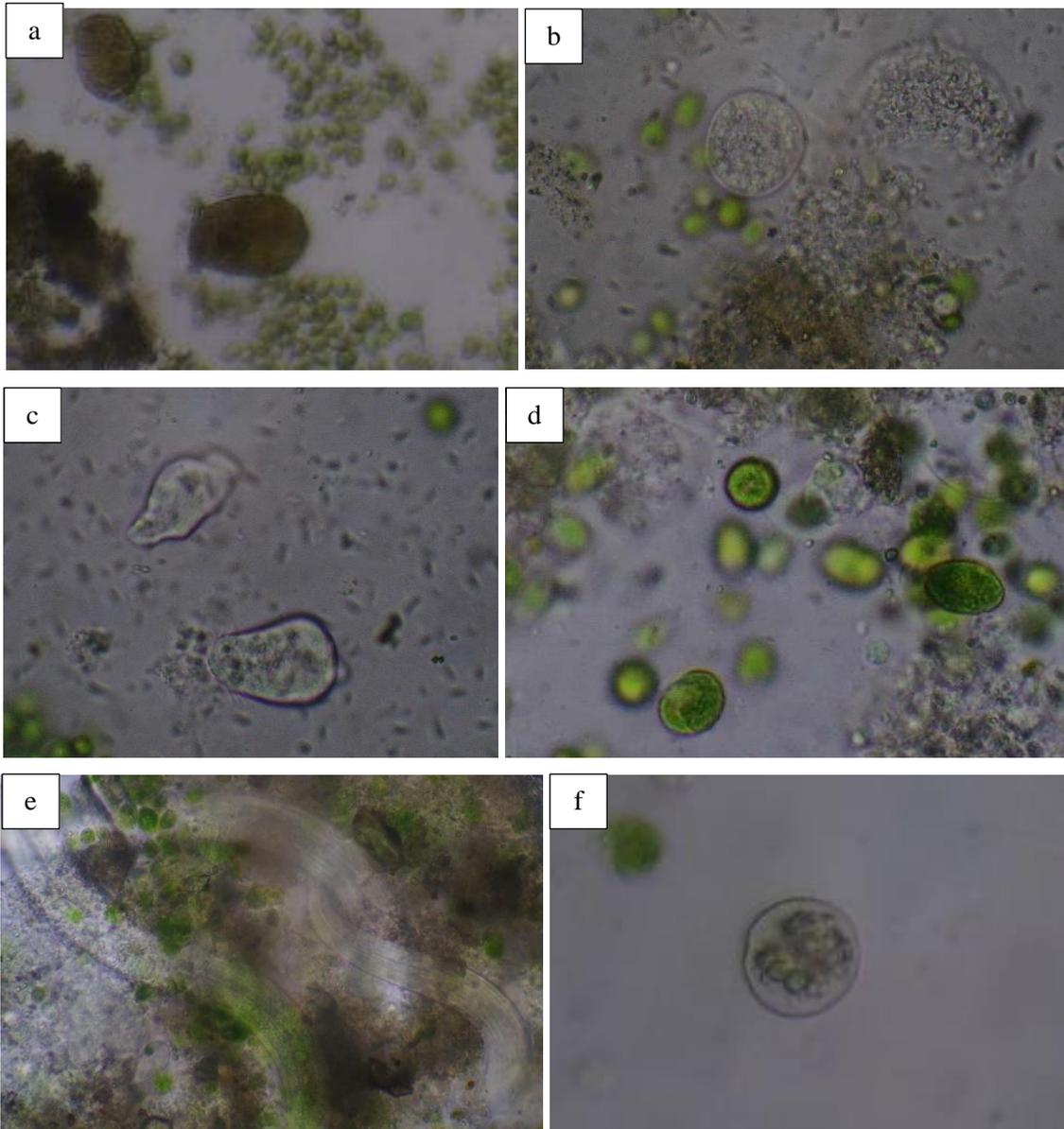
Organismos	Con aireación			Sin aireación		
	Rep	Rep	Escala	Rep	Rep	Escala
	1	2		1	2	
<b>Organismos unicelulares</b>						
<i>Arcella</i> sp	3	3	Secundario	1	1	Ocasional
<i>Acineta</i> sp	3	3	Secundario	1	1	Ocasional
<i>Aspidisca</i> sp	4	3	Dominante	1	2	Frecuente
<i>Paramecium caudatum</i>	4	3	Dominante	1	2	Frecuente
<i>Podophrya</i> sp	4	3	Dominante	1	2	Frecuente
<i>Opercularia</i> sp	4	3	Dominante	1	2	Frecuente
<i>Vorticella</i> sp	3	3	Secundario	1	1	Ocasional
<i>Telotrocho</i> sp	4	3	Dominante	1	2	Frecuente
<b>Organismos plucelulares</b>						
<i>Keratella</i> sp	3	3	Secundario	1	1	Ocasional

