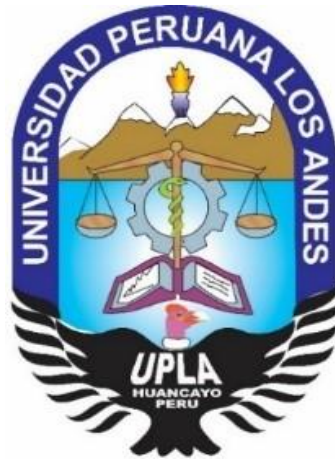


**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD**



**TESIS**

**EFECTO DEL pH, TIEMPO DE RETENCIÓN Y TIPO  
DE BIORREACTOR SOBRE LA EFICIENCIA DEL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES,  
HUANCAYO 2018**

**Para Optar : EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS DE LA SALUD, MENCIÓN: SALUD  
PÚBLICA**

**Autor : BACH. JAIME MARTÍN WESTER CAMPOS**

**Asesor : MG. EDWIN TOVAR SEDANO**

**Línea de Investigación: Salud y Gestión de la Salud**

**HUANCAYO - PERÚ**

**2019**

## **JURADOS DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Dr. Juan Manuel Sánchez Soto  
Presidente

Dr. Pedro Gonzalo Rengifo Gratelli  
Miembro

Dr. Washington Manuel Ordoñez Hospinal  
Miembro

Mg. Fernando Polo Orellana  
Miembro

Dr. Jesús Armando Cavero Carrasco  
Secretario Académico

**ASESOR**

**MG. EDWIN TOVAR SEDANO**

## **DEDICATORIA**

A Dios Todopoderoso, por concederme la Gracia de la vida y permitirme alcanzar este gran anhelo.

A mi amada esposa Ángela y mis tesoros Martín Antonio y María de los Ángeles, por su tiempo, paciencia y constituirse en mi constante fuente de inspiración.

A la memoria de mis padres Amparo y Jaime, cuyo esfuerzo y sacrificio dejaron honda huella en mí.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi esposa e hijos, quienes fueron perseverantes, otorgándome su tiempo y aliento permanente para alcanzar cada una de mis metas.

A mi Asesor, Mg. Edwin Tovar Sedano, cuya experiencia y valiosas orientaciones condujeron a la culminación de esta investigación.

Al Dr. Q.F. Pedro Gonzalo Rengifo Gratelli, gran amigo y guía en este fascinante campo de la investigación científica.

# ÍNDICE

	Pág.
Carátula	i
Jurados	ii
Asesor	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice	vi
Índice de tablas	ix
Resumen	x
Abstract	xi

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1	Planteamiento del problema	12
	1.1.1 Formulación del problema	16
	A. Problema general	16
	B. Problemas específicos	17
1.2	Objetivos	17
	1.2.1 Objetivo general	17
	1.2.2 Objetivos específicos	18
1.3	Justificación e importancia del estudio	18
	1.3.1 Teórica	18
	1.3.2 Social	19
	1.3.3 Metodológica	19

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de estudio	21
	2.1.1 Internacionales	21
	2.1.2 Nacionales	23

2.2	Base teórica	25
	2.2.1 Aguas residuales	25
	2.2.2 Tratamiento de aguas residuales	32
	2.2.3 Eficiencia del tratamiento de aguas residuales	37
2.3	Definición de términos	43
2.4	Hipótesis de la investigación	47
	2.4.1 Hipótesis general	47
	2.4.2 Hipótesis específicas	47
2.5	Sistema de variables	48
	2.5.1 Variable independiente	48
	2.5.2 Variable dependiente	48

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA**

3.1	Tipo de investigación	50
3.2	Diseño de la investigación	51
3.3	Lugar y periodo de ejecución	51
3.4	Población y muestra	51
	3.4.1 Criterios de inclusión	52
	3.4.2 Criterios de exclusión	52
3.5	Métodos, técnicas e instrumento de recolección de datos	52
	3.5.1 Métodos y técnicas	52
	3.5.2 Instrumento	53
3.6	Procesamiento de datos	53
	3.6.1 Obtención de muestras	53
	3.6.2 Caracterización del agua residual	53
	3.6.3 Aislamiento de la flora nativa	54
	3.6.4 Tratamiento del agua residual	54
	3.6.5 Evaluación de la eficiencia del tratamiento biológico	55
3.7	Análisis estadístico	56
	3.7.1 Análisis descriptivo	56
	3.7.2 Análisis inferencial	57

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

4.1	Caracterización de las aguas residuales domésticas	58
4.2	Efecto del pH, tiempo de retención y tipo de biorreactor sobre el tratamiento biológico de aguas residuales	59
4.3	Eficiencia del tratamiento biológico	65

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN**

5.1	Discusión	68
	CONCLUSIONES	76
	RECOMENDACIONES	78
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
	ANEXOS	87
Nº1	Matriz de consistencia	88
Nº2	Matriz de operacionalización de variables	90
Nº3	Instrumento de recolección de datos	91
Nº4	Diagrama del diseño y características de los biorreactores cilíndricos empleados en el tratamiento del agua residual	92
Nº5	Fotografías de los cinco tipos de biorreactores cilíndricos empleados	97
Nº6	Composición del medio de cultivo caldo y agar base de sales minerales	102
Nº7	Determinación del oxígeno disuelto y cálculo de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	103
Nº8	Determinación de Sólidos suspendidos totales (SST)	105
Nº9	Numeración de coliformes	106
Nº10	Análisis estadístico	108



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla N°1. Límites máximos permisibles para efluentes de aguas residuales domésticas	43
Tabla N°2. Características del agua residual doméstica de la ciudad de Huancayo	59
Tabla N°3. Resultados del tratamiento biológico de las aguas residuales con un biorreactor aireado permanentemente	60
Tabla N°4. Resultados del tratamiento biológico de las aguas residuales con un biorreactor agitado mecánicamente	61
Tabla N°5. Resultados del tratamiento biológico de las aguas residuales con un biorreactor aireado y agitado	62
Tabla N°6. Resultados del tratamiento biológico de las aguas residuales con un biorreactor sin aireación ni agitación	63
Tabla N°7. Resultados del tratamiento biológico de las aguas residuales con un biorreactor air lift de aireación interna	64
Tabla N°8. Eficiencia del tratamiento biológico de aguas residuales según tipo de biorreactor y pH con dos días de retención	65
Tabla N°9. Eficiencia del tratamiento biológico de aguas residuales según tipo de biorreactor y pH con dos días de retención	66
Tabla N°10. Eficiencia del tratamiento biológico de aguas residuales según tipo de biorreactor y pH con dos días de retención	67

## RESUMEN

La investigación se planteó como objetivo analizar el efecto del pH, tiempo de retención y tipo de biorreactor sobre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Huancayo. Fue un estudio de tipo básico, transversal y de carácter prospectivo, ubicado en el nivel experimental; cuya población estuvo conformada por el total de aguas residuales de la ciudad de Huancayo vertidas al río Mantaro, y se analizaron 45 muestras del colector Daniel A. Carrión escogidas mediante muestreo no probabilístico intencionado. Para evaluar la eficiencia del tratamiento biológico se empleó el método de Winkler modificado por Alsterberg para analizar oxígeno disuelto y luego poder calcular la Demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), el método Gravimétrico para Sólidos suspendidos totales (SST) y la técnica del Número más probable para enumeración de coliformes (totales y fecales). Se trabajó con un set de cinco tipos diferentes de biorreactores con capacidad de 1,5 L operando a diferentes condiciones de pH (6,0; 7,0 y 8,0) y tiempos de retención (2, 4 y 6 días), a los que fue inoculado un consorcio microbiano aislado y escalado a partir de las muestras de agua residual. Finalizada la investigación se concluye que un biorreactor con aireación y agitación permanente, operando a pH de 7,0 y seis días de retención, alcanzó una eficiencia para disminución de la Demanda bioquímica de oxígeno de 80,2%; para Sólidos suspendidos totales de 82,0%, para coliformes totales de 93,2% y para coliformes fecales de 90,7%.

**Palabras clave:** Aguas residuales, tratamiento biológico, demanda bioquímica de oxígeno, biorreactores, eficiencia.

## **ABSTRACT**

The objective of the research was to analyze the effect of pH, retention time and type of bioreactor on the efficiency of wastewater treatment in the city of Huancayo. It was a basic, transversal and prospective type study, located at the experimental level; whose population was made up of the total wastewater from the city of Huancayo discharged into the Mantaro River, and 45 samples from collector Daniel A. Carrión were analyzed, chosen by means of intentional non-probabilistic sampling. To evaluate the efficiency of the biological treatment the Winkler method modified by Alsterberg was used to analyze dissolved oxygen and then calculate the biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>), the Gravimetric method for total suspended solids (TSS) and the most probable number technique for enumeration of coliforms (total and fecal). We worked with a set of five different types of bioreactors with a capacity of 1.5 L operating at different pH conditions (6.0, 7.0 and 8.0) and retention times (2, 4 and 6 days), to which an isolated and scaled microbial consortium was inoculated from the residual water samples. After the research concluded that a bioreactor with aeration and permanent agitation, operating at a pH of 7.0 and six days of retention, achieved an efficiency to decrease the biochemical oxygen demand of 80.2%, for total suspended solids of 82.0%, for total coliforms of 93.2% and for fecal coliforms of 90.7%

**Keywords:** Wastewater, biological treatment, biochemical oxygen demand, bioreactors, efficiency.

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En los últimos cuarenta años el problema de la contaminación de distintos cuerpos de agua, principalmente océanos y ríos, debido al incontrolado –y muchas veces irresponsable- vertido de aguas residuales, tanto de origen doméstico como industrial, ha logrado alcanzar niveles bastante preocupantes; ya que en la gran mayoría de los casos las características de los ecosistemas acuáticos receptores, así como sus paisajes adyacentes, se han visto irreversiblemente alterados en sus cualidades biológicas, económicas y lúdicas, haciendo que sea muy difícil satisfacer las demandas de seres humanos y animales.<sup>1</sup>

Hasta hace aproximadamente doscientos años no era evidente y significativa la contaminación de los cuerpos de agua receptores, debido fundamentalmente a que la humanidad era relativamente reducida y se

encontraba dispersa; generando escasos desechos líquidos que al ser arrojados a estos ambientes acuáticos resultaban degradados en su totalidad como consecuencia de sus características auto depuradoras; fenómeno que cambió progresivamente con el crecimiento poblacional y aumento de la densidad demográfica, conjuntamente con la industrialización, desarrollo urbano y abandono del campo, haciendo que los vertidos sean cada vez mayores.<sup>2</sup>

Las aguas servidas (denominadas también de albañal o residuales), principalmente de origen doméstico se caracterizan porque como parte de su composición destacan carbohidratos, grasas, proteínas, agentes tensoactivos, elementos químicos (cloro, fósforo y azufre), así como virus, bacterias y protozoarios, entre los cuales sobresale una elevada proporción de microbios entéricos considerados como importantes indicadores de contaminación fecal; todo lo cual tiene estrecha relación con las alteraciones ecológicas anteriormente mencionadas, haciendo que sea necesario su tratamiento y depuración antes de su disposición final.<sup>3</sup>

Por otro lado, la necesidad de contar con agua de riego muchas veces carente, aunada al desconocimiento es una práctica por la cual muchos agricultores desvían cursos de aguas servidas hacia sus campos de cultivo; conllevando a la contaminación microbiana de sus cosechas.<sup>4</sup>

A nivel mundial, en las últimas décadas se han evaluado y aplicado diferentes estrategias para mitigar los impactos negativos generados por la evacuación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos hacia el medio ambiente, originando un conjunto de tecnologías conocidas como biorremediación, las

cuales surgieron como parte de las aplicaciones de la biotecnología ambiental, buscando solucionar los problemas de la contaminación mediante el empleo de seres vivos (microorganismos y plantas) en base a su capacidad para metabolizar compuestos orgánicos e inorgánicos.<sup>5</sup>

Las mejoras en el tratamiento de aguas residuales se han efectuado principalmente de manera empírica, pero actualmente se realizan estudios y modelamientos técnicos a nivel de laboratorio con mayor soporte científico, enfocados en procesos biológicos (aerobios y anaerobios) cuya optimización conduzca a la aplicación de sistemas exitosos según las condiciones y características de cada tipo de efluente, así como los diferentes factores y variables involucradas.<sup>6</sup>

En este contexto, se han considerado diferentes alternativas y propuestas para el tratamiento biológico de los efluentes domésticos, muchas de las cuales están orientadas a incrementar su eficiencia y reducción costos de operación, con especial énfasis en la conservación del medio ambiente; considerando sus principales ventajas y desventajas relacionadas con el origen, características y nivel de contaminación del tipo de efluente a tratar; así como la posibilidad de su posterior reutilización.<sup>7</sup>

Para el tratamiento de residuos líquidos se consideran generalmente tres tipos de procesos: físicos, químicos y biológicos, siendo los últimos aquellos capaces de degradar e incluso eliminar materia orgánica a través del empleo de consorcios microbianos (bacterias, hongos y protozoarios); conocida como tecnología de los microbios eficaces (EMT por sus siglas en

inglés) cuya actividad metabólica bajo parámetros óptimos de temperatura, pH, oxigenación y tiempo de retención en biorreactores adecuados conducirá a su mayor eficiencia y menor costo.<sup>8</sup>

Por su parte, a nivel de laboratorio se ha ensayado con diferentes tipos de biorreactores en procesos biotecnológicos depuradores, entre los cuales han destacado los cilíndricos agitados y aireados mecánicamente, los anaeróbicos, de lecho fijo, de tipo air lift y UASB (Up flow anaerobic sludge blanket); pues al margen de las características del tipo de efluente y demás condiciones complementarias ya mencionadas, resultan económicos, requieren menor energía y evitan los inconvenientes de sedimentación microbiana.<sup>9</sup>

En relación a ello, desde un punto de vista técnico, los principales parámetros para evaluar la eficiencia biorremediadora en el tratamiento biológico de aguas residuales incluyen la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), sólidos suspendidos totales (SST) y cuantificación de bacterias coliformes; además de tenerse en cuenta ciertas condiciones de funcionamiento tales como pH, temperatura, aireación (de ser necesario), tasa de flujo y tiempo de retención.<sup>10</sup>

En nuestro país se han puesto en funcionamiento numerosas Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en diferentes departamentos y provincias, pero en la actualidad muchas de ellas presentan problemas relacionados con sobrecarga de los vertidos e infraestructura inadecuada, además de no ser idóneas para el clima donde están ubicadas; lo cual trae

como consecuencia que los efluentes tratados sobrepasen los límites máximos permisibles, incumpliendo de esta manera los estándares de calidad ambiental (ECA).

La ciudad de Huancayo ha experimentado en los últimos años un considerable incremento de población, con aproximadamente 330 mil habitantes, cuya nutrida actividad económica e industrial ha conllevado a la aparición de serios problemas de generación y acumulación de emisiones gaseosas, residuos sólidos y líquidos; siendo estos últimos vertidos en la mayoría de los casos a la cuenca del río Mantaro, trayendo como consecuencia el colapso de sus ecosistemas y por consiguiente el perjuicio para la flora y fauna de su entorno.

Es por ello que deben realizarse estudios que permitan determinar la mejor alternativa para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, teniendo en cuenta la sostenibilidad ambiental y las proyecciones a largo plazo en función con el crecimiento demográfico, además de considerar factores climáticos, sociales y económicos en estrecha correlación con el desarrollo la ciudad en el mediano y largo plazo.

### **1.1.1 Formulación del problema**

#### **A. Problema general**

¿Cuál es el efecto del pH, tiempo de retención y tipo de biorreactor sobre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Huancayo?



## **B. Problemas específicos**

- ¿Cuál es el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor aireado permanentemente?
- ¿Cuál es el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor agitado mecánicamente?
- ¿Cuál es el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor con aireación y agitación permanente?
- ¿Cuál es el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor sin aireación ni agitación?
- ¿Cuál es el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor airlift de aireación interna?