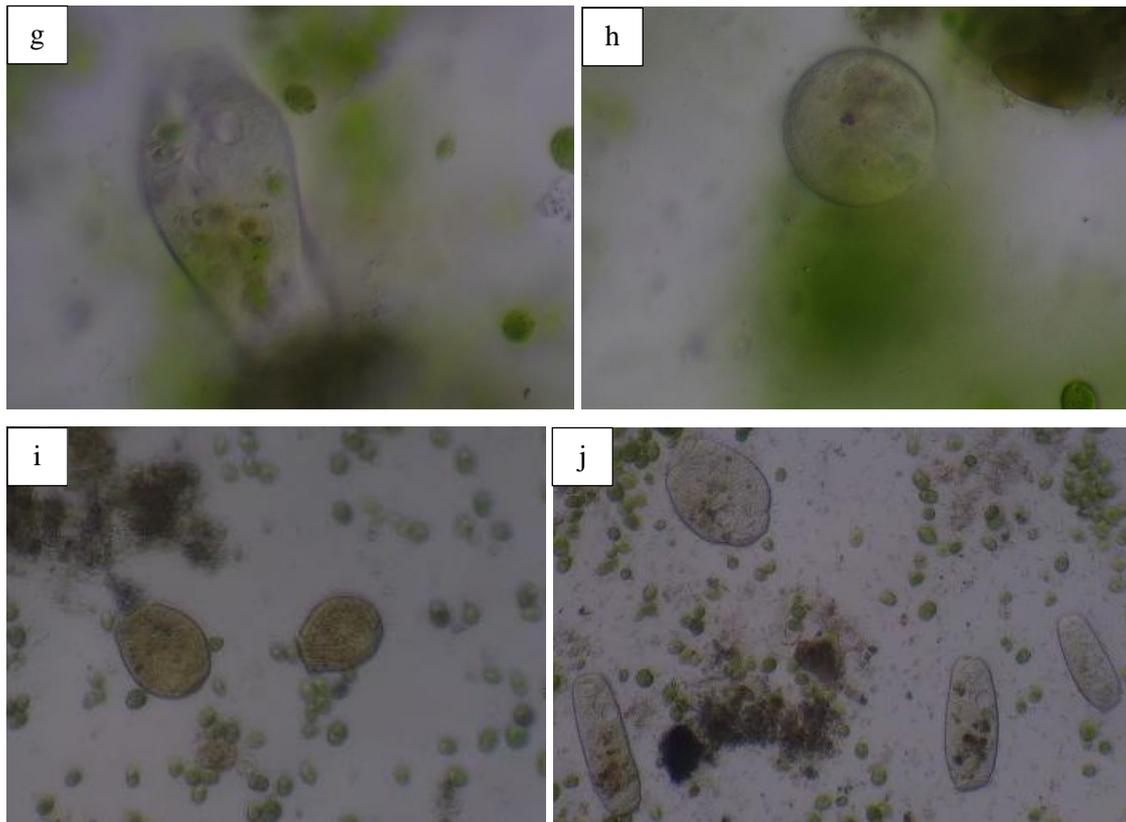
Algas verdes						
<i>Chlamydomonas</i> sp	4	4	Dominante	1	2	Frecuente

Otros organismos						
Nemátodo	3	2	Secundario	1	1	Ocasional

**Donde:** 1 = ocasional; 2 = frecuente; 3 = secundario; 4 = dominante.





**Figura 5.** Organismos identificados en muestras de agua de la laguna Espinar, laboratorio de Botánica y Biotecnología, julio – setiembre 2019. *Keratella* sp (a), *Arcella* sp (b), *Acineta* sp (c), *Chlamydomonas* sp (d), nemátodo (e), *Aspidisca* sp (f), *Paramecium caudatum* (g), *Podophrya* sp (h), *Opercularia* sp (i) y *Vorticella* sp (j superior) y *Telotrocho* sp (j inferior).

Los organismos reportados en la investigación, difieren con los reportados por Alpírez *et al.* (2017), quienes en el funcionamiento y la eficiencia de un sistema de lodos activados, a escala de laboratorio encontraron organismos como *Cyclops* sp, *Cocconus* sp, *Oedogonium* sp, *Epistylis plicastilis*, pero si concuerda con los mencionados por Muñoz & López (2011), quienes en muestras de agua de un biorreactor de lodos activados, registraron vorticelas, protozoos ciliados sésiles, adheridas al floc, luego aparecen algunos protozoos flagelados y amebas, indicadores de una alta relación alimento/microorganismo, la presencia mayoritaria de organismos en una muestra de agua se debería a la ausencia de tóxicos en el afluente, una buena cantidad de OD y una edad de lodos alta.



Caravali *et al.* (2016), afirman que para lograr un proceso óptimo de tratamiento de aguas residuales mediante sistemas de aireación se debe lograr pérdidas significativas de metanol, lo que confirma su propiedad de volatilización manteniendo la cantidad de sólidos suspendidos, cumpliendo así los requisitos óptimos de alimentación, pH y oxigenación para tener un buen funcionamiento como tratamiento biotecnológico de aguas residuales; por otro lado, Mañunga *et al.* (2012), afirman que la modalidad de estabilización por contacto es una tecnología de tipo biológico y es ampliamente utilizada para el tratamiento del agua residual, lográndose más del 44 % de la concentración de materia orgánica biodegradable; Martos (2016), confirma que se debería a los microorganismos presentes en los lodos, quienes son una herramienta útil para el control de los procesos de depuración biológica, logrando la eliminación de DQO superaron el 90 %, más aún, Méndez *et al.* (2004), corrobora que en lodos activados de aguas residuales a escala de laboratorio, se identificaron 15 especies: 2 de protozoarios ciliados fijos, 2 protozoarios ciliados nadadores, 2 protozoarios flagelados, 3 rotíferos, 1 copépodo, 1 nematodo, 3 rhizopodos y 1 ostrácoda, cumpliendo un rol fundamental en la degradación de la materia orgánica, donde la presencia y abundancia indican el nivel de tratamiento de los lodos activados; hay que mencionar además a Martínez (2016), quien al analizar el agua afluyente a la EDAR, describe la presencia de especies codominantes *Aspidisca cicada* y el complejo *Vorticella aquadulcis*, mientras que en alguno de los muestreos se citan a *Trochilia minuta*, *Acineria uncinata*, *Entosiphon sp* y *Holophrya sp*, lo cual coincide con los organismos encontrados en la presente investigación.

Las aguas residuales aireadas poseen carga de organismos, principalmente los protozoos ciliados, tal como lo registran Curds *et al.* (1968), quienes demostraron que los ciliados son los responsables de clarificar el efluente debido a que se alimentan de bacterias dispersas y la ausencia de ciliados implica por consiguiente una mala clarificación. En cuanto a la calidad del efluente un incremento de la población de ciliados bacteriófagos nadadores indica calidades del efluente moderadas y en todo caso peores que las que indican los restantes grupos de protozoos ciliados considerados. Contrariamente un incremento de los ciliados reptantes indica mejores calidades del efluente que las que indican el resto de los demás grupos de ciliados. En cambio, los ciliados depredadores de otros ciliados y los ciliados sésiles presentan desviaciones típicas elevadas, por tanto, serían grupos como buenos indicadores de la calidad del efluente, todo ello concuerda con lo investigado por Salvadó *et al.* (1995), debido a que su tipo de alimentación



ciliófaga no contribuye directamente a la clarificación del efluente como en los ciliados que se alimentan de bacterias.