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general**

Analizar el efecto del pH, tiempo de retención y tipo de biorreactor sobre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Huancayo.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Evaluar el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor aireado permanentemente.
- Evaluar el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor agitado mecánicamente.
- Evaluar el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor con aireación y agitación permanente.
- Evaluar el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor sin aireación ni agitación.
- Evaluar el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor airlift de aireación interna.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO**

### **1.3.1 Teórica**

Esta investigación permitió recabar información actualizada sobre los parámetros críticos (pH, tiempo de retención y tipo de biorreactor) que afectan el tratamiento biológico de las aguas residuales de la ciudad de Huancayo, cuya eficiencia fue evaluada mediante el

empleo de indicadores como Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), sólidos suspendidos totales (SST) y colimetría; lo cual permitirá optimizar modelos a mayor escala que conduzcan a posteriores diseños de instalaciones orientadas a la biorremediación de efluentes domésticos con la finalidad de atenuar sus impactos sobre el medio ambiente luego de ser vertidos a cuerpos receptores.

### **1.3.2 Social**

Gracias al desarrollo de este estudio se resalta la importancia de la aplicación de tecnologías basadas en el uso de consorcios microbianos eficientes bajo condiciones adecuadas que permitan la disminución de la materia contaminante presente en las aguas residuales, lo cual redundará en beneficio de la población de esta región del país, ya que se podrá contar con diseños amigables con el medio ambiente y tendientes a garantizar menores efectos negativos relacionados con la contaminación por aguas residuales, lo cual indudablemente mejorará su calidad de vida, evitará mayores alteraciones en los ecosistemas aledaños a los lugares donde sean vertidos los efluentes previamente tratados y realzará la belleza de sus paisajes turísticos.

### **1.3.3 Metodológica**

Para llevar a cabo este trabajo se emplearon cinco tipos de biorreactores (aireado, agitado, aireado y agitado, sin aireación ni

agitación y air lift de circulación interna) para evaluar el efecto de dos factores críticos (pH y tiempo de retención) sobre el tratamiento de aguas residuales domésticas, cuya eficiencia fue determinada mediante análisis químicos de parámetros indicadores como Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y sólidos suspendidos totales (SST), así como microbiológicos (colimetría) estandarizados y replicables.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES DE ESTUDIO**

##### **2.1.1 Internacionales**

Gálvez C. (2013), determinó la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales en un municipio de Guatemala a través de dos parámetros indicadores como Demanda química de oxígeno (DQO) y Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), fijando términos aceptables de remoción de materia orgánica contaminante que permitan evaluar su eficiencia, a fin de no generar impactos negativos sobre ríos y suelos donde sean vertidas; finalizada dicha investigación se sugirieron análisis periódicos de la calidad del efluente sometido a

tratamiento, así como la capacitación constante del personal encargado de la planta.<sup>11</sup>

Guzmán A. (2014), evaluó el efecto del tiempo de retención sobre el tratamiento de aguas residuales domésticas en México mediante el empleo de un biorreactor air lift, cuyos resultados demostraron la eficiencia del biorreactor a escala de laboratorio en la reducción del 44% de la demanda química de oxígeno (DQO), 32% para sulfatos y 89 mg/L de amoníaco con un tiempo de retención de 24 horas.<sup>12</sup>

Barrantes E. y Cartín M. (2016) evaluaron la eficacia de una planta de tratamiento de aguas residuales en una universidad en Costa Rica mediante el empleo de parámetros universales para aguas residuales, que incluían demanda bioquímica de oxígenos (DBO<sub>5</sub>), sólidos suspendidos totales (SST) y pH; encontrando que se cumplían con los parámetros establecidos en la legislación, sin afectar significativamente el ecosistema o causar daño a la salud de las personas.<sup>13</sup>

Yañez S. (2017) en España, determinó la influencia del pH sobre el tratamiento de aguas residuales a escala de laboratorio, encontrando eficiencia para la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) con porcentajes por encima del 88 y 96%, respectivamente; además, se demostró que el pH bajo no afecta la eliminación de la materia

orgánica, a diferencia del nitrógeno, en el que disminuyó su porcentaje de eliminación hasta en 55%.<sup>14</sup>

### **2.1.2 Nacionales**

Farfán M. (2015) en el Callao (Lima) analizó la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas con un sistema de lodos activados a escala piloto con diferentes tiempos de retención, logrando la máxima eficiencia con 170 minutos para reducción de demanda bioquímica de oxígeno en 82%, para disminuir el 49,09% la demanda química de oxígeno (DQO) fueron necesarios 120 minutos; los sólidos suspendidos fueron reducidos en 72,23% a 170 minutos; mientras que los aceites y grasas se redujeron en 75,29% con 200 minutos de retención.<sup>15</sup>

Crispín R. e Inga J. (2015) estudiaron la influencia de la temperatura, pH y tiempo de residencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas del Barrio San Antonio (Huancayo) mediante el empleo de un Biorreactor anaerobio de flujo ascendente (UASB), cuya eficiencia fue evaluada mediante parámetros como Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno, coliformes (totales y fecales) y sólidos suspendidos totales (SST). Finalizada la investigación se concluyó que a una temperatura de 40°C, pH de 6 y tiempo de residencia de 10 horas se logró un porcentaje de remoción de materia orgánica de 83,56%.<sup>16</sup>

Mejía F. (2016), analizó la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en Apurímac (Perú) mediante el empleo de un biodigestor y utilizando parámetros como pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST) y coliformes fecales (CF); demostrando que tres de ellos (DBO<sub>5</sub>, DQO y CF) no cumplían con la normativa vigente (DS 03-2010 MINAM), por lo que no podrían ser vertidas a cuerpos receptores debido a su grado nivel de contaminación.<sup>17</sup>

Martínez M. (2016) evaluó la eficiencia de remoción de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST) en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en Celendín (Cajamarca), encontrando porcentajes de eficiencia de 91,5%; 91,0% y 83,2% respectivamente para cada parámetro indicador; demostrando que los efluentes presentaron valores dentro de los límites máximos permisibles según el D.S. N°003-2010-MINAM.<sup>18</sup>

Gutarra R. (2017), realizó un diseño de infraestructura para una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en Huayllaspanca (Huancayo) mediante el empleo de un tanque Imhoff, biodiscos y lecho de secado; empleando como principal parámetro indicador la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>); concluyendo que el uso de biodiscos resulta más rentable desde el punto de vista económico, además de su mayor eficiencia para la reducción de la DBO<sub>5</sub>.<sup>19</sup>



## **2.2 BASE TEÓRICA**

### **2.2.1 Aguas residuales**

#### **A. Definición<sup>20-21</sup>**

Son aquellas aguas procedentes de viviendas (hogares), hospitales o industrias ubicadas en una ciudad, las cuales han sido empleadas para diversas actividades (cocina, limpieza, transporte, enfriamiento, etc.), que recogidas y canalizadas a través de complejas redes de un sistema de alcantarillado (tuberías o túneles), para ser generalmente vertidas a cuerpos de aguas receptores (ríos, océanos, etc.).

Bajo otra perspectiva, la Organización Mundial de la Salud (OMS), a través de la Food and Agriculture Organization (FAO), las define como aguas sin valor inmediato para un fin determinado o propósito para el que fueron producidas.

Desde un punto de vista técnico, se considera que este tipo de aguas han sufrido evidentes alteraciones en sus características físicas, químicas o biológicas, debido a la introducción de diversos tipos de elementos contaminantes, tales como residuos sólidos, agentes biológicos, sustancias químicas (domésticas, industriales, agrícolas etc.), los cuales en conjunto pueden afectar los ecosistemas acuáticos y el entorno donde son vertidas, originando por ende problemas de salud pública.

## **B. Clasificación<sup>22</sup>**

### **a. Aguas residuales domésticas (urbanas)**

Son aquellas generadas en las viviendas al interior de poblaciones urbanas como consecuencia de las actividades propias de éstas (aseo personal, cocina, lavado de ropa, etc.), las cuales presentan características de homogeneidad (composición y carga contaminante), pues sus aportes suelen ser generalmente los mismos, aunque existen ligeras variaciones según el número de habitantes, presencia de industrias, hospitales, etc.

### **b. Aguas residuales industriales**

Proceden de cualquier actividad o negocio a gran escala, en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se emplea agua (materia prima, lavado, enfriamiento, calentamiento, transporte, etc.).

Varían en relación a su caudal y composición, pudiendo existir diferencias en sus características de una industria a otra, e incluso dentro del mismo tipo de industria, presentar mayor índice y variabilidad de contaminación (biológica y química) según su origen; son más contaminadas que las aguas residuales urbanas; por lo cual resultan más difíciles de ser sometidas a procesos de tratamiento.

## **C. Características de las aguas residuales domésticas<sup>23-24</sup>**

### **a. Temperatura**

Factor estrechamente relacionado con el clima de procedencia de estos vertidos, aunque en términos generales suele ser superior al agua potable, debido al aporte de agua caliente como consecuencia de la actividad humana y metabolismo microbiano. El incremento considerable de la temperatura contribuye al agotamiento del oxígeno disuelto, además de alterar el ecosistema de los cuerpos receptores modificando su flora y fauna.

### **b. Turbidez**

Condición vinculada con la presencia de material en suspensión (limo, microbios y materia orgánica), la cual ejerce un efecto negativo sobre las aguas receptoras impidiendo la captación de luz, con lo que se alteran los fenómenos fotosintéticos y se reduce su producción primaria.

### **c. Color**

Las aguas residuales suelen presentar un color grisáceo a pardo negro debido fundamentalmente a la presencia de sólidos suspendidos y materia disuelta (sulfuros y metales) ; pero se puede presentar un cambio hacia el color negro como consecuencia del metabolismo anaeróbico (estado séptico).

#### **d. Sólidos**

Pueden clasificarse en totales cuando persisten después de evaporación y secado a 160°C durante una hora; los sólidos fijos son aquellos que remanentes luego de evaporación y carbonización a 600°C por 60 minutos y los volátiles constituyen la diferencia entre los sólidos totales y los fijos.

#### **e. Olor**

En general depende de la composición y origen del agua residual, pues se relaciona con la presencia de materia orgánica, oxígeno y microbiota presente; pues luego del metabolismo oxidativo o anaerobio se desprenden sustancias residuales como aminas, mercaptanos y gases que le confieren su olor característico desagradable.

#### **f. Materia orgánica e inorgánica**

- La materia orgánica representa aproximadamente el 30% de la composición del agua residual, encontrándose principalmente proteínas (40 a 60%), carbohidratos (25 a 50%) y grasas (10%).
- Dentro de la materia inorgánica sobresalen los cloruros, carbonatos, compuestos nitrogenados (nitratos y nitritos), fósforo, azufre, metales pesados (cobre, cromo, boro, plomo,

zinc, arsénico, etc.) y gases (oxígeno, nitrógeno, anhídrido carbónico, metano, amoníaco y ácido sulfhídrico)

#### **g. Agentes infecciosos**

- **Virus.-** Proviene de las excretas (heces) del hombre y animales, siendo capaces de adsorberse a sólidos de origen fecal y materia particulada, permaneciendo estables durante prolongados periodos de tiempo; es posible encontrarlos en los efluentes de aguas tratadas, así como en el fango resultante, por lo que son un peligro para la salud de quienes tengan contacto en esos elementos. Entre los tipos más importantes sobresalen: Polio, echo, Coxsackie, hepatitis, Norwalk, rotavirus, reovirus, adenovirus y parvovirus.
- **Bacterias.-** Su presencia obedece a un origen fecal, aunque es posible encontrar microbios contaminantes ambientales; las enterobacterias del grupo coliforme son consideradas como indicadores de contaminación de origen fecal humano. Suelen hallarse predominantemente especies de los géneros: Escherichia, Salmonella, enterococos, Proteus, Pseudomonas, Aeromonas, Serratia, Clostridium, Flavobacterium, Nocardia, Alcaligenes, Mycobacterium, Nitrosomonas y Nitrobacter.
- **Algas.-** Su desarrollo es favorecido fundamentalmente por la presencia de elevadas concentraciones de nitrógeno y fósforo, seguido de carbono, hierro y cobalto, lo cual es característico

de los fenómenos de eutrofización. Es posible encontrar especies de los géneros: Anabaena, Anacystis, Cladophora, Spirogyra, Gleocystis, Enteromorpha, Ulothrix, Euglena, Chiorella y Phormidium.

- **Hongos.-** La mayor parte de especies encontradas en ese tipo de aguas son aerobios estrictos, con bajos requerimientos de nitrógeno y acidófilos. En el caso del tratamiento de fangos activos, conjuntamente con bacterias filamentosas impiden la sedimentación de los mismos (bulking). Entre los grupos más importantes destacan: Mucor, Geotrichium, Aureobasidium, Fusarium, Sphaerotilus, Subbaromyces y Sepedonium.
- **Protozoarios.-** Es común el hallazgo de amebas, flagelados y ciliados, los cuales ejercen un rol importante en el tratamiento biológico al emplear filtros percoladores y lodos activados, pues eliminan las bacterias que se encuentran en suspensión, con lo cual se logra atenuar la turbidez de los efluentes.

#### **D. Consecuencias del vertido de aguas residuales<sup>25</sup>**

##### **a. Aparición de fangos y capas flotantes**

En las aguas residuales se encuentran sólidos en suspensión de gran tamaño, que al llegar a los cauces naturales de los cuerpos receptores conducen a la aparición de sedimentos de fango en el fondo, con la consecuente alteración de los

ecosistemas acuáticos, dificultando de esta manera la difusión de gases e incorporación de nutrientes hacia los organismos (bacterias, protozoarios y algas) que ahí habitan.

A su vez, ciertos sólidos, según sus características particulares, se pueden acumular en las orillas originando capas flotantes (estáticas o en movimiento) que alteran el color y olor de las aguas, obstruyen los mecanismos fotosintéticos, además de ser desagradables a la vista, con lo que disminuye el atractivo turístico de los paisajes comprometidos con dichos vertidos.

#### **b. Agotamiento del contenido de oxígeno**

En los diversos cuerpos de aguas existen organismos acuáticos que requieren de oxígeno disuelto para subsistir, el cual disminuye significativamente cuando los vertidos contienen elementos fácilmente oxidables por vía química o biológica; pues de persistir ese consumo en exceso es posible que se alcancen concentraciones muy por debajo de las necesarias para sostener la vida acuática, conllevando a la muerte masiva de estos tipos de seres aerobios; además de la aparición de procesos bioquímicos anaeróbicos que originan la formación de compuestos volátiles y gases que generan malos olores.

## 2.2.2 Tratamiento de aguas residuales

### A. Definición<sup>26</sup>

Es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos orientados hacia la reducción o eliminación de los agentes contaminantes presentes en el agua efluente (residual) de origen doméstico o industrial.

Tradicionalmente se ha considerado que el control de la contaminación se debería realizar en plantas de tratamiento capaces de disminuir de manera parcial la presencia y concentración de elementos contaminantes, dejando posteriormente que en el cuerpo receptor se llegue a completar el resto del proceso en base a sus capacidades de auto purificación natural.

En este sentido, la capacidad auto purificadora del cuerpo de agua receptor debe relacionarse fundamentalmente con dos aspectos: caudal y concentración de oxígeno, persiguiéndose, por lo tanto, como objetivo principal la obtención de un efluente líquido conjuntamente con un residuo sólido (fangos o lodos activados) plenamente adecuados para su disposición final o posterior reuso. Desde la perspectiva de la ecoeficiencia los sistemas de tratamiento se basan en criterios tales como la reducción de áreas extensas, empleo innecesario de energía eléctrica, insumos químicos y lodos resultantes; así como la obtención de biogás (metano) y reutilización de los efluentes tratados.



## **B. Niveles de tratamiento<sup>27-28</sup>**

### **a. Pretratamiento**

Tiene por finalidad la eliminación de elementos sólidos (basura, plásticos, animales, vegetales, etc.) cuya densidad sea mayor que el agua y la arena, con el propósito de facilitar su posterior tratamiento. Para ello se suelen emplear rejillas gruesas, desarenadores y tamices.

### **b. Primario**

Abarca todas las operaciones que remueven materia en suspensión, con excepción de coloides o elementos disueltos en agua; con lo cual se logra eliminar entre 60 a 70% de sólidos suspendidos totales (SST) y aproximadamente 30% de la materia orgánica sedimentable; empleándose tanques sépticos (Imhoff) o biorreactores anaerobios de flujo ascendente (UASB por sus siglas en inglés).

### **c. Secundario**

En esta etapa se consideran los procesos biológicos basados en las reacciones bioquímicas de los microbios presentes, los mismos que pueden llegar a alcanzar entre 50 a 95% de materia orgánica. Entre los sistemas mayormente empleados se encuentra la filtración (biofiltros, percoladores y biodiscos), lodos activados (fangos) y pozas de oxidación (lagunas de estabilización).