Por todo lo analizado en los resultados del segundo objetivo específico, se acepta la hipótesis planteada en el proyecto de investigación, que manifestaba que “Los organismos incrementan luego del proceso de aireación de aguas residuales de la laguna Espinar de la ciudad de Puno”, ya sea en diversidad y densidad de los organismos protozoos ciliados.



## V. CONCLUSIONES

- La aireación de las aguas residuales de la laguna Espinar de la ciudad de Puno disminuyen los recuentos de coliformes totales y termotolerantes durante un día, 3 días, 5 días y 7 días de tratamiento de valores de 2400 NMP/100 ml a 33 NMP/100 ml en coliformes totales y de 2400 NMP/100 ml a 3.5 NMP/100 ml para coliformes termotolerantes, lográndose remoción de bacterias entre 98.63% y 99.85%.
- Los organismos identificados en las aguas residuales de la laguna Espinar de la ciudad de Puno fueron: *Chlamydomonas* sp, *Aspidisca* sp, *Paramecium caudatum*, *Podophrya* sp, *Opercularia* sp, *Telotrocho* sp, *Keratella* sp, *Arcella* sp, *Acineta* sp, nematodo y *Vorticella* sp., los cuales estarían relacionados con la disminución de coliformes, indistintamente algunas presentaron una escala de distribución ocasional, frecuente, secundario y dominante.



## VI. RECOMENDACIONES

- A los profesionales, egresados y estudiantes de biología y ramas afines, evaluar e identificar las bacterias benéficas que degradan, oxidan y reducen la materia orgánica de las aguas residuales para producirlas en masa y experimentar nuevamente su tratamiento.
- A las autoridades de los municipios distritales, la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en base a la tecnología de lodos activados ya que son apropiadas para pequeñas poblaciones.
- Realizar trabajos de investigación de procesos de aireación de aguas residuales, tomando en consideración la evaluación de diversos factores fisicoquímicos y biológicos.



## VII. REFERENCIAS

- Alpírez J., Avilés K., Castillo H., Pinzón I., Poveda R. & Vallester E. (2017). Evaluación de un sistema biológico de lodos activados a escala de laboratorio. *Revista de Iniciación Científica*. Vol. 3 (1): 50 – 57.
- Alpírez J., Avilés K., Castillo H., Pinzón I., Poveda R. & Vallester E. (2017). Evaluación de un sistema biológico de lodos activados a escala de laboratorio. *Revista de Iniciación Científica*. Vol. 3 (1): 50 – 57.
- Álvaro J. (1977). Plantas pilotos de lodos activados para investigación del tratamiento de aguas residuales industriales. Medellín, Colombia. 1977.
- Arango L. & López J. (2011). Estudio a escala de laboratorio de los efectos de la forma de alimentación de la calidad de inóculo sobre el inchamiento de los lodos de reactores aerobios mezcla completa en etapa de arranque. Tesis de Ing. Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad de Medellín. Colombia. 168 p.
- Arroba C. & Ávila D. (2015). Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales de un campus universitario. Tesis de Ing. Civil. Facultad de Ing. Civil, Universidad Santo Tomás. Bogotá – Colombia. 84 p.
- Bejarano M. & Escobar M. (2015). Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual. Tesis e Ing. Ambiental y Sanitario. Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle. Bogotá – Colombia. 99 p.
- Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano, B., & Velasquez, O. (2009). Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. 2<sup>a</sup> ed. Facultad de Química, UNAM. México.
- Caravali M., Lote M. & Echeverry L. (2016). Evaluación de los parámetros fisicoquímicos en un reactor discontinuo de lodos activados para el tratamiento de aguas con metanol. *Revista Ingeniería*. Vol. 22 (1): 98 – 110.
- Cerna F. (2014). Estimación de parámetros biocinéticos del agua residual del camal municipal (Tingo María) mediante un sistema de lodos activados a escala de laboratorio. Informe final de prácticas pre profesionales. Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María – Perú. 110 p.
- Chocce, R., & Galarza, R. (2012). Determinación de los Coeficientes Cinéticos del Proceso de Degradación Aerobia en el Tratamiento Biológico del Efluente