#### **d. Terciario**

Son procesos que se realizan según la disposición final que se pretende dar a los efluentes tratados, pues su principal objetivo es remover nitrógeno y fósforo con lo cual se evitará el desarrollo de algas en los cuerpos receptores (eutroficación) mitigando los impactos negativos sobre sus ecosistemas; empleando con frecuencia operaciones como precipitación química, filtración, flotación, destilación y osmosis inversa. Generalmente se aplica cuando los efluentes serán aplicados en áreas de riego, crianza de peces y agua de usos industrial.

### **C. Tipos de tratamiento biológico<sup>29-30</sup>**

#### **a. Tratamiento aeróbico**

Se basa en el empleo de procesos catabólicos (degradativos) de tipo oxidativo que requieren de la presencia de un agente oxidante (oxígeno) de la materia orgánica, el cual generalmente no se encuentra en las aguas residuales; por lo que debe ser introducido de manera artificial mediante aireación mecánica.

Además, la mayor parte de la Demanda química de oxígeno (DQO) de la materia orgánica termina convertida en lodo, con elevado contenido de microorganismos viables que requieren ser estabilizados. Este tipo de tratamiento presenta

como desventajas sus elevados costos de operación, mantenimiento y energía, emanación de malos olores, empleo de sustancias químicas y personal capacitado.

#### **b. Tratamiento anaeróbico**

Básicamente es un proceso de transformación de la materia orgánica, en el cual no participa ningún agente oxidante, por lo que la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica se mantiene intacta en el biogás producido (metano). Por tanto, la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97%) y una mínima parte de ella es convertida en lodo (3 a 10%). En estas reacciones bioquímicas se libera sólo una pequeña parte de la energía libre, mientras que su mayor parte permanece como energía química en el biogás.

### **D. Ventajas y desventajas del tratamiento biológico de aguas**

#### **residuales<sup>31</sup>**

##### **a. Ventajas**

- Menor costo y tiempo, así como mayor facilidad de implementación y rentabilidad frente a tecnologías convencionales.

- Los elementos contaminantes presentes en las aguas residuales son convertidos a sustancias inocuas que no afectan negativamente sobre el medio ambiente, contando con aceptación pública.
- Se ofrece gran flexibilidad, por lo que se puede integrar con otras tecnologías, además de ser aplicado en áreas de difícil acceso.

#### **b. Desventajas**

- Algunos sistemas pueden ser de difícil control, requieren de monitoreo extensivo y su efectividad puede resultar impredecible.
- Las correcciones introducidas al medio ambiente a fin de incrementar la biorremediación pueden causar otros problemas de contaminación.
- Puede no reducirse la concentración de contaminantes al nivel deseado y muchas veces no se cuenta con criterios de valoración aceptables para los tratamientos de este tipo.
- Existe la preocupación de que algunos productos de biodegradación resulten más persistentes o tóxicos que los compuestos originales.

- Se requiere de poblaciones bacterianas nativas capaces de efectuar su metabolismo en su medio ambiente óptimo, con niveles adecuados de nutrientes y contaminantes presentes en cada tipo de agua residual.

### **2.2.3 Eficiencia del tratamiento de aguas residuales**

#### **A. Factores que intervienen<sup>32-33</sup>**

##### **a. pH**

La actividad metabólica de los seres vivos se desarrolla dentro de un rango de pH generalmente definido, que en la gran mayoría de los casos oscila entre 5 a 9, el cual no afecta significativamente a un gran número de organismos, aunque existen algunas especies que son bastante estrictas a este aspecto. Cuando se trata de aguas ácidas se da origen a la solubilización de sustancias por ataque a los materiales, de modo tal que en un efluente con pH ácido se puede alterar su composición y modificar la actividad biológica, haciendo más difícil su tratamiento,

En las aguas residuales de origen urbano el pH es generalmente cercano a la neutralidad, por lo que resultan óptimos los procesos realizados entre intervalos de 6,5 a 8,5. Además, el pH también juega un rol indirecto, ya que influye

sobre la toxicidad de algunas sustancias, especialmente cuando ésta depende del grado de disociación.

### **b. Temperatura**

Es un parámetro importante debido a sus efectos sobre los seres vivos acuáticos, afectando los esencialmente los procesos químicos y biológicos relacionados con la depuración. Las temperaturas elevadas ocasionan agotamiento del oxígeno disuelto e incrementan la proliferación de algas y hongos, con lo cual se dificulta su tratamiento.

Generalmente, los microbios que forman parte de la flora nativa (indígena) de las aguas residuales se han adaptado a los rangos y variaciones de temperatura propios de los climas de las zonas geográficas donde éstas se producen; por lo muchas veces resulta importante mantener las condiciones óptimas para que los consorcios lleven a cabo sus reacciones metabólicas conducentes a la degradación de la materia orgánica contaminante.

### **c. Tiempo de retención**

Es el periodo de tiempo, medible en horas o días, que debe permanecer un efluente en un tanque, laguna o sistema de tratamiento; con el fin de otorgar a los microbios las mejores condiciones para que efectúen su metabolismo degradativo. Esta característica varía en función del tipo de microbio o consorcio,

su tasa o velocidad de crecimiento microbiano, la cantidad de materia orgánica presente y factores complementarios tales como la temperatura y pH.

#### **d. Aireación**

La mayoría de procesos de tratamiento biológico suelen llevarse a cabo por microbios o consorcios que realizan respiración aeróbica, en la cual es necesaria la participación del oxígeno como último aceptor de electrones. En los sistemas de tratamiento basados en el empleo de lagunas o pozas (de oxidación) el oxígeno es captado directamente del aire que entra en contacto directo con los mismos, para lo cual sólo es necesaria la implementación de mecanismos para promover su difusión (mezcla) con el efluente, con la desventaja de los malos olores generados.

En el caso de emplear sistemas cerrados, será necesario insuflar este gas a fin de mantener la tasa de crecimiento de los microbios aeróbicos y sus correspondientes actividades metabólicas, con la consecuente desventaja de los sobrecostos que ello conlleva.

#### **e. Tipo de biorreactor**

Los tanques o lugares donde se llevan a cabo los procesos de depuración o tratamiento de las aguas residuales son

denominados biorreactores, los mismos que deben ser sometidos a diversos estudios a nivel de laboratorio o menor escala, con la finalidad de poder determinar los parámetros específicos y optimizar las condiciones de trabajo. Entre los principales modelos que se emplean para este tipo de procesos se tienen biorreactores cilíndricos como:

- **Aireado permanente.-** Ideal para los procesos llevados a cabo por microbios aerobios estrictos (metabolismo oxidativo), a escala de laboratorio se debe insuflar oxígeno y regular la tasa de consumo con la finalidad de garantizar la viabilidad de la flora durante el tiempo de retención.
- **Agitado mecánicamente.-** Se caracteriza por que debe llevar consigo un sistema mecánico (paletas) para homogenizar la materia orgánica y los microbios que se encuentran en el efluente, evitando de esta manera los problemas de sedimentación, sobre todo cuando los tiempos de retención son relativamente prolongados.
- **Con aireación y agitación permanente.-** Es prácticamente una fusión de los dos tipos, con lo cual se garantiza el metabolismo oxidativo y el impedimento de la sedimentación de formas filamentosas o materia orgánica sin degradar.
- **Sin aireación ni agitación.-** Es empleado básicamente cuando se realizan procesos por microbios anaerobios estrictos, pero



presenta la desventaja de que pueden presentarse problemas de sedimentación o acumulación de películas flotantes a lo largo del proceso.

- **Air lift de aireación interna.-** Es una modificación de los tanques aireados, con la ventaja de que el tubo de circulación interna permite generar un flujo constante del efluente, con lo cual se logra la homogenización evitando la formación de sedimentos.

## **B. Evaluación de la eficiencia del tratamiento<sup>34</sup>**

### **a. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Se considera como uno de los indicadores más comunes e importantes empleados para caracterizar y evaluar la eficiencia de los tratamientos del agua residual. Mide la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica biodegradable presente; por lo tanto, mide el grado de contaminación de un agua residual, ya que mientras mayor sea la cantidad de materia orgánica mayor será la concentración de oxígeno que necesiten los microbios para su degradación.

Es un parámetro que se expresa en mgO<sub>2</sub>/L, luego de dos determinaciones con un intervalo de cinco días (DBO<sub>5</sub>) considerando que es el tiempo promedio requerido por los microbios para efectuar dicho tipo de metabolismo.

## **b. Sólidos suspendidos totales**

Constituyen el residuo no filtrable de una muestra de agua residual luego del secado a temperaturas entre 103 a 105°C hasta peso constante. También es un parámetro ampliamente empleado en la determinación de la calidad y eficiencia del tratamiento de las aguas residuales, ya que se encuentra estrechamente relacionado con la materia (orgánica e inorgánica) presente en las mismas y asociado a su turbidez.

## **c. Coliformes**

Son un grupo de enterobacterias que incluye una amplia variedad de bacilos Gramnegativos aerobios y anaerobios facultativos, presentes en el intestino del hombre y animales, por lo que son considerados como indicadores de contaminación fecal. Abarca el grupo de coliformes totales (*Escherichia*, *Klebsiella*, *Citrobacter* y *Enterobacter*) capaces de fermentar lactosa a 37°C, mientras que los coliformes fecales están conformados sólo por la especie *Escherichia coli*, que fermenta lactosa a 44°C.

Permiten evaluar el grado de contaminación biológica con materia de origen fecal, cuya presencia se encuentra vinculada a las condiciones que permiten su proliferación (materia orgánica, temperatura, pH, etc.).

## C. Límites máximos permisibles para efluentes sometidos a tratamiento

### a. Límites máximos permisibles

En nuestro país, el Ministerio del Ambiente (MINAM) mediante D.S.003-2010-MINAM de fecha 17 de marzo del 2010 estableció los límites máximos permisibles para efluentes de aguas residuales domésticas (municipales) sometidas a tratamiento; los mismos que se muestran en la Tabla N°1.

**Tabla N°1.**

#### **Límites máximos permisibles para efluentes de aguas residuales domésticas**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible para vertidos a cuerpos de aguas</b>
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes fecales	NMP/100mL	10000
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	100
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	200
pH	unidad	6,5 – 8,5
Sólidos suspendidos totales (SST)	mL/L	150
Temperatura	°C	< 35

Fuente: MINAM (2010)<sup>35</sup>

## 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS<sup>36-40</sup>

### 2.3.1 Autopurificación

Es un proceso natural mediante el cual en ciertos cuerpos de agua, dependiendo de sus características, flora y microbiota, es posible disminuir o depurar la materia orgánica contaminante, así como sustancias tóxicas presentes.

### **2.3.2 Biocatálisis**

Es el proceso de catálisis o aceleración de la velocidad de algunas reacciones químicas realizada por la intervención de biomoléculas (enzimas) producidas por los seres vivos.

### **2.3.3 Biodegradador**

Es un tipo de ser vivo (microorganismo, hongo o vegetal) que posee capacidad fisiológica o metabólica para degradar (descomponer) sustancias orgánicas complejas, transformándolas hasta elementos simples e inocuos para el medio ambiente.

### **2.3.4 Bioproceso**

Es la transformación de un sustrato o determinado compuesto en productos finales o metabolitos, llevado a cabo por un microbio o conjunto de microbios en un tanque (biorreactor), se le denomina también biotransformación.

### **2.3.5 Biorreactor**

Es un recipiente especial que reúne las condiciones adecuadas (tamaño, constitución, aireación, agitación, monitoreo de temperatura, pH, biomasa, metabolitos, etc.) para que un microbio o consorcio microbiano lleve a cabo un bioproceso.

### **2.3.6 Biorremediación**

Es el fenómeno mediante el cual ciertos seres vivos (microbios, hongos, protozoarios, etc.) realizan procesos de purificación o descontaminación en determinados ambientes, logrando reducir o eliminar significativamente LAS sustancias nocivas ahí presentes.

### **2.3.7 Consorcio microbiano**

Es un sistema complejo donde participan diversos tipos de microbios capaces de realizar diferentes actividades metabólicas (proteolíticas, sacarolíticas, lipolíticas y celulolíticas) que les permiten beneficiarse entre sí.

### **2.3.8 Degradación**

Es la descomposición de una sustancia compleja en otras simples a través de la rotura de los enlaces que unen los elementos químicos que la forman. Puede producirse por acción del oxígeno, la luz, el calor y ciertos microorganismos.

### **2.3.9 Ecoeficiencia**

Es una proporción entre el valor añadido de algo que ha sido producido y el impacto ambiental que éste ha significado. Entre los aspectos críticos se considera: reducción del consumo de bienes, servicios y energía, reciclabilidad, dispersión de sustancias tóxicas, máximo empleo de recursos renovables, mayor durabilidad del producto e intensidad del servicio.

### **2.3.10 Ecosistema**

Es un sistema natural que conformado por un conjunto de organismos vivos (biocenosis) y el medio físico con el que se relacionan (biotopo), compartiendo el mismo hábitat.

### **2.3.11 Eutrofización**

Proceso de origen natural o artificial mediante el cual se vierten residuos líquidos con excretas y detergentes conteniendo compuestos ricos en nitrógeno y fósforo que impulsan el desarrollo elevado de la microbiota y flora vegetal presente en los cuerpos receptores, con la consecuente alteración de sus características visuales y organolépticas.

### **2.3.12 Microbio patógeno**

Es un tipo de microbio que posee la capacidad de causar daño a otras células o seres vivos mediante la producción de metabolitos, toxinas o enzimas destructivas.

### **2.3.13 Oxigenación**

Incorporación de oxígeno (como aire) a determinado proceso para satisfacer las necesidades respiratorias de los seres vivos.

### **2.3.14 pH**

Logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno, cuya expresión permite comprender la actividad del hidrógeno cuando existen donadores y aceptores del mismo.

## **2.4 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

### **2.4.1 Hipótesis general**

El pH, tiempo de retención del efluente y tipo de biorreactor influyen sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales de la ciudad de Huancayo.

### **2.4.2 Hipótesis específicas**

- A mayor tiempo de retención, independientemente del pH, se alcanzará la mayor eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor aireado permanentemente.
- El tiempo de retención influye únicamente sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor agitado mecánicamente.
- El pH de 7,0 y tiempo de retención de 6 días logran la mayor eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor con aireación y agitación permanente.

- El mayor tiempo de retención y pH neutro influyen sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor sin aireación ni agitación.
- El pH neutro y tiempo de retención de seis días influyen sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor airlift de aireación interna.

## 2.5 SISTEMA DE VARIABLES

### 2.5.1 Variable independiente

#### **Efecto del pH, tiempo de retención y tipo de biorreactor**

- **Definición conceptual.-** Parámetros críticos relacionados con la actividad del hidrógeno cuando existen donadores y aceptores del mismo, el periodo de tiempo que permanecerá el agua residual sometida a tratamiento en determinado tipo de biorreactor.<sup>41</sup>
- **Definición operacional.-** Se consideran tres dimensiones: pH, tiempo de retención del efluente y tipo de biorreactor.

### 2.5.2 Variable dependiente

#### **Eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales**

- **Definición conceptual.-** Capacidad para lograr la disminución de la Demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales y



número de coliformes hasta niveles permisibles en un agua residual sometida a tratamiento.<sup>42</sup>

- **Definición operacional.-** Se consideran tres dimensiones: Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), sólidos suspendidos totales (SST) y número de coliformes (totales y fecales).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación fue de tipo básico, pues sirvió para coleccionar información sobre la eficiencia del tratamiento biológico del agua residual doméstica, enriqueciendo y creando nuevo conocimiento que servirá de soporte para posteriores investigaciones de tipo aplicado; fue de carácter longitudinal y prospectivo, ya que se obtuvieron datos en diversos periodos de tiempo, debido a que se trabajó acopiando información a medida que se desarrollaba el trabajo.<sup>43</sup>

El presente estudio se ubicó en el nivel experimental, ya que se identificaron dos variables, con la respectiva manipulación de la variable independiente (efecto del pH, tiempo de retención y tipo de biorreactor).<sup>44</sup>

### 3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se empleó un diseño multivariado cuasi experimental de muestras separadas.<sup>45</sup>

$$\begin{array}{ccc} \mathbf{O_1} & \mathbf{x} & \mathbf{O_2} \\ & & \mathbf{O_3} \quad \mathbf{x} \quad \mathbf{O_4} \end{array}$$

Donde:

$O_1$  y  $O_3$ = Observación de muestras separadas antes de aplicar el tratamiento

$x$  = Aplicación del tratamiento

$O_2$  y  $O_4$ = Observación de muestras separadas luego de aplicar el tratamiento

### 3.3 LUGAR Y PERIODO DE EJECUCIÓN

La investigación se desarrolló en la ciudad de Huancayo, departamento de Junín, entre los meses de noviembre del año 2017 a marzo del año 2018. Todos los ensayos fueron realizados en los Laboratorios de Microbiología y Química analítica de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Peruana Los Andes.