- Doméstico de “Agua de las Vírgenes” el Tambo- Huancayo. Tesis de Ing. Químico. Facultad de Ing. Química, Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo – Perú. 61p.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lodos Activados. Tlalpan, México, D.F.: © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Condori M. & Ruelas J. (2017). Instalación y evaluación de un sistema de reactores para tratamiento de aguas residuales urbanas por proceso de lodos activados. Tesis de Ing. Químico. Facultad de Ing. Química, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. 125 p.
- Cortés, C. (2012). Tratamiento de agua residual urbana con salinidad variable. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Facultad de Farmacia. Departamento de Microbiología. Granada-España. 251.
- Curds C., Cockburn A. & Vandyke J. (1968). An experimental study of the role of ciliated protozoa in the activated – sludge process. *Wat. Pollut. Control*. Vol. 667: 312 – 329.
- CYTED, Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. (2004). Indicadores de contaminación fecal en aguas. In *Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas* (pp. 224-229). Página web:  
[http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo\\_20.pdf](http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf)
- Dávila J. & Granda F. (2013). Evaluación comparativa en una planta a escala piloto de lodos activados de aireación prolongada en el tratamiento de lixiviado de relleno sanitario municipal diluido con agua residual. Tesis de Ing. Sanitario. Facultad de Ing. Ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú. 203 p.
- Díaz, Sebastián, Delgado. (2010). Nuevas tecnologías de depuración de aguas residuales. Universidad Ambiental de la Palma.  
[http://www.universidadambientaldelapalma.es/alumnos/documentos/el\\_agua/po-nencias/TextoSebastian2.pdf](http://www.universidadambientaldelapalma.es/alumnos/documentos/el_agua/po-nencias/TextoSebastian2.pdf).
- Eraso G. & Ruíz D. (2015). Desarrollo de un reactor de mezcla completa para el estudio de los coeficientes cinéticos en lodos activados en el tratamiento de aguas residuales. Tesis de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto – Colombia. 85 p.



- Foissner W. & Berger (1996). A user-friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes, and waste waters, with notes on their ecology. *Freshwater. Biol.* Vol. 35: 375 – 482
- García D., Mateo L. & Mendoza C. (2017). Nuevos registros y lista actualizada de las algas verdes (Chlorophyta) del litoral de Veracruz, México. *Rev. Gayana Bot.* Vol. 74 (4): 41-56.
- Garibay J. & Orellana B. (2011). Estudio de la capacidad de los filtros biológicos aireados de flujo vertical, como tratamiento secundario de un efluente de rapa para agua residuales provenientes de la industria de camal. Tesis Ing. Sanitario. Facultad de Ing. Ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú. 248 p.
- Hernández R., Fernández C. & Baptista M. (2014). Metodología de la investigación. Sexta edición. Editorial Mc Graw Hill. México. 600 p.
- Herrera L., Yabroudi S., Cárdenas C., Velásquez L., Maldonado H., Vargas L. & Delgado J. (2007). Tratamiento biológico de efluentes de industrias procesadoras de cangrejo azul usando lodos activados. *Revista Interciencia.* Vol. 32 (7): 490 – 495.
- Hoyos, J. (2006). Lodos Activados. Querétaro, México. Grupo DURMAN.
- INAL, Instituto Nacional de Alimentos. (2004). Guía de Interpretación de Resultados Microbiológicos de Alimento. Administración Nacional de Medicamentos Alimentos y Tecnología Médica. 21 p. Fecha de revisión Octubre 30, 2019, from [http://www.anmat.gov.ar/Alimentos/Guia\\_de\\_interpretacion\\_resultados\\_microbiologicos.pdf](http://www.anmat.gov.ar/Alimentos/Guia_de_interpretacion_resultados_microbiologicos.pdf)
- Jay, J. (2002). Microbiología Moderna de los Alimentos.
- Limón J. (2013). Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales ¿problema o recurso?. Especialidad Ingeniería Química. Página web: [http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc\\_ingreso\\_gualberto\\_limon\\_trabajo\\_de\\_ingreso.pdf](http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf). Fecha de revisión: 29 setiembre 2019.
- López, J. (2011). Evaluación de la eficiencia de un reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos UASB para el tratamiento de aguas residuales – escala laboratorio. Tesis para el Título de Ing Química. Universidad San Francisco de Quito. 122p.
- López, M., Vázquez, M., & Pena, P. (1966). Determinación y diferenciación de *Escherichia coli* y coliformes totales usando un mismo sustrato cromogénico. . Laboratorio Central. Aquagest Galicia. Rua Isidro Parga Pondal. Santiago de Compostela España.