### 3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población estuvo conformada por el total de las aguas residuales de la ciudad de Huancayo provenientes de todos los colectores generales (Puntos de descarga) que vertían su contenido al río Mantaro.

Teniendo en cuenta que en el Plano del Sistema de Alcantarillado Sanitario de la Empresa Sedam Huancayo se registran 24 puntos de descarga, de los cuales sólo 10 de ellos vierten contenido al río Mantaro. Dicho muestreo se realizó tres veces por semana durante 15 semanas, recogiendo tres sub-muestras de 1,0 L a diferentes horas del día, colectando en total 45 muestras del colector general N°16 (Daniel A. Carrión), escogidas mediante muestreo no probabilístico intencionado y que cumplieron los siguientes criterios:

#### **3.4.1 Criterios de inclusión**

Aguas residuales procedentes del colector general Daniel A. Carrión que vierte su contenido al río Mantaro, dentro del periodo de estudio.

#### **3.4.2 Criterios de exclusión**

Agua potable, aguas residuales vertidas a otros ríos, aguas de alcantarilla domiciliaria o fuera del periodo de estudio.

### **3.5 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.5.1 Métodos y técnicas**

Se empleó el método de Winkler modificado por Alsterberg para analizar oxígeno disuelto y luego poder calcular la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), el método Gravimétrico para Sólidos

suspendidos totales (SST) y la técnica del Número más probable para enumeración de coliformes (totales y fecales).

### **3.5.2 Instrumento**

Los datos obtenidos a lo largo del desarrollo del estudio fueron almacenados en un Instrumento de recolección de datos (Anexo N°2).

## **3.6 PROCESAMIENTO DE DATOS**

### **3.6.1 Obtención de muestras**

Cada semana se colectaron tres muestras de 1,0 L en frascos de vidrio de color ámbar y de boca ancha, con capacidad para 2,0 L, para luego trasvasar su contenido a galoneras de 4,0 L limpias y desinfectadas, las cuales se conservaron en refrigeración a 4°C hasta ser mezcladas, procesadas y cargadas a los respectivos biorreactores. Este procedimiento se repitió durante quince semanas entre noviembre del año 2017 y marzo del año 2018.

### **3.6.2 Caracterización del agua residual**

Antes de iniciar la investigación se colectó una muestra del agua residual que luego se sometió a una caracterización tomando como base los parámetros de pH, temperatura, DBO<sub>5</sub>, SST y coliformes (totales y fecales) a fin de determinar la necesidad de trabajar con diluciones o muestra original.

### **3.6.3 Aislamiento de la flora nativa**

De la muestra obtenida para la caracterización, previa homogenización, se extrajeron 100,0 mL, los cuales fueron añadidos a dos matraces conteniendo cada uno 900 mL de Caldo Caso. Se incubaron en agitación y temperatura ambiental (10 – 15°C) durante 15 días. Pasado el periodo de incubación, de los matraces se procedió a sembrar por estría en diez placas Petri conteniendo Agar Caso (Anexo N°6), que luego fueron incubadas a temperatura ambiental durante siete días. Este procedimiento se repitió para cada cargar tipo de biorreactor sometido a estudio.

### **3.6.4 Tratamiento del agua residual**

#### **a. Manejo del pH**

Para mantener el pH según los parámetros establecidos (6,0, 7,0 y 8,0) se emplearon soluciones buffer de NaOH 0,1 N y de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1N, cuya determinación se realizó empleando un pHmetro digital.

#### **b. Tiempo de retención**

Se consideraron tiempos de retención de 2, 4 y 6 días para cada tipo de biorreactor.

#### **c. Tipo de biorreactor**

Se trabajó con un Set de cinco biorreactores cilíndricos con capacidad de 1,5 L para todos los ensayos, el cual operó de la siguiente manera (Anexo N°4)

- Un biorreactor aireado permanentemente
- Un biorreactor agitado mecánicamente
- Un biorreactor con aireación y agitación permanente
- Un biorreactor sin aireación ni agitación
- Un biorreactor air lift de aireación interna

### **3.6.5 Evaluación de la eficiencia del tratamiento biológico**

Para iniciar el tratamiento biológico del agua residual se cargaron todos los biorreactores con 1,5 L de agua residual y se dejaron operar según las condiciones establecidas. Al finalizar cada tiempo de retención se realizaron las siguientes determinaciones:

#### **a. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Se determinó consumo de oxígeno en 5 días (DBO<sub>5</sub>), para lo cual se empleó analizó el oxígeno disuelto según el método de Winkler modificado por Alsterberg (Anexo N°7).<sup>46</sup>

#### **b. Sólidos suspendidos totales (SST)**

Los sólidos suspendidos totales se analizaron empleando el Método Gravimétrico (Anexo N°8).<sup>47</sup>

#### **c. Numeración de Coliformes totales (CT) y fecales (CF)**

Se procedió según el método de recuento en tubo mediante la técnica del número más probable (NMP) con diluciones al  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$

y  $10^{-3}$  en tubos con Caldo Brila y campana Durham, a temperaturas de incubación de 37 y 44°C, en cada caso. (Anexo N°9).<sup>48</sup>

#### **d. Cálculo de la eficiencia del tratamiento<sup>49</sup>**

Se empleó la siguiente fórmula:

$$E = \left\{ \frac{S_o - S_f}{S_o} \right\} \times 100$$

Donde:

E = Eficiencia de la remoción en porcentaje (%)

$S_f$  = Concentración del indicador en el efluente (final)

$S_o$  = Concentración del indicador en el afluente (inicial)

### **3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

#### **3.7.1 Análisis descriptivo**

Se empleó la media aritmética y desviación estándar para la caracterización de las aguas residuales colectadas en lo referente a parámetros como temperatura, pH, Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Sólidos suspendidos totales (SST) y recuento de coliformes (totales y fecales).



### **3.7.2 Análisis inferencial**

La eficiencia del tratamiento biológico –analizada mediante el porcentaje de remoción de los indicadores (DBO<sub>5</sub>, sólidos suspendidos totales y niveles de coliformes)- se verificó mediante Análisis de varianza (ANOVA de un factor  $\alpha = 0,05$ ) a fin de establecer el efecto de las variables independientes (pH, tiempo de retención y tipo de biorreactor), así como determinar la variación dentro -o entre- tratamientos. Para ello se empleó una base de datos en el software Microsoft Excel 2013 y el software estadístico SPSS versión 24.0.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

En la Tabla N°2 se pueden apreciar las características que presentaron las diversas muestras del agua residual donde es posible observar que los parámetros de pH, temperatura, Demanda bioquímica de oxígeno y Sólidos suspendidos totales tuvieron los valores más elevados alrededor de las 12:00 horas, siendo más bajos en las primeras horas de la mañana.

Por su parte, los recuentos de coliformes totales y fecales permanecieron sin variar independientemente de la hora de colección de muestras.

**Tabla N°2****Características del agua residual doméstica de la ciudad de Huancayo**

Parámetros	Momento de colección			Promedio	Desviación estándar
	6:00 h	12:00 h	18:00 h		
pH (unidades)	7,17	7,39	7,20	7,25	0,12
Temperatura (°C)	11,71	13,51	12,37	12,5	0,94
Demanda bioquímica de oxígeno (mgO <sub>2</sub> /L)	482,0	492,1	490,8	488,3	9,69
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	340,7	345,3	342,1	342,7	3,45
Coliformes totales (NMP/100mL)	110000	110000	110000	110000	0
Coliformes fecales (NMP/100mL)	46000	46000	46000	46000	0

Fuente: Instrumento de recolección de datos, noviembre 2017

#### **4.2 EFECTO DEL pH, TIEMPO DE RETENCIÓN Y TIPO DE BIORREACTOR SOBRE EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES**

En las Tablas N°2 a N°6 se observan los resultados promedio obtenidos para cada uno de los cuatro parámetros evaluados (Demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, coliformes totales y coliformes fecales) en cada uno cinco tipos de biorreactores operando a tres diferentes pH (6,0; 7,0 y 8,0) y tres tiempos de retención (2, 4 y 6 días). Puede observarse que los mayores descensos para los parámetros de evaluación de la eficiencia del tratamiento se han obtenido en el biorreactor con aireación y agitación permanente operando a pH 7,0 y seis días de retención.

**Tabla N°3**  
**Resultados del tratamiento biológico de las aguas residuales con un**  
**biorreactor aireado permanentemente**

Condiciones de operación		Promedios según parámetros			
pH	Tiempo de retención (días)	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	SST (mg/L)	Coliformes totales (UFC/100mL)	Coliformes fecales (UFC/100mL)
6,0	0	477,7	340,1	110000	46000
	2	386,9	260,2	46000	29000
	4	290,1	240,4	29000	21000
	6	199,2	179,8	21000	16000
7,0	0	477,7	340,1	110000	46000
	2	375,3	280,0	46000	21000
	4	275,0	220,3	21000	16000
	6	175,3	160,2	16000	12000
8,0	0	477,7	340,1	110000	46000
	2	395,5	300,2	46000	21000
	4	315,3	260,3	29000	16000
	6	235,0	220,3	21000	15000

Fuente: Instrumento de recolección de datos, noviembre 2017

**Tabla N°4**  
**Resultados del tratamiento biológico de las aguas residuales con un**  
**biorreactor agitado mecánicamente**

Condiciones de operación		Promedios según parámetros			
pH	Tiempo de retención (días)	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	SST (mg/L)	Coliformes totales (UFC/100mL)	Coliformes fecales (UFC/100mL)
6,0	0	488,6	341,5	110000	46000
	2	440,3	319,7	46000	46000
	4	399,0	300,0	29000	29000
	6	356,7	279,2	21000	16000
7,0	0	488,6	341,5	110000	46000
	2	420,3	315,2	29000	24000
	4	360,3	285,2	15000	21000
	6	300,0	270,0	12000	16000
8,0	0	488,6	341,5	110000	46000
	2	414,5	290,3	46000	29000
	4	344,9	240,0	29000	21000
	6	274,5	189,9	21000	16000

Fuente: Instrumento de recolección de datos, diciembre 2017

**Tabla N°5**

**Resultados del tratamiento biológico de las aguas residuales con un  
biorreactor con aireación y agitación permanente**

Condiciones de operación		Promedios según parámetros			
pH	Tiempo de retención (días)	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	SST (mg/L)	Coliformes totales (UFC/100mL)	Coliformes fecales (UFC/100mL)
6,0	0	490,3	347,8	110000	46000
	2	290,0	310,0	46000	29000
	4	160,3	190,0	21000	16000
	6	109,7	160,0	15000	15000
7,0	0	490,3	347,8	110000	46000
	2	284,6	290,7	15000	9300
	4	145,6	173,8	9300	7500
	6	97,3	141,4	7500	4300
8,0	0	490,3	347,8	110000	46000
	2	295,0	300,0	46000	29000
	4	161,0	180,0	29000	21000
	6	115,0	160,3	21000	15000

Fuente: Instrumento de recolección de datos, enero 2018

**Tabla N°6**  
**Resultados del tratamiento biológico de las aguas residuales con un**  
**biorreactor sin aireación ni agitación**

Condiciones de operación		Promedios según parámetros			
pH	Tiempo de retención (días)	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	SST (mg/L)	Coliformes totales (UFC/100mL)	Coliformes fecales (UFC/100mL)
6,0	0	500,7	341,4	110000	46000
	2	480,1	321,0	110000	110000
	4	460,0	300,6	110000	46000
	6	440,3	281,1	46000	29000
7,0	0	500,7	341,4	110000	46000
	2	471,1	300,3	110000	110000
	4	440,3	271,4	46000	29000
	6	410,4	240,7	29000	21000
8,0	0	500,7	341,4	110000	46000
	2	490,5	331,3	110000	110000
	4	481,1	320,7	110000	46000
	6	471,5	310,3	46000	29000

Fuente: Instrumento de recolección de datos, febrero 2018

**Tabla N°7**

**Resultados del tratamiento biológico de las aguas residuales con un  
biorreactor air lift de aireación interna**

Condiciones de operación		Promedios según parámetros			
pH	Tiempo de retención (días)	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	SST (mg/L)	Coliformes totales (UFC/100mL)	Coliformes fecales (UFC/100mL)
6,0	0	484,2	342,6	110000	46000
	2	460,3	321,1	110000	110000
	4	439,9	299,0	46000	29000
	6	421,4	280,3	29000	21000
7,0	0	484,2	342,6	110000	46000
	2	459,3	332,7	46000	24000
	4	389,3	280,2	29000	21000
	6	365,2	264,2	21000	16000
8,0	0	484,2	342,6	110000	46000
	2	400,2	280,0	46000	29000
	4	300,7	221,0	29000	24000
	6	201,3	160,3	21000	21000

Fuente: Instrumento de recolección de datos, marzo 2018



### 4.3 EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES

Tabla N°8

Eficiencia del tratamiento biológico de aguas residuales según tipo de biorreactor y pH con dos días de retención

Tipo de Biorreactor	pH	Eficiencia en porcentaje (%)			
		Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Sólidos suspendidos totales (SST)	Coliformes totales	Coliformes fecales
Aireado permanentemente	6	19,0	23,5	58,2	37,0
	7	21,4	17,7	58,2	54,3
	8	17,2	11,7	58,2	37,0
Agitado mecánicamente	6	9,9	6,4	0,0	0,0
	7	14,0	7,7	0,0	47,8
	8	15,9	12,1	58,2	37,0
Con aireación y agitación permanente	6	20,5	10,9	0,0	37,0
	7	42,0	19,5	86,4	79,8
	8	19,4	13,7	0,0	37,0
Sin aireación ni agitación	6	4,1	6,0	0,0	0,0
	7	5,9	12,0	0,0	37,0
	8	2,0	2,9	0,0	0,0
Air lift de aireación interna	6	4,9	6,3	0,0	0,0
	7	5,1	2,9	0,0	47,8
	8	17,4	18,3	58,2	37,0

Fuente: Elaboración propia, marzo 2018

Se logró mayor eficiencia de remoción de la DBO, SST, CT y CF en un biorreactor aireado y agitado permanentemente operando a pH 7,0 con dos días de retención.

**Tabla N°9**  
**Eficiencia del tratamiento biológico de aguas residuales según tipo de**  
**biorreactor y pH con cuatro días de retención**

Tipo de Biorreactor	pH	Eficiencia en porcentaje (%)			
		Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Sólidos suspendidos totales (SST)	Coliformes totales	Coliformes fecales
Aireado permanentemente	6	39,3	29,3	73,6	54,3
	7	42,4	35,2	80,9	65,2
	8	34,0	23,5	58,2	54,3
Agitado mecánicamente	6	18,3	12,1	58,2	37,0
	7	26,2	16,5	0,0	54,3
	8	31,3	15,2	73,6	54,3
Con aireación y agitación permanente	6	26,6	45,4	58,2	65,2
	7	70,3	64,4	91,5	83,7
	8	26,4	48,2	58,2	54,3
Sin aireación ni agitación	6	8,1	12,0	0,0	0,0
	7	12,1	20,5	58,2	37,0
	8	3,9	6,1	0,0	0,0
Air lift de aireación interna	6	9,2	12,7	58,2	37,0
	7	19,6	18,2	58,2	54,3
	8	37,9	35,5	73,6	54,3

Fuente: Elaboración propia, marzo 2018

En la Tabla N°9 se observa que la mayor eficiencia de disminución de la Demanda bioquímica de oxígeno fue de 70,3%; de 64,4% para Sólidos suspendidos totales; de 91,5% para coliformes totales y 83,7 para coliformes fecales se alcanzó en un biorreactor con aireación y agitación permanente operando a pH 7,0 con cuatro días de retención.