- Macassi G. (2017). Comportamiento del sistema de nanoburbujeo en el tratamiento para reducir los niveles de contaminación de aguas residuales domésticas de la provincia de Concepción. Tesis de Ing. Químico Ambiental. Facultad de Ing. Química. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo – Perú. 91.
- Madigan T., Martinko M., Parker J. & Brock (2003). *Biología de los microorganismos* (10ma edición. Madrid: Prentice-Hall.
- Mañunga T., Rodríguez J. & Torres P. (2012). Tratamiento de agua residual doméstica sin clarificación primaria en un sistema de lodos activados en la modalidad de estabilización por contacto. *Revista Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Valle. Vol. 30 (2): 246 – 260.*
- Marín, J., & Correa, J. (2010). Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la *Guadua angustifolia* Kunth. Tesis de Tecnología Química. Facultad de Tecnología. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. 100p.
- Martínez, I. (2016). Estudio de la dinámica de protistas y metazoos en un reactor biológico de aireación prolongada con macrófitas en flotación y su relación con las variables fisicoquímicas. Tesina Máster en Ingeniería Ambiental. Escola Técnica Superior d'Enginyeria. Universitat Politècnica de València. Valencia-España. 164p.
- Martos M. (2016). Estudio en planta piloto de la microestructura y de la biomasa del fango aerobio / anaerobio en diferentes condiciones operacionales. Tesis de Magíster en Gestión Sostenible y Tecnologías del Agua. Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante. España. 29 p.
- Méndez L., Miyashiro V., Rojas R., Cotrado M. & Carrasco N. (2004). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG, UNMSM. Vol. 7 (14): 74 – 83.*
- Metcalf – Eddy (1985). *Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales.* Editorial Labor S.A. España.
- Miranda J. (2005). Eliminación biológica de nutrientes en un ARU de baja carga orgánica mediante el proceso VIP. *Universitat Politècnica de Catalunya.*  
[http://www.tesisenred.net/TESIS\\_UPC/AVAILABLE/TDX-0727105-133519//08Mjkm08de18.pdf](http://www.tesisenred.net/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0727105-133519//08Mjkm08de18.pdf).
- Moeller G. & Tomasini A. (2004). Microbiología de lodos activados. Página web:  
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS20>