**Tabla N°10**  
**Eficiencia del tratamiento biológico de aguas residuales según tipo de**  
**biorreactor y pH con seis días de retención**

Tipo de Biorreactor	pH	Eficiencia en porcentaje (%)			
		Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Sólidos suspendidos totales (SST)	Coliformes totales	Coliformes fecales
Aireado permanentemente	6	58,3	47,1	80,9	65,2
	7	63,3	52,9	85,5	73,9
	8	50,8	35,2	73,6	54,3
Agitado mecánicamente	6	27,0	18,2	58,2	65,2
	7	38,6	20,9	73,6	65,2
	8	52,8	23,9	80,9	65,2
Con aireación y agitación permanente	6	57,2	54,0	73,6	67,4
	7	80,2	82,0	93,2	90,7
	8	35,8	53,9	73,6	67,4
Sin aireación ni agitación	6	12,1	17,7	58,2	37,0
	7	18,0	29,5	73,6	54,3
	8	5,8	9,1	58,2	37,0
Air lift de aireación interna	6	13,0	18,2	58,2	54,3
	7	24,6	22,9	73,6	65,2
	8	58,4	53,2	80,9	67,4

Fuente: Elaboración propia, marzo 2018

La Tabla N°10 muestra que la mayor eficiencia de remoción de la Demanda bioquímica de oxígeno (80,2%); para Sólidos suspendidos totales (82,0%); así como 93,2% y 90,7% para coliformes totales y fecales se alcanzó en un biorreactor aireado y agitado permanentemente operando a pH 7,0 con seis días de retención.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN**

#### **5.1 DISCUSIÓN**

En nuestro país se han diseñado y puesto en funcionamiento un número considerable de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), muchas de las cuales se encuentran bajo la administración de empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS) y algunas manejadas por empresas privadas; pero en su gran mayoría presentan deficiencias en sus condiciones de operatividad debido a múltiples factores (políticos, sociales, ambientales, de gestión y económicos).

La gran problemática relacionada con su fracaso muchas veces se debe a que su diseño y construcción no son adecuados para el tipo y características del efluente a tratar, sobre todo en lo relacionado al caudal y el sistema específico que debe emplearse.<sup>50</sup>

Ante ello, surge la necesidad de caracterizar inicialmente el agua residual y luego proceder a establecer el mecanismo más adecuado para la remoción significativa de la materia orgánica y demás elementos presentes en las mismas; lo cual definitivamente debe empezar por investigaciones a nivel de laboratorio y pequeña escala, que permitan diseñar y modelar las mejores condiciones que se asemejan al escenario real en el que posteriormente podría ponerse en funcionamiento una planta de tratamiento.

Teniendo en cuenta lo mencionado líneas arriba, como primera parte de este trabajo se analizaron las características que presentaron las aguas residuales domésticas de la ciudad de Huancayo, tras los diferentes horarios de muestreo procedente del colector general Daniel A. Carrión (Tabla N°2.), encontrando variaciones en cuatro de los parámetros analizados (pH, temperatura, Demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales), con menores registros en las primeras horas del día (6:00 horas), para luego incrementarse alrededor de las 12:00 horas, y posteriormente descender a medida que terminaba la tarde (18:00 horas).

Lo cual guarda estrecha similitud con lo reportado por Crispín R. e Inga J. (2015), quienes también tuvieron que caracterizar aguas residuales municipales con la finalidad de evaluar el efecto de diversos parámetros sobre el tratamiento anaeróbico mediante el empleo de un biorreactor de tipo UASB (up flow anaerobic sludge blanket, por sus siglas en inglés).<sup>51</sup>

Cabe resaltar que los recuentos de bacterias coliformes (totales y fecales) no presentaron variación según las horas de muestreo, demostrando

que su concentración –en estrecha relación con excretas- es independiente de la hora, pH y temperatura de muestreo. Al respecto, es importante destacar que la mayor concentración de materia orgánica y sólidos suspendidos, con la consecuente presencia de microbios de origen fecal, se presenta generalmente en las horas donde se realiza el mayor uso del agua para satisfacer diferentes necesidades de la población (cocina, aseo personal, limpieza, etc.); razón por la cual se han obtenido esos valores elevados a las 12:00 horas.

Además de ello, este tipo de caracterización sirvió para poder establecer que no resultaba necesario trabajar con diluciones de la muestra original, debido a que la carga de materia orgánica (determinada por la Demanda bioquímica de oxígeno) se encontraba dentro de un rango bajo, típico de las aguas residuales domésticas.

Tomado como base los resultados obtenidos luego de la caracterización inicial fue posible iniciar el tratamiento biológico del agua residual, para lo cual fue indispensable contar con una microbiota nativa aislada de las muestras colectadas, la cual fue sometida a escalamiento con la finalidad de lograr su incremento y facilitar su inoculación por igual a cada uno de los tipos de biorreactores sometidos a evaluación; de modo tal que este conjunto de microbios pueda llevar a cabo sus diferentes actividades metabólicas bajo la forma de un consorcio microbiano eficiente.

Así mismo, dicho consorcio podría realizar el proceso de biorremediación en condiciones óptimas (pH, oxigenación, agitación y tiempo de retención) que le permitan degradar eficientemente la materia

orgánica; las cuales fueron proporcionadas en los diferentes tipos de biorreactores diseñados.

Según de demuestra en las Tablas N°3 a N°7, es posible notar claramente que los parámetros evaluadores de eficiencia del tratamiento biológico sufren variaciones según las condiciones de operación del biorreactor, experimentando descensos en sus respectivos valores, lo cual indica que la flora nativa ejerce mecanismos degradativos sobre los compuestos presentes en el agua sometida al tratamiento.

El análisis de varianza (ANOVA de un factor con  $\alpha = 0,05$ ) efectuado para el biorreactor aireado permanentemente, demostró que los parámetros evaluadores de eficiencia (DBO<sub>5</sub>, SST, CT y CF) no se ven influenciados por los diferentes valores de pH; es decir los niveles de remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos, así como los descensos en los recuentos de bacterias coliformes no cambian significativamente; a diferencia de lo observado conforme se mantuvieron diferentes tiempos de retención; siendo más elevados los índices de remoción a los seis días, aunque no se logró reducirlos hasta los niveles aceptables según la legislación vigente en nuestro país.

A su vez, el mismo tipo de análisis estadístico realizado para los resultados obtenidos con el biorreactor agitado mecánicamente demostró que el pH no ejerce influencia sobre tres parámetros de eficiencia (DBO<sub>5</sub>, SST y CF), a diferencia de lo observado en todos ellos según el tiempo de retención; cuyos niveles de remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos totales

descendieron significativamente mientras más se prolongó el tiempo de retención (seis días), aunque tampoco se alcanzaron los niveles máximos aceptables para efluentes sometidos a tratamiento.

En el biorreactor con aireación y agitación permanente su correspondiente análisis estadístico demostró que sólo dos parámetros (SST y CF) no se ven influenciados por las variaciones en el pH, resaltando también que éste si guarda estrecha relación con el descenso de la DBO<sub>5</sub> y coliformes totales; observándose también que los índices de remoción para todos los parámetros evaluados son significativos a medida que se prolonga el tiempo de retención (seis días), llegándose a situar sus respectivos valores por debajo de los límites máximos permitidos.

El análisis de varianza realizado para los datos obtenidos con el biorreactor sin aireación ni agitación demostró que todos los parámetros de eficiencia presentan cambios relacionados con las fluctuaciones del pH, con excepción de los coliformes (totales y fecales); pero en todos los casos hubo índices de remoción mayormente afectados conforme se incrementó el tiempo de retención, sin alcanzar los estándares permisibles.

Por su parte, en el biorreactor airlift de aireación interna, su correspondiente análisis estadístico demostró que todos los parámetros de eficiencia estuvieron influenciados por el pH, excepto los coliformes totales; mientras que para todos los demás existieron descensos relacionados con el tiempo de retención, aunque sin llegar a disminuir hasta los límites máximos permitidos.



Con relación a la eficiencia del tratamiento biológico, tal como se observa en la Tabla N°10 muestra que la mayor eficiencia de remoción de la Demanda bioquímica de oxígeno (80,2%); para Sólidos suspendidos totales (82,0%); así como 93,2% y 90,7% para coliformes totales y fecales se logró en un biorreactor aireado y agitado permanentemente operando a pH 7,0 con seis días de retención.

Los resultados obtenidos en esta investigación guardan cierta concordancia con los reportes de Farfán M. (2015), quien analizó la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante lodos activados, a escala piloto, evaluando diferentes tiempos de retención; encontrando que las mayores tasas de remoción para Demanda bioquímica de oxígeno (82%) y sólidos suspendidos (72,23%) se alcanzaron con 170 minutos de retención; aunque debe tenerse en cuenta que el sistema de lodos activados presenta como desventaja su posterior eliminación debido a los problemas de sedimentación al interior de los tanques.<sup>52</sup>

Así mismo, existen semejanzas con la investigación de Crispín R. e Inga J. (2015), quienes estudiaron la influencia de la temperatura, pH y tiempo de residencia sobre el tratamiento de aguas residuales domésticas en Huancayo, utilizando un Biorreactor anaerobio de flujo ascendente (UASB); demostrando que a 40°C, pH de 6,0 y tiempo de residencia de 10 horas, la remoción de materia orgánica fue de 83,56%.

Al respecto, es necesario mencionar que se han encontrado algunas concordancias con el estudio de Mejía F. (2016), quien para analizar la

eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas (Apurímac) mediante el empleo de un biodigestor también utilizó los parámetros de pH, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales y coliformes fecales; aunque en ningún demostró que no se cumplía con la normativa vigente (DS 03-2010 MINAM), a diferencia de lo hallado en esta investigación al emplear el biorreactor con aireación y agitación constante.<sup>53</sup>

Con relación a lo reportado por Martínez M. (2016), es posible establecer mayores semejanzas, pues en su investigación empleó los parámetros demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales para evaluar una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (Celendín), logrando encontrar porcentajes de eficiencia de 91,5% y 83,2%, respectivamente; demostrando que cumplían con los límites máximos permisibles según el D.S. N°003-2010-MINAM.<sup>54</sup>

Tal como se ha podido establecer, a partir del análisis estadístico de los resultados encontrados en este estudio, el biorreactor aireado y agitado demostró que es un buen sistema para alcanzar la mayor eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales debido fundamentalmente a que se permitió un contacto muy bueno entre la fase biótica (microbiota nativa) y abiótica del sistema (materia orgánica y sólidos en suspensión); cuyo desempeño se encuentra relacionado con factores cinéticos de las reacciones comprometidas, además de estar estrechamente asociado a los fenómenos de transferencia de oxígeno entre las células y el medio circulante.<sup>55</sup>

En tal sentido, este tipo de biorreactor se convierte en una gran alternativa para el tratamiento biológico de las aguas residuales, aunque debe tenerse en cuenta que los índices de remoción pueden variar significativamente cuando sea sometido a escalamiento, ya que sus condiciones de operatividad estarán sujetas a la intervención de otras variables que deberían ser consideradas en posteriores investigaciones, tales como la turbulencia de los vientos, condiciones climáticas y sobre todo el caudal con su correspondiente concentración de materia orgánica; lo cual indudablemente ocasionaría cambios en el tiempo de retención.

En términos generales, los resultados de este estudio han corroborado los aspectos teóricos que se han establecido para el diseño y puesta en operación de las plantas de tratamiento de las aguas residuales, sobre todo en lo relacionado a los parámetros utilizados para evaluar su eficiencia.

Como se ha señalado anteriormente, a pesar de haberse encontrado porcentajes significativos de remoción con los demás biorreactores sometidos a evaluación, en casi todos ellos no se logró reducir la concentración de materia orgánica, sólidos suspendidos ni bacterias coliformes por debajo de los estándares permisibles para efluentes domésticos sometidos a tratamiento; lo cual también demuestra que ello no sólo depende del pH ni tiempo de retención, sino en mayor medida de las condiciones de operatividad en cada sistema., debiéndose tener en cuenta que un sistema biológico será más eficiente en los tanques aireados y agitados.

## CONCLUSIONES

1. Se determinó que el pH de 7,0 con un tiempo de retención de seis días y con un tipo de biorreactor con aireación y agitación permanente ejercen un efecto significativo sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Huancayo, logrando disminuir los parámetros indicadores hasta niveles permisibles según la legislación vigente.
2. En un biorreactor aireado permanentemente, operando a pH de 7,0 y seis días de retención se alcanzó una eficiencia para disminución de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) de 63,6%; para Sólidos suspendidos totales (SST) fue de 52,9%, para coliformes totales (CT) fue de 85,5% y para coliformes fecales (CF) fue de 73,9%.
3. Se logró alcanzar una eficiencia para disminución de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) de 52,8%; para Sólidos suspendidos totales (SST) de 23,9%, para coliformes totales (CT) de 80,9% y para coliformes fecales (CF) de 65,2% en un biorreactor agitado mecánicamente operando a pH 8,0 y seis días de retención.
4. En un biorreactor con aireación y agitación permanente, operando a pH de 7,0 y seis días de retención se alcanzó una eficiencia para disminución de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) de 80,2%; para Sólidos suspendidos totales (SST) fue de 82,0%, para coliformes totales (CT) fue de 93,2% y para coliformes fecales (CF) fue de 90,7%.

5. El pH de 7,0 y bajo un tiempo de retención de seis días permitieron alcanzar una eficiencia para disminución de la Demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) de 18,0%; para Sólidos suspendidos totales (SST) fue de 29,5%, para coliformes totales (CT) fue de 73,6% y para coliformes fecales (CF) fue de 54,3% en un biorreactor sin aireación ni agitación.
  
6. Se alcanzó una eficiencia para disminución de la Demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) de 58,4%; para Sólidos suspendidos totales (SST) de 53,2%, para coliformes totales (CT) de 80,9% y para coliformes fecales (CF) de 67,4% en un biorreactor air lift de aireación interna operando a pH 8,0 y seis días de retención.

## RECOMENDACIONES

1. A la comunidad científica de las Universidades y Centros de Investigación, desarrollar estudios sobre la aplicación de flora microbiana nativa y consorcios microbianos eficientes en los diferentes sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales.
2. A las autoridades de la Universidad Peruana Los Andes, incentivar el interés por la investigación multidisciplinaria relacionada con el diseño y aplicación de tecnologías para la biorremediación de residuos líquidos, a escala de planta piloto, basadas en el empleo de sistemas aireados y agitados.
3. A las autoridades sanitarias de nuestra región, promover la ejecución de estudios de corte longitudinal empleando modelos de biorreactores aireados y agitados con diferentes variables externas que permitan mitigar los impactos sobre el medio ambiente, orientadas a la reutilización de aguas residuales sometidas a tratamiento biológico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kiely G. Ingeniería ambiental. México: Editorial McGraw-Hill; 1999.
2. Rodier J, Geoffrey Ch, Kovacsik G. Análisis de las aguas naturales, residuales y de mar. Barcelona: Ediciones Omega S.A.; 1990.
3. Aznar A. Técnica de aguas: Problemática y tratamiento. Madrid: Ediciones Alcon; 1992.
4. Romero J. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. 2<sup>da</sup> ed. Bogotá: Escuela colombiana de Ingenieros; 2002.
5. Autoridad Nacional del Agua. Situación actual y perspectivas en el Sector Agua y Saneamiento en el Perú. Trabajo presentado en el Seminario de Tecnología alemana en el rubro de Agua y Saneamiento. Lima: Autoridad Nacional del Agua. [En línea: Diciembre 2018]. URL disponible en: [www.camara-alemana.org.pe/downloads/2-130311-ANA.pdf](http://www.camara-alemana.org.pe/downloads/2-130311-ANA.pdf)
6. Moscoso J. Estudio de opciones de tratamiento y reuso de aguas residuales en Lima Metropolitana. Lima; 2011.
7. Hernández A. Depuración de aguas residuales. 3<sup>ra</sup> ed. Madrid: Editorial Servicios de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid; 1994.
8. Seoanez M. Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa; 1995.

9. Reynolds K. Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica: Identificación del Problema. [En línea: enero 2019]. URL disponible en:  
<http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf>
10. Grant W, Long P. Microbiología ambiental. Zaragoza: Editorial Acribia S.A.; 1989.
11. Gálvez C. Eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual de San Lucas Sacatepéquez, Sacatepéquez [Tesis]. Guatemala: Universidad Rafael Landívar; 2013.
12. Guzmán A. Efecto del tiempo de retención hidráulica en el tratamiento del agua residual doméstica de un reactor aerobio air lift [Tesis]. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; 2014.
13. Barrantes E, Cartín M. Eficacia del tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Costa Rica en la Sede de Occidente, San Ramón, Costa Rica. UNED. 2017; 9(1):193-197.
14. Yañez S. Influencia del pH en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en humedales construidos de flujo vertical [Tesis]. Coruña: Universidad de Coruña; 2017.
15. Farfán M. Evaluación de la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales domésticas para el riego de áreas verdes en el sistema de lodos activados de la planta piloto de la FIARN – UNAC [Tesis]. Callao: Universidad Nacional del Callao; 2015.



16. Crispín R, Inga J. Estudio de la influencia de la temperatura, pH y tiempo de residencia en el tratamiento de aguas residuales municipales del barrio San Antonio-Huancayo, en la disminución de la carga orgánica mediante un reactor UASB a nivel laboratorio [Tesis]. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú; 2015.
17. Mejía F. Eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un biodigestor prefabricado en la subestación eléctrica Cotaruse – Apurímac [Tesis]. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina; 2015.
18. Martínez M. Eficiencia en la remoción de la Demanda bioquímica de oxígeno, Demanda química de oxígeno y Sólidos suspendidos totales en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín [Tesis]. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca; 2016.
19. Gutarra M. Diseño de la infraestructura para el tratamiento de aguas residuales mediante biodiscos del sistema de alcantarillado de la localidad de Huayllaspanca – Sapallanga [Tesis]. Huancayo: Universidad Peruana Los Andes; 2016.
20. Corbitt R. Manual de referencia de Ingeniería Medioambiental. España: Editorial Mac Graw Hill; 2003.
21. Romero J. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. 2<sup>da</sup> ed. Bogotá: Escuela colombiana de Ingenieros; 2002.
22. Raffo E, Ruíz E. Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial (UNMSM). 2014; 17(1): 71-80.

23. SUNASS. Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución. Lima-Perú; 2015.
24. Arce L. Urbanizaciones Sostenibles: Descentralización del tratamiento de aguas residuales residenciales [Tesis]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2013.
25. Metcalf G, Eddy H. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. 4<sup>ta</sup> ed. Barcelona: Editorial Mc Graw-Hill Interamericana de España; 2003.
26. EcuRed. Tratamiento de aguas residuales. [En línea: mayo 2019]. URL disponible en: [https://www.ecured.cu/Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales](https://www.ecured.cu/Tratamiento_de_aguas_residuales)
27. Noyola A, Morgan-Sagastume J, Güereca M. Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. México. Universidad Nacional Autónoma de México; 2013.
28. Alianza por el agua. Manual de depuración de aguas residuales urbanas. España: Idesamares; 2014.
29. López C, Buitrón G, García H, Cervantes F. Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. Londres: IWA Publishing; 2017.
30. SINIA-MINAM. Tratamiento y reuso de aguas residuales. [En línea: mayo 2019]. URL disponible en:  
[https://www.google.com/search?q=tratamiento+de+aguas+residuales&rlz=1C1RLNS\\_esPE854PE855&oq=tratamiento+de+aguas+residuales&aqs=chrome.0.016.5959j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=tratamiento+de+aguas+residuales&rlz=1C1RLNS_esPE854PE855&oq=tratamiento+de+aguas+residuales&aqs=chrome.0.016.5959j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8)

31. Muñoz F. Ventajas y desventajas del tratamiento de aguas residuales [En línea: mayo 2019]. URL disponible en:  
[https://www.academia.edu/7309019/Ventajas\\_y\\_desventajas\\_del\\_tratamiento\\_s](https://www.academia.edu/7309019/Ventajas_y_desventajas_del_tratamiento_s)
32. Gálvez C. Eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual de San Lucas Sacatepéquez, Sacatepéquez [Tesis]. Guatemala: Universidad Rafael Landívar; 2013.
33. Miranda H, Robles H, Villanueva L, Rodríguez C. Biorreactores, diseño y aplicaciones. Trujillo: Sociedad Peruana de Biotecnología; 2006.
34. FONAM. Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú. [En línea: mayo 2019]. URL disponible en:  
[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/0605A78F2E41896205257DC800592EF0/%24FILE/Oportunidades\\_Mejoras\\_Ambientales.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/0605A78F2E41896205257DC800592EF0/%24FILE/Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf)
35. Ministerio del Ambiente. Aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. Decreto Supremo 003-2010-MINAM. Lima: Diario El Peruano; 2010.
36. Metcalf G, Eddy H. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. 4<sup>ta</sup> ed. Barcelona: Editorial Mc Graw-Hill Interamericana de España; 2003.

37. López C, Buitrón G, García H, Cervantes F. Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. Londres: IWA Publishing; 2017.
38. Raffo E, Ruíz E. Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial (UNMSM). 2014; 17(1): 71-80.
39. Castillo F. Biotecnología ambiental. Madrid: Editorial Tebar; 2005.
40. Romero J. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. 2<sup>da</sup> ed. Bogotá: Escuela colombiana de Ingenieros; 2002.
41. Duque P, Heras C, Lojano D, Viloría T. Modelamiento del tratamiento biológico de aguas residuales; estudio en planta piloto de contactores biológicos rotatorios. Revista Ciencia UNEMI. 2018; 11(28): 88-96.
42. Méndez C, Dueñas J. Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. Ingeniería hidráulica y ambiental. 2018; 39(3): 97-107.
43. Hernández R, Fernández-Collado C, Baptista P. Metodología de la Investigación. 4<sup>ta</sup> ed. México: Editorial Mc Graw-Hill; 2006.
44. Sánchez H, Reyes C. Metodología y diseños en la investigación científica. Lima: Editorial Visión Universitaria; 2009.
45. Valderrama S. Pasos para elaborar Proyectos y tesis de investigación científica. Lima: Editorial San Marcos E.I.R.L.; 2010.
46. Rump H, Krist H. Laboratory manual for the examination of water, wastewater and soil. VCH.Weinheim; 1992.

47. Rodier J. Análisis de las aguas. Barcelona: Ediciones Omega; 1990.
48. Camacho A, Giles M, Ortegón A, Palao M, Serrano B, Velázquez O. Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. 2ª ed. México: Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México; 2009.
49. Martínez M. Eficiencia en la remoción de la Demanda bioquímica de oxígeno, Demanda química de oxígeno y Sólidos suspendidos totales en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín [Tesis]. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca; 2016.
50. Larios J, Gonzáles C, Morales Y. Las lagunas residuales y sus consecuencias en el Perú. Saber y Hacer (USIL). 2015; 2(2):9-25.
51. Crispín R, Inga J. Estudio de la influencia de la temperatura, pH y tiempo de residencia en el tratamiento de aguas residuales municipales del barrio San Antonio-Huancayo, en la disminución de la carga orgánica mediante un reactor UASB a nivel laboratorio [Tesis]. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú; 2015.
52. Farfán M. Evaluación de la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales domésticas para el riego de áreas verdes en el sistema de lodos activados de la planta piloto de la FIARN – UNAC [Tesis]. Callao: Universidad Nacional del Callao; 2015.
53. Mejía F. Eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un biodigestor prefabricado en la subestación eléctrica Cotaruse – Apurímac [Tesis]. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina; 2015.

54. Martínez M. Eficiencia en la remoción de la Demanda bioquímica de oxígeno, Demanda química de oxígeno y Sólidos suspendidos totales en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín [Tesis]. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca; 2016.
55. Noyola A, Morgan-Sagastume J, Güereca M. Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. México. Universidad Nacional Autónoma de México; 2013.

# **ANEXOS**

## ANEXO N°1

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

**TÍTULO:** EFECTO DEL pH, TIEMPO DE RETENCIÓN Y TIPO DE BIORREACTOR SOBRE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, HUANCAYO, 2018  
**AUTOR:** Bachiller JAIME MARTÍN WESTER CAMPOS

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN			METODOLOGÍA
			Variables	Dimensión	Indicador	
<p><b>Problema general</b> ¿Cuál es el efecto del pH, tiempo de retención y tipo de biorreactor sobre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Huancayo?</p> <p><b>Problemas específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor aireado permanentemente?</li> <li>¿Cuál es el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor agitado mecánicamente?</li> <li>¿Cuál es el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del</li> </ul>	<p><b>Objetivo general</b> Analizar el efecto del pH, tiempo de retención y tipo de biorreactor sobre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Huancayo.</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor aireado permanentemente.</li> <li>Evaluar el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales</li> </ul>	<p><b>Hipótesis general</b> El pH, tiempo de retención del efluente y tipo de biorreactor influyen sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales de la ciudad de Huancayo.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A mayor tiempo de retención, independientemente del pH, se alcanzará la mayor eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor aireado permanentemente.</li> <li>El tiempo de retención influye únicamente sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor agitado mecánicamente.</li> </ul>	<p>pH, tiempo de retención del efluente y tipo de biorreactor</p>	pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>6,0</li> <li>7,0</li> <li>8,0</li> </ul>	<p><b>1. Tipo de investigación.-</b> Básica, transversal y prospectiva. De nivel experimental.</p> <p><b>2. Diseño de la investigación.-</b> Pre-experimental con un solo grupo (pre y post test).</p> <p><b>3. Lugar y periodo de la investigación.-</b> La investigación se desarrollará en la ciudad de Huancayo, (Junín), entre noviembre del año 2017 a marzo del año 2018. Todos los ensayos se realizarán en los Laboratorios de Microbiología y Química analítica de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Peruana Los Andes.</p> <p><b>4. Población y muestra.-</b> Población conformada por el total de las aguas residuales de la ciudad de Huancayo provenientes de todos los colectores generales (Puntos de descarga) que viertan su contenido al río Mantaro. El muestreo se realizará vez por semana durante 15 semanas, recogiendo tres sub-muestras de 1,0 L a diferentes horas del día, colectando en total 45 muestras escogidas mediante muestreo no probabilístico intencionado.</p> <p><b>5. Métodos, técnicas e instrumento de recolección de datos</b></p> <p><b>5.1 Métodos y técnicas.-</b> Se empleará el método de Winkler modificado por Alsterberg para analizar oxígeno disuelto y luego calcular la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), el método Gravimétrico para Sólidos suspendidos totales (SST) y la técnica del Número más probable para enumeración de coliformes (totales y fecales).</p> <p><b>5.2 Instrumento.-</b> Los datos obtenidos a lo largo del desarrollo del estudio serán almacenados en un Instrumento de recolección de datos.</p> <p><b>6. Procesamiento de datos</b></p> <p><b>6.1 Obtención de muestras</b></p> <p><b>6.2 Caracterización del agua residual</b></p> <p><b>6.3 Aislamiento de la flora nativa</b></p>
				Tiempo de retención	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 días</li> <li>4 días</li> <li>6 días</li> </ul>	
				Tipo de biorreactor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aireado permanentemente</li> <li>Agitado mecánicamente</li> <li>Con aireación y agitación permanente</li> <li>Sin aireación ni agitación</li> <li>Air lift de aireación interna</li> </ul>	
			Eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales	<p>Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>mg/L</li> </ul> <p>Sólidos suspendidos totales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>mg/L</li> </ul>		



<p>tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor con aireación y agitación permanente?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál es el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor sin aireación ni agitación?</li> <li>• ¿Cuál es el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor airl lift de aireación interna?</li> </ul>	<p>domésticas en un biorreactor agitado mecánicamente.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor con aireación y agitación permanente.</li> <li>• Evaluar el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor sin aireación ni agitación.</li> <li>• Evaluar el efecto del pH y tiempo de retención sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor airl lift de aireación interna.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El pH de 7,0 y tiempo de retención de 6 días logran la mayor eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor con aireación y agitación permanente.</li> <li>• El mayor tiempo de retención y pH neutro influyen sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor sin aireación ni agitación.</li> <li>• El pH neutro y tiempo de retención de seis días influyen sobre la eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas en un biorreactor airl lift de aireación interna.</li> </ul>		<p>Número de coliformes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coliformes totales (NMP/100 mL)</li> <li>• Coliformes fecales (NMP/100mL)</li> </ul>	<p><b>6.4 Tratamiento del agua residual</b>  <b>a. Manejo del pH</b>  <b>b. Tiempo de retención</b>  <b>c. Tipo de biorreactor</b>  <b>6.5 Evaluación de la eficiencia del tratamiento biológico</b>  <b>a. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>  <b>b. Sólidos suspendidos totales (SST)</b>  <b>c. Numeración de Coliformes totales y fecales</b>  <b>7. Análisis estadístico</b>  <b>7.1 Análisis descriptivo.-</b> Media aritmética y desviación estándar.  <b>7.2 Análisis inferencial.-</b> Análisis de varianza (ANOVA de un factor <math>\alpha = 0,05</math>).</p>
--	--	---	--	-----------------------------	---	--

**ANEXO N°2**

**MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

<b>Variables</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Tipo y escala</b>
pH, tiempo de retención del efluente y tipo de biorreactor	pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6,0</li> <li>• 7,0</li> <li>• 8,0</li> </ul>	Cuantitativa discreta
	Tiempo de retención	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 días</li> <li>• 4 días</li> <li>• 6 días</li> </ul>	
	Tipo de biorreactor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aireado permanentemente</li> <li>• Agitado mecánicamente</li> <li>• Con aireación y agitación permanente</li> <li>• Sin aireación ni agitación</li> <li>• Air lift de aireación interna</li> </ul>	Categorica nominal
Eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales	Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mg/L</li> </ul>	Cuantitativa continua
	Sólidos suspendidos totales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mg/L</li> </ul>	
	Número de coliformes totales y fecales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coliformes totales (NMP/100 mL)</li> <li>• Coliformes fecales (NMP/100mL)</li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia, octubre 2017

**ANEXO N°3**

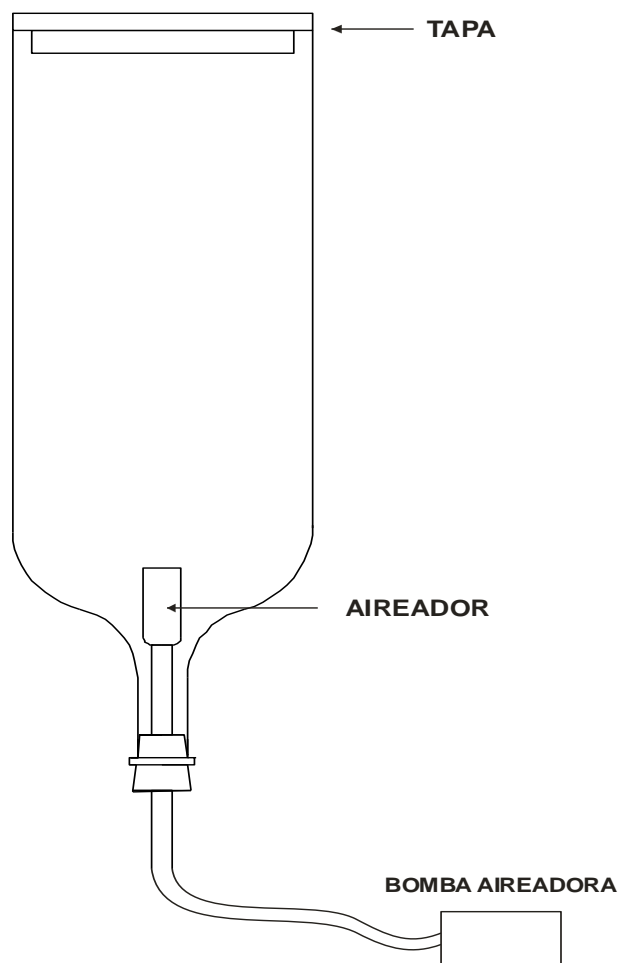
**INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

<b>Punto de muestreo:</b>				<b>Fecha de colección:</b>	
<b>Tipo de Biorreactor:</b>			<b>pH:</b>		<b>Tiempo de retención:</b>
<b>Parámetros evaluados</b>	<b>Ensayos</b>			<b>Media aritmética</b>	<b>Desviación estándar</b>
	<b>1°</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>		
Demanda bioquímica de oxígeno (mgO <sub>2</sub> /L)					
Sólidos suspendidos totales (mg/L)					
Coliformes totales (NMP/100mL)					
Coliformes fecales (NMP/100mL)					
<b>Observaciones:</b>					