- 04/CapituloII/5Microbiologiadelodosactivados.pdf. Fecha de revisión: 1 dic 2019.
- Moeller, G., & Tomasini, A. (2010). Microbiología de lodos activados. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 148–208. doi: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Montiel, M., Zambrano, J., Castejón, O., Oliveros, C., & Botero, L. (2005). Indicadores bacterianos de contaminación fecal y colifagos en el agua de la Laguna de Sinamaica, Estado Zulia, Venezuela. *Ciencia*. Vol 13(3), 1-12.
- Mora, J., & Calvo, G. (2010). Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. *Tecnología en Marcha*, Vol. 23, N.º 5, Número Especial. 34-40.
- Morales E. (2013). Estudio experimental y modelización de los parámetros biocinéticos en la evaluación de un reactor de lodos activados de una planta de tratamiento alimentaria. Tesis de Ing. Químico. Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales, Escuela Superior politécnica del Litoral. Guayaquil – Ecuador. 147 p.
- Morales G. (2014). Evaluación de la estabilidad de un sistema de lodos activados mediante indicadores fisicoquímicos y biológicos. Tesis Ing. Ambiental. Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción. Concepción – Chile. 83 p.
- Muñoz H. & Baumann J. (2017). Remoción de bacterias coliformes en un sistema de lodos activados y humedal construido. *Revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. Vol. 4 (11): 287 – 297.
- Muñoz, L., & López, J. (2011). Estudio a escala de laboratorio de los efectos de la forma de alimentación y de la cantidad de inóculo sobre el hinchamiento de los lodos de reactores aerobios mezcla completa en etapa de arranque. Tesis para título de Ing. Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad de Medellín. Colombia. 168 p
- Narváez, S., Gómez, M., & Acosta, J. (2008). Coliformes termotolerantes en aguas de las poblaciones costeras y palafíticas de la ciénaga grande de santa marta, colombia. *Acta biol. Colomb.*, Vol. 13 No. 3., 113-122.
- Ortiz, D. (2011). Manual de Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales para poblaciones medianas de la Región Sur del Ecuador. 388p. Tesis de Ing. Civil. Universidad Técnica Particular de Loja. Loja-Ecuador.
- Paredes, A.P. (2014). Implementacion del protocolo para la determinación de coliformestotales y *E. coli* en agar chromocult para la asociación municipalde acueductos comunitarios amac. Tesis para obtener el grado de Tecnologa



- Química.Facultad de Tecnologías. Escuela de Química. Programa de Tecnología Médica.Universidad Tecnológica de Pereira.45 p.
- Pascual, M. & Calderón V. (2000). Microbiología Alimentaria. 2ª Ed. Diaz de Santos. Madrid, España.
- Prescott Harley & Klein. (2009). Microbiología. Séptima edición. Editorial McGraw - Hill.
- Ramos, L., Vidal, L., Vilardey, S., & Saavedra, L. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de santa marta, caribe colombiano. Acta Biológica Colombiana, 13(3), 85-96. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-548X2008000300007&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2008000300007&lng=en&tlng=es)
- Richard M. (2010). Practical Control Methods For Activated Sludge Bulking and Foaming. <http://www.dec.ny.gov/>. Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York, <http://www.dec.ny.gov/chemical/34373.html>.
- Rodríguez E., Isac L., Salas L., Fernández N., Zornoza A., Pérez B., Serrano S., Arregui L., Calvo P., Guinea A. & Estévez F. (2008). Manual práctico para el estudio de grupos bioindicadores en fangos activos. Ed. Tecnología del Agua y EMASESA.
- Salvadó H. Gracia M. & Amigó J. (1995). Capability of ciliated protozoa as indicators of effluent quality in activated sludge plants. Wat. Res. Vol. 29: 1041 – 1050.
- Serrano E. (2010). Control de la deficiencia de nutrientes en un proceso de depuración biológica. Web. <http://www.surcis.com/ControldeLaDeficienciaDeNutrientes.pdf>.
- Serrano S., Arregui L., Pérez-Uz B., Calvo P. & Guinea A. (2008). Guidelines for the Identification of Ciliates in Wastewater Treatment Plants. IWA Publishing, London.
- Vásquez, S., Selva, Q., & Legnani, M. (2013, Septiembre). Importancia de los coliformes en los alimentos. Fecha de revisión Octubre 30, 2019. Página web: [http://montevideo.gub.uy/sites/default/files/importancia\\_de\\_los\\_coliformes\\_en\\_los\\_alimentos.pdf](http://montevideo.gub.uy/sites/default/files/importancia_de_los_coliformes_en_los_alimentos.pdf)
- Vélez, A., & Ortega, J. (2013). Determinación de coliformes totales y e. coli en muestras de lechuga expandidas en cuatro mercados de la ciudad de Cuenca. Tesis para optar el grado de Química Farmacéutica.Facultad de Ciencias Químicas.Escuela de Bioquímica y Farmacia. Universidad de Cuenca.Cuenca-Ecuador. 79p.
- Vilaseca, M. (2001). Observación microscópica de fangos activados en los tratamientos de depuración biológica. Trabajo de divulgación. Boletín Intexter (U. P. C.) N° 119. 67 – 72.