Fuente: Elaboración propia, octubre 2017

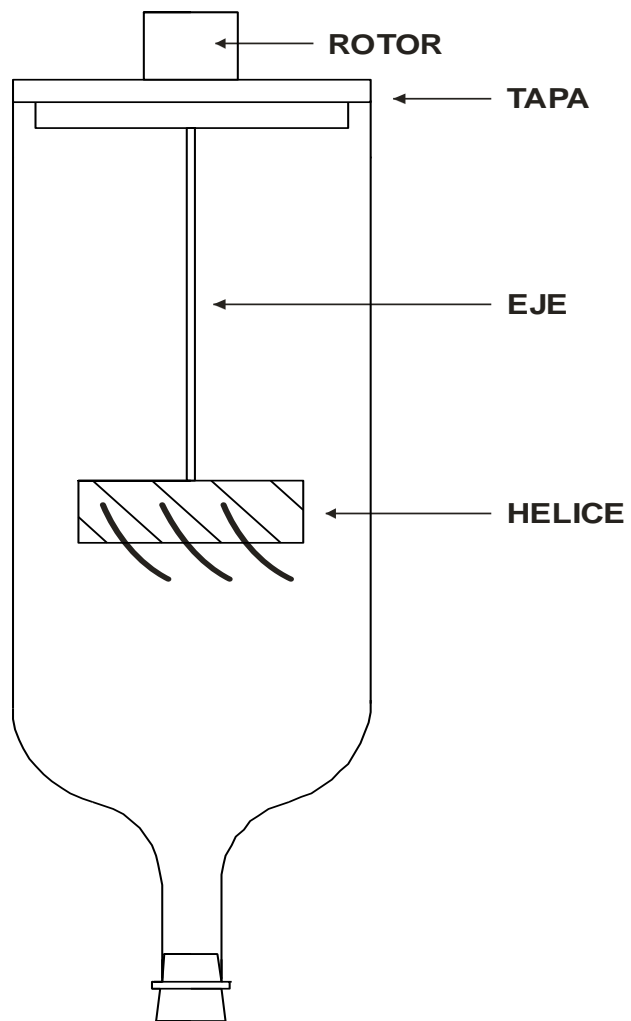
**ANEXO N°4**  
**DIAGRAMA DEL DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS**  
**BIORREACTORES CILÍNDRICOS EMPLEADOS EN EL**  
**TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL**

**A. Aireado permanente**



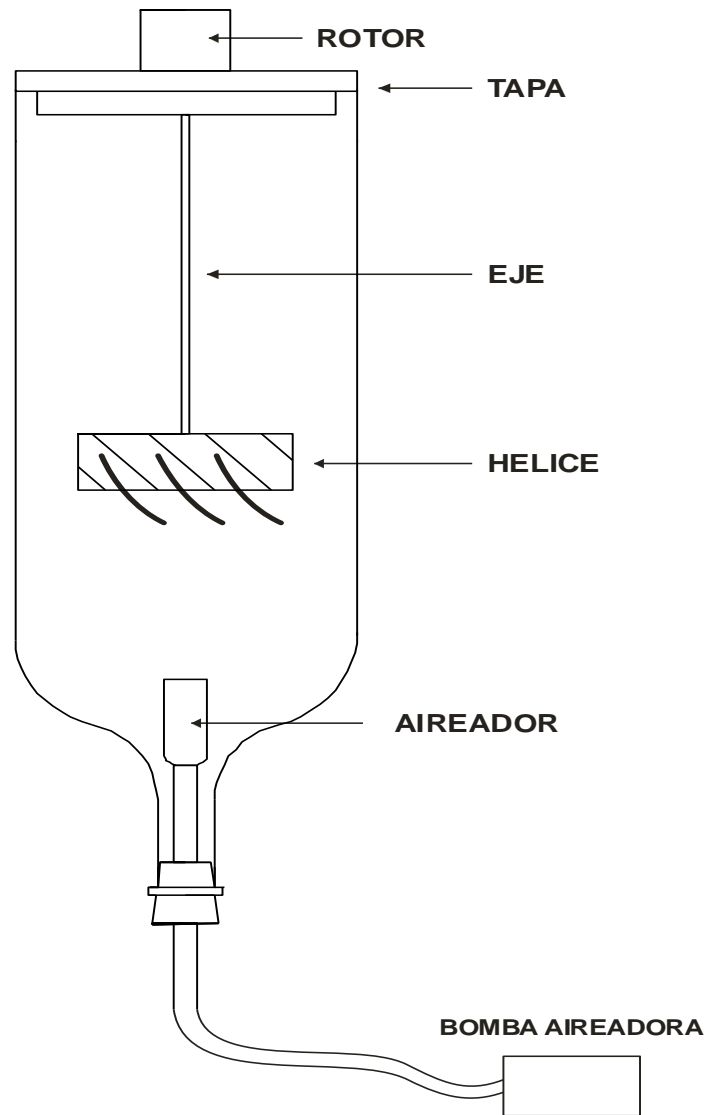
Fuente: Elaboración propia julio, 2017

**B. Agitado mecánicamente**



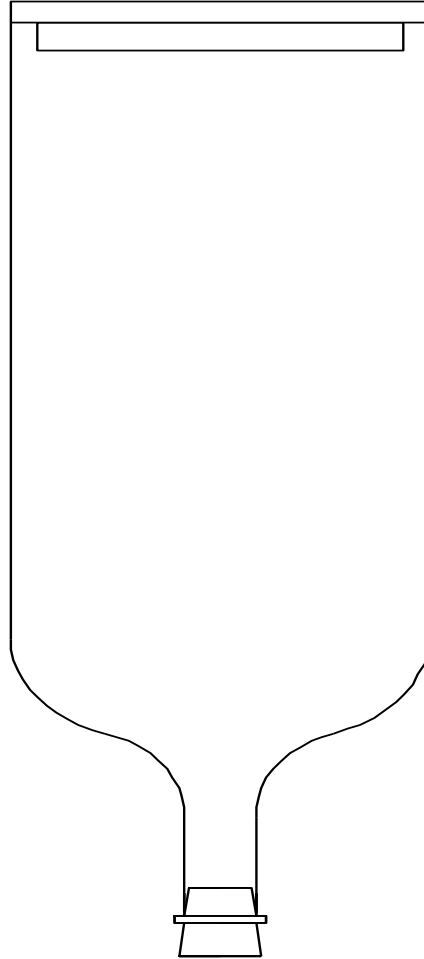
Fuente: Elaboración propia julio, 2017

**C. Con aireación y agitación permanente**



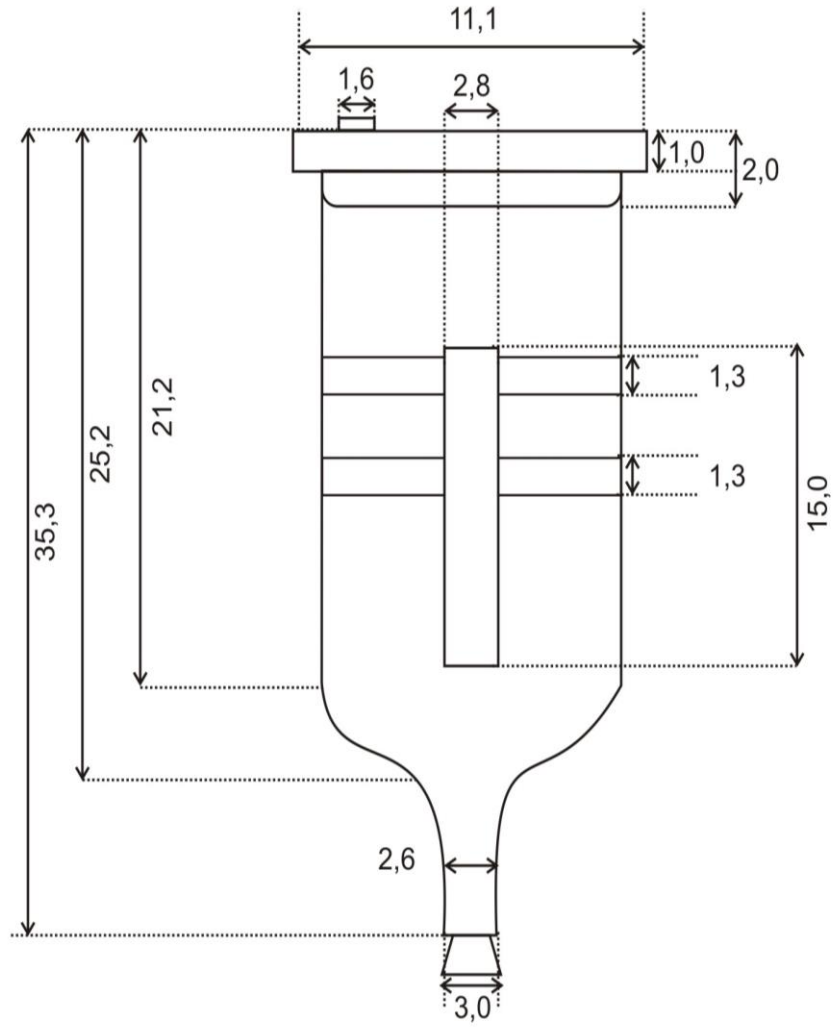
Fuente: Elaboración propia julio, 2017

**D. Sin aireación ni agitación**



Fuente: Elaboración propia julio, 2017

**E. Air lift de aireación interna**



Fuente: Elaboración propia, julio 2017



**ANEXO N°5**

**FOTOGRAFÍAS DE LOS CINCO TIPOS DE BIORREACTORES  
CILÍNDRICOS EMPLEADOS**



**A: Biorreactor aireado permanentemente  
B: Biorreactor agitado mecánicamente**

Fuente: Elaboración propia, noviembre 2017



**A: Biorreactor con aireación y agitación permanente**  
**B: Biorreactor sin aireación ni agitación**

Fuente: Elaboración propia, noviembre 2017



**Biorreactores airlift de aireación interna**

Fuente: Elaboración propia, diciembre 2017



**Detalle de la operación empleando tipos de biorreactores cilíndricos**

Fuente: Elaboración propia, enero 2018



**Detalle de la operación de tres biorreactores air lift de aireación interna**

Fuente: Elaboración propia, marzo 2018

## ANEXO N°6

### COMPOSICIÓN DE LOS MEDIOS DE CULTIVO CALDO Y AGAR

#### CASO

##### A. Caldo Caso

- Peptona de caseína 14,0 g
- Peptona de soya 5,0 g
- NaCl 5,0 g
- Agua destilada 1000,0

mL

##### B. Agar Caso

- Peptona de caseína 14,0 g
- Peptona de soya 5,0 g
- NaCl 5,0 g
- Agar 15,0 g
- Agua destilada 1000,0

mL

Fuente: Merck Laboratorios, 2017

**ANEXO N°7**  
**DETERMINACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO Y CÁLCULO DE LA**  
**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO<sub>5</sub>)**

**A. Determinación del oxígeno disuelto por el método Winkler modificado por Alsterberg**

- A una muestra de 300 mL, contenida en un frasco de oxígeno disuelto (OD), se le adiciona 1 mL de solución de sulfato de manganeso (MnSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O al 50%) y luego 2 mL de solución yoduro alcalina azida bajo la superficie del líquido.
- Tapar cuidadosamente, dejar en reposo por 10 minutos y luego agitar hasta dispersión del precipitado; dejar nuevamente en reposo por un minuto.
- Agregar 1 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> cc, tapar y agitar enérgicamente hasta disolver el precipitado, dejar reposar por 30 minutos.
- En un vaso de precipitación colocar 50 mL y titular con solución de tiosulfato de sodio hasta alcanzar una coloración amarillo pálido.
- Adicionar 1 mL de almidón (indicador) y seguir titulando hasta la desaparición del color azul (titulación por retroceso).
- Repetir el mismo procedimiento con las botellas incubadas en oscuridad al cabo de 5 días.
- El cálculo del oxígeno disuelto se realiza empleando la siguiente fórmula:

$$\text{mgO}_2/\text{L} = \frac{\text{A x N x 8 x 1000 x 100}}{\frac{\text{Vm x Vfco DBO} - 2}{\text{Vfco DBO}}}$$

Donde

A = Gasto (mL) de tiosulfato en titulación

N = Normalidad del tiosulfato de sodio

Vm = Volumen de muestra titulada (mL)

Vfco DBO = Volumen del frasco DBO (300 mL)

## B. Determinación de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

- Llenar un frasco de DBO con la muestra a analizar.
- Calcular el oxígeno disuelto según el método Winkler modificado por Alsterberg (OD<sub>1</sub>)
- Dejar otra botella en incubación a 20°C en oscuridad por cinco días y luego determinar el oxígeno disuelto de modo similar al paso anterior (OD<sub>2</sub>).
- Calcular la Demanda bioquímica de oxígeno empleando la siguiente fórmula:

$$\text{DBO}_5 \text{ (mgO}_2\text{/L)} = \frac{\text{OD}_1 - \text{OD}_2}{\text{P}}$$

Donde:

OD<sub>1</sub> = Contenido inicial de oxígeno disuelto

OD<sub>2</sub> = Contenido final de oxígeno disuelto

P = Fracción de la muestra analizada (dilución)



**ANEXO N°8**  
**DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)**

**A. Preparación del papel de filtro**

- Colocar el papel de filtro en un embudo de filtración, aplicar succión al vacío y enjuagar con tres porciones de 20 mL de agua destilada. Dejar nuevamente al vacío por un minuto hasta secado.
- Secar en estufa entre 103 a 105°C, por una hora en una luna de reloj.

**B. Determinación según el método gravimétrico**

- Pesar sucesivamente el filtro hasta obtener peso constante.
- Colocar el filtro en un embudo de filtración, hacer vacío y humedecer con una pequeña cantidad de agua destilada.
- Tomar un volumen de muestra homogeneizada, verterlo en el embudo de filtración y comenzar la succión. Lavar 3 veces sucesivas con 10 mL de agua destilada permitiendo un completo drenaje y proseguir con la succión por 3 minutos hasta que la filtración sea completa.
- Remover el filtro y colocarlo sobre la luna de reloj. Secar por 1 hora a 103 – 105°C en estufa, enfriar en desecador hasta temperatura ambiente y pesar. Repetir el ciclo de secado, enfriado y pesado hasta peso constante.

**C. Cálculos**

$$\text{SST (mg/L)} = \frac{(\text{A} - \text{B}) \times 1000}{\text{V}}$$

Donde:

A = Peso final (mg)

B = Peso inicial (mg)

V = Volumen de la muestra filtrada (mL)

## ANEXO N°9

### NUMERACIÓN DE COLIFORMES

#### A. Colimetría total y fecal según la Técnica del Número más probable (NMP)

- Realizar las diluciones decimales de  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$  de la muestra empleando agua destilada estéril.
- Preparar una serie de 9 tubos (16x150 mm) conteniendo 10 mL cada uno de Caldo Bilis Verde Brillante (Brilla) más campana Durham invertida.
- Sembrar 1 mL de cada dilución a tres tubos con Caldo, rotular, agitar cuidadosamente y llevar a incubación en baño maría a 37°C por 24 a 48 horas (colimetría total).
- Se considera como positivo al tubo que muestra producción de gas en las campanas Durham, comparar con la Tabla NMP.
- En caso de haber tubos positivos se debe sembrar de cada uno en otra serie de nueve tubos con caldo Brila más campana Durham, incubando en baño maría a 44°C durante 24 a 48 horas.
- Realizar la lectura y comparación con la Tabla NMP.

#### B. Tabla del número más probable (NMP) con tres tubos de cada dilución

$0^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	NMP/ml	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	NMP/ml
0	0	0	0	2	0	0	9
0	0	1	3	2	0	1	14
0	0	2	6	2	0	2	20
0	0	3	9	2	0	3	26
0	1	0	3	2	1	0	15
0	1	1	6.1	2	1	1	20
0	1	2	3.2	2	1	2	27
0	1	3	12	2	1	3	34
0	2	0	6.2	2	2	0	21
0	2	1	9.3	2	2	1	28
0	2	2	12	2	2	2	35
0	2	3	16	2	2	3	42
0	3	0	9.4	2	3	0	29
0	3	1	13	2	3	1	36

0	3	2	16	2	3	2	44
0	3	3	19	2	3	3	53
1	0	0	3.6	3	0	0	23
1	0	1	7.2	3	0	1	39
1	0	2	11	3	0	2	64
1	0	3	15	3	0	3	95
1	1	0	7.3	3	1	0	43
1	1	1	11	3	1	1	75
1	1	2	15	3	1	2	120
1	1	3	19	3	1	3	160
1	2	0	11	3	2	0	93
1	2	1	15	3	2	1	150
1	2	2	20	3	2	2	210
1	2	3	24	3	2	3	290
1	3	0	16	3	3	0	240
1	3	1	20	3	3	1	460
1	3	2	24	3	3	2	1100
1	3	3	29	3	3	3	>1100

Fuente: CLEIBA (1982)

**ANEXO N°10**  
**ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

**A. Análisis de varianza (ANOVA) de un factor ( $\alpha = 0,05$ ) para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Sólidos suspendidos totales (SST), coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) en el biorreactor aireado permanentemente.**

**2. Planteamiento de hipótesis (DBO<sub>5</sub> vs pH)**

**H<sub>0</sub>** = No existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el pH del tratamiento.

**H<sub>1</sub>** = Existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el pH del tratamiento.

**3. Regla de decisión**

Aceptar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $< 0,05$

**4. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )**

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre grupos	5462,509	2	2731,254	,237	,791
Dentro de grupos	380820,441	33	11540,013		
Total	386282,950	35			

**5. Decisión estadística**

Se acepta la Hipótesis H<sub>0</sub> siendo el p-valor (0,791) mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia no existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (DBO<sub>5</sub> vs tiempo de retención)

**H<sub>0</sub>** = No existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el tiempo de retención.

**H<sub>1</sub>** = Existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	377483,330	3	125827,777	457,575	,000
Dentro de grupos	8799,620	32	274,988		
Total	386282,950	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis **H<sub>0</sub>** siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el tiempo de retención.

### 1. Planteamiento de hipótesis (SST vs pH)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los SST según el pH del tratamiento.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los SST según el pH del tratamiento.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	6235,724	2	3117,862	,877	,425
Dentro de grupos	117284,926	33	3554,089		
Total	123520,650	35			

### 4. Decisión estadística

Se acepta la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,425) mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia no existe diferencia significativa entre los SST según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (SST vs tiempo de retención)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los SST según el tiempo de retención.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los SST según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	113047,350	3	37682,450	115,135	,000
Dentro de grupos	10473,300	32	327,291		
Total	123520,650	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre la los SST según el tiempo de retención.

### 1. Planteamiento de hipótesis (CT vs pH)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CT según el pH del tratamiento.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CT según el pH del tratamiento.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	559500000,000	2	279750000,000	,215	,808
Dentro de grupos	42967500000,000	33	1302045454,54 5		
Total	43527000000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se acepta la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,808) mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia no existe diferencia significativa entre los CT según el pH del tratamiento.



### 1. Planteamiento de hipótesis (CT vs tiempo de retención)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CT según el tiempo de retención.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CT según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	42291000000,000	3	14097000000,000	364,971	,000
Dentro de grupos	1236000000,000	32	38625000,000		
Total	43527000000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los CT según el tiempo de retención.

### 1. Planteamiento de hipótesis (CF vs pH)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CF según el pH del tratamiento.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CF según el pH del tratamiento.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	199500000,000	2	99750000,000	,671	,518
Dentro de grupos	4906500000,000	33	148681818,182		
Total	5106000000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se acepta la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,518) mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia no existe diferencia significativa entre los CF según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (CF vs tiempo de retención)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CF según el tiempo de retención.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CF según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4806000000,000	3	1602000000,000	170,880	,000
Dentro de grupos	300000000,000	32	9375000,000		
Total	5106000000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los CF según el tiempo de retención.

### Conclusión general

En el biorreactor aireado permanentemente los parámetros de eficiencia DBO<sub>5</sub>, SST, CT y CF no presentan diferencias estadísticamente significativas en relación al pH, pero si con respecto al tiempo de retención.

**B. Análisis de varianza (ANOVA) de un factor ( $\alpha = 0,05$ ) para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Sólidos suspendidos totales (SST), coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) en el biorreactor agitado mecánicamente**

**1. Planteamiento de hipótesis (DBO<sub>5</sub> vs pH)**

**H<sub>0</sub>** = No existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el pH del tratamiento.

**H<sub>1</sub>** = Existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el pH del tratamiento.

**2. Regla de decisión**

Aceptar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $< 0,05$

**3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	18002,195	2	9001,098	1,510	,236
Dentro de grupos	196686,745	33	5960,204		
Total	214688,940	35			

**4. Decisión estadística**

Se acepta la Hipótesis H<sub>0</sub> siendo el p-valor (0,236) mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia no existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (DBO<sub>5</sub> vs tiempo de retención)

**H<sub>0</sub>** = No existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el tiempo de retención.

**H<sub>1</sub>** = Existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	182885,016	3	60961,672	61,338	,000
Dentro de grupos	31803,924	32	993,873		
Total	214688,940	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis **H<sub>0</sub>** siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el tiempo de retención.

### 1. Planteamiento de hipótesis (SST vs pH)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los SST según el pH del tratamiento.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los SST según el pH del tratamiento.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	916,511	2	458,255	,586	,562
Dentro de grupos	25811,533	33	782,168		
Total	26728,043	35			

### 4. Estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	25095,152	3	8365,051	163,931	,000
Dentro de grupos	1632,891	32	51,028		
Total	26728,043	35			

### 5. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los SST según el tiempo de retención.

### 1. Planteamiento de hipótesis (CT vs pH)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CT según el pH del tratamiento.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CT según el pH del tratamiento.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	921350000,000	2	460675000,000	3,644	,037
Dentro de grupos	4171725000,000	33	126415909,909		
Total	5093075000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,037) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los CT según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (CT vs tiempo de retención)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CT según el tiempo de retención.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CT según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	30814750000,000	3	10271583333,333	16,340	,000
Dentro de grupos	20116000000,000	32	628625000,000		
Total	50930750000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los CT según el tiempo de retención.



### 1. Planteamiento de hipótesis (CF vs pH)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CF según el pH del tratamiento.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CF según el pH del tratamiento.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	387500000,000	2	193750000,000	1,267	,295
Dentro de grupos	5044500000,000	33	152863636,364		
Total	5432000000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se acepta la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,295) mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia no existe diferencia significativa entre los CF según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (CF vs tiempo de retención)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CF según el tiempo de retención.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CF según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4506000000,000	3	1502000000,000	51,905	,000
Dentro de grupos	926000000,000	32	28937500,000		
Total	5432000000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los CF según el tiempo de retención.

### Conclusión general

En el biorreactor agitado mecánicamente los parámetros de eficiencia  $DBO_5$ , SST y CF no presentan diferencias estadísticamente significativas según el pH, pero si se observan en todos ellos según el tiempo de retención.

**C. Análisis de varianza (ANOVA) de un factor ( $\alpha = 0,05$ ) para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Sólidos suspendidos totales (SST), coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) en el biorreactor con aireación y agitación permanente**

**1. Planteamiento de hipótesis (DBO<sub>5</sub> vs pH)**

**H<sub>0</sub>** = No existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el pH del tratamiento.

**H<sub>1</sub>** = Existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el pH del tratamiento.

**2. Regla de decisión**

Aceptar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $< 0,05$

**3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	123567,442	2	61783,721	4,516	,018
Dentro de grupos	451502,607	33	13681,897		
Total	575070,050	35			

**4. Decisión estadística**

Se rechaza la Hipótesis H<sub>0</sub> siendo el p-valor (0,018) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (DBO<sub>5</sub> vs tiempo de retención)

**H<sub>0</sub>** = No existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el tiempo de retención.

**H<sub>1</sub>** = Existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	387391,523	3	129130,508	22,017	,000
Dentro de grupos	187678,527	32	5864,954		
Total	575070,050	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis **H<sub>0</sub>** siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el tiempo de retención.

### 1. Planteamiento de hipótesis (SST vs pH)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los SST según el pH del tratamiento.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los SST según el pH del tratamiento.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	15797,744	2	7898,872	,861	,432
Dentro de grupos	302744,426	33	9174,074		
Total	318542,170	35			

### 4. Decisión estadística

Se acepta la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,432) mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia no existe diferencia significativa entre los SST según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (SST vs tiempo de retención)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los SST según el tiempo de retención.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los SST según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	292748,105	3	97582,702	121,061	,000
Dentro de grupos	25794,064	32	806,065		
Total	318542,170	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los SST según el tiempo de retención.

### 1. Planteamiento de hipótesis (CT vs pH)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CT según el pH del tratamiento.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CT según el pH del tratamiento.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	11735120000,000	2	5867560000,000	3,538	,041
Dentro de grupos	54727290000,000	33	1658402727,273		
Total	66462410000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,041) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los CT según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (CT vs tiempo de retención)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CT según el tiempo de retención.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CT según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	44794130000,000	3	14931376666,667	22,051	,000
Dentro de grupos	21668280000,000	32	677133750,000		
Total	66462410000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los CT según el tiempo de retención.



### 1. Planteamiento de hipótesis (CF vs pH)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CF según el pH del tratamiento.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CF según el pH del tratamiento.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	866355000,000	2	433177500,000	2,051	,145
Dentro de grupos	6970132500,000	33	211216136,364		
Total	7836487500,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se acepta la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,145) mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia no existe diferencia significativa entre los CF según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (CF vs tiempo de retención)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CF según el tiempo de retención.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CF según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	6551827500,000	3	2183942500,000	54,401	,000
Dentro de grupos	1284660000,000	32	40145625,000		
Total	7836487500,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los CF según el tiempo de retención.

### Conclusión general

En el biorreactor con aireación y agitación permanente no existen diferencias estadísticamente significativas entre el pH y los parámetros de eficiencia SST y CF, pero si se observan cambios significativos en todos ellos otros según el tiempo de retención.

**D. Análisis de varianza (ANOVA) de un factor ( $\alpha = 0,05$ ) para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Sólidos suspendidos totales (SST), coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) en el biorreactor sin aireación ni agitación**

**1. Planteamiento de hipótesis (DBO<sub>5</sub> vs pH)**

**H<sub>0</sub>** = No existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el pH del tratamiento.

**H<sub>1</sub>** = Existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el pH del tratamiento.

**2. Regla de decisión**

Aceptar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $< 0,05$

**3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )**

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre grupos	5504,549	2	2752,274	4,286	,022
Dentro de grupos	21190,634	33	642,140		
Total	26695,183	35			

**4. Decisión estadística**

Se rechaza la Hipótesis **H<sub>0</sub>** siendo el p-valor (0,018) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (DBO<sub>5</sub> vs tiempo de retención)

**H<sub>0</sub>** = No existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el tiempo de retención.

**H<sub>1</sub>** = Existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	18006,388	3	6002,129	22,105	,000
Dentro de grupos	8688,796	32	271,525		
Total	26695,183	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis **H<sub>0</sub>** siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el tiempo de retención.

### 1. Planteamiento de hipótesis (SST vs pH)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los SST según el pH del tratamiento.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los SST según el pH del tratamiento.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8563,069	2	4281,534	5,815	,007
Dentro de grupos	24297,563	33	736,290		
Total	32860,632	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,007) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los SST según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (SST vs tiempo de retención)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los SST según el tiempo de retención.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los SST según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	20271,054	3	6757,018	17,175	,000
Dentro de grupos	12589,578	32	393,424		
Total	32860,632	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los SST según el tiempo de retención.

### 1. Planteamiento de hipótesis (CT vs pH)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CT según el pH del tratamiento.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CT según el pH del tratamiento.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3280500000,000	2	1640250000,000	1,563	,225
Dentro de grupos	34634250000,000	33	1049522727,273		
Total	37914750000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se acepta la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,225) mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia no existe diferencia significativa entre los CT según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (CT vs tiempo de retención)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CT según el tiempo de retención.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CT según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	29144750000,000	3	9714916666,667	35,448	,000
Dentro de grupos	8770000000,000	32	274062500,000		
Total	37914750000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los CT según el tiempo de retención.



### 1. Planteamiento de hipótesis (CF vs pH)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CF según el pH del tratamiento.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CF según el pH del tratamiento.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	312500000,000	2	156250000,000	,137	,873
Dentro de grupos	37663500000,000	33	1141318181,818		
Total	37976000000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se acepta la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,873) mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia no existe diferencia significativa entre los CF según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (CF vs tiempo de retención)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CF según el tiempo de retención.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CF según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3727000000,000	3	1242333333,333	563,097	,000
Dentro de grupos	706000000,000	32	22062500,000		
Total	3797600000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los CF según el tiempo de retención.

### Conclusión general

En el biorreactor sin aireación ni agitación todos los parámetros de eficiencia presentan diferencias estadísticamente significativas con relación al pH y tiempo de retención, con excepción de CT que no se ven influenciados por los cambios de pH.

5. Análisis de varianza (ANOVA) de un factor ( $\alpha = 0,05$ ) para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Sólidos suspendidos totales (SST), coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) en el biorreactor airlift de aireación interna

1. Planteamiento de hipótesis (DBO<sub>5</sub> vs pH)

**H<sub>0</sub>** = No existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el pH del tratamiento.

**H<sub>1</sub>** = Existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el pH del tratamiento.

2. Regla de decisión

Aceptar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $< 0,05$

3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	71135,369	2	35567,684	6,884	,003
Dentro de grupos	170498,887	33	5166,633		
Total	241634,256	35			

4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis H<sub>0</sub> siendo el p-valor (0,003) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (DBO<sub>5</sub> vs tiempo de retención)

**H<sub>0</sub>** = No existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el tiempo de retención.

**H<sub>1</sub>** = Existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar **H<sub>0</sub>** si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	126111,994	3	42037,331	11,644	,000
Dentro de grupos	115522,262	32	3610,071		
Total	241634,256	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis **H<sub>0</sub>** siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre la DBO<sub>5</sub> según el tiempo de retención.

### 1. Planteamiento de hipótesis (SST vs pH)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los SST según el pH del tratamiento.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los SST según el pH del tratamiento.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	26075,992	2	13037,996	5,730	,007
Dentro de grupos	75082,011	33	2275,212		
Total	101158,003	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,007) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los SST según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (SST vs tiempo de retención)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los SST según el tiempo de retención.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los SST según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	61107,305	3	20369,102	16,275	,000
Dentro de grupos	40050,698	32	1251,584		
Total	101158,003	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los SST según el tiempo de retención.

### 1. Planteamiento de hipótesis (CT vs pH)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CT según el pH del tratamiento.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CT según el pH del tratamiento.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4861500000,000	2	2430750000,000	1,859	,172
Dentro de grupos	43157250000,000	33	1307795454,545		
Total	48018750000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se acepta la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,172) mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia no existe diferencia significativa entre los CT según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (CT vs tiempo de retención)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CT según el tiempo de retención.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CT según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	38270750000,000	3	12756916666,667	41,877	,000
Dentro de grupos	9748000000,000	32	304625000,000		
Total	48018750000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,000) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los CT según el tiempo de retención.



### 1. Planteamiento de hipótesis (CF vs pH)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CF según el pH del tratamiento.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CF según el pH del tratamiento.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4710500000,000	2	2355250000,000	4,348	,021
Dentro de grupos	17875500000,000	33	541681818,182		
Total	22586000000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,021) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia existe diferencia significativa entre los CF según el pH del tratamiento.

### 1. Planteamiento de hipótesis (CF vs tiempo de retención)

$H_0$  = No existe diferencia significativa entre los CF según el tiempo de retención.

$H_1$  = Existe diferencia significativa entre los CF según el tiempo de retención.

### 2. Regla de decisión

Aceptar  $H_0$  si la significancia es  $> 0,05$

Rechazar  $H_0$  si la significancia es  $< 0,05$

### 3. Prueba estadística: ANOVA de un factor ( $\alpha = 0,05$ )

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8414000000,000	3	2804666666,667	6,333	,002
Dentro de grupos	14172000000,000	32	442875000,000		
Total	22586000000,000	35			

### 4. Decisión estadística

Se rechaza la Hipótesis  $H_0$  siendo el p-valor (0,002) menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). En consecuencia, existe diferencia significativa entre los CF según el tiempo de retención.

### Conclusión general

En el biorreactor airlift de aireación interna todos los parámetros de eficiencia se ven influenciados por el pH y tiempo de retención, con excepción de CT; en cuyo caso no se observan diferencias estadísticamente significativas según el pH.