Wastewater Treatment Plants (1999). Syed R. Qasim, Second Edition CRC Press.

Water Environment Federation. (2010). Design of Municipal Wastewater Treatment Plants (5 ed.). Alexandria, Virginia, Estados Unidos: wefpres.

## ANEXOS

**Tabla 8.** Informe de los resultados de análisis fisicoquímicos adicionales del agua.

Parámetros	Variable	Rep	Inicio	24 horas	72 horas	120 horas	168 horas	Prom	D. E.	C. V.
Sulfatos (mg/L)	Con aireación	1	132.0	168.0	208.0	98.00	64.0	134.0	56.6	42.2
		2	98.0	185.0	156.0	142.0	84.0	133.0	41.7	31.3
		Prom	115.0	176.5	182.0	120.0	74.0	133.5	45.5	34.1
	Sin aireación	1	132.0	114.0	160.0	208.0	250.0	172.8	55.9	32.3
		2	98.0	100.0	208.0	156.0	94.0	131.2	49.9	38.1
		Prom	115.0	107.0	184.0	182.0	172.0	152.0	37.8	24.9
Conductividad (µS/cm)	Con aireación	1	140.0	1846.0	1811.0	1873.0	1887.0	1511.4	767.2	50.8
		2	1957.0	1887.0	1884.0	1895.0	1892.0	1903.0	30.5	1.6
		Prom	1048.5	1866.5	1847.5	1884.0	1889.5	1707.2	368.6	21.6
	Sin aireación	1	1720.0	1870.0	1939.0	1934.0	1990.0	1890.6	104.5	5.5
		2	1957.0	1922.0	1900.0	1951.0	1998.0	1945.6	37.2	1.9
		Prom	1838.5	1896.0	1919.5	1942.5	1994.0	1918.1	57.4	2.9
pH (unidades)	Con aireación	1	9.4	9.2	9.4	9.4	9.1	9.3	0.1	1.5
		2	8.1	9.3	9.4	8.7	8.0	8.7	0.7	7.5
		Prom	8.8	9.3	9.4	9.1	8.6	9.0	0.4	3.9
	Sin aireación	1	8.5	8.8	9.1	9.0	9.0	8.9	0.2	2.7
		2	8.1	8.7	8.9	8.2	8.7	8.5	0.4	4.1
		Prom	8.3	8.7	9.0	8.6	8.8	8.7	0.3	3.1
Temperatura (° C)	Con aireación	1	15.5	16.0	15.0	15.0	14.5	15.2	0.6	3.8
		2	14.0	12.0	14.5	14.5	15.0	14.0	1.2	8.4
		Prom	14.7	14.0	14.7	14.7	14.7	14.6	0.3	2.3
	Sin aireación	1	14.5	14.5	14.5	15.0	14.5	14.6	0.2	1.5
		2	14.0	13.0	15.0	14.0	14.5	14.1	0.7	5.3
		Prom	14.3	13.8	14.8	14.5	14.5	14.4	0.4	2.7

**Donde:** Rep = repetición; Prom = promedio; D. E. = desviación estándar; C. V. = coeficiente de variabilidad en porcentaje.



*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



**Registro: 009-2020**

## **CONSTANCIA**

AUTORIDAD QUE SUSCRIBE, **DECANO** DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO – PERÚ.

### **HACE CONSTAR:**

Que el (la) Bachiller **VICTORIA ISABEL LUQUE ROMERO**, egresado (a) de la Escuela Profesional de Biología de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, ha realizado la parte experimental de su trabajo de investigación (Tesis) titulado: **EFFECTO DE LA AIREACIÓN EN AGUAS DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN ESPINAR EN LA REMOCIÓN DE BACTERIAS COLIFORMES TOTALES Y TERMOTOLERANTES Y PRESENCIA DE ORGANISMOS EN CONDICIONES DE LABORATORIO**, 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 junio a setiembre del 2019.

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

Puno, 02 de diciembre del 2020.



UNA  
PUNO

Firmado digitalmente por LAURA  
CHAUCA DE MEZA Eva FAU  
20145496170 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 03.12.2020 10:41:30 -05:00

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