



**Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión**

Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

**Modelo y análisis de un biorreactor para tratamiento de las aguas  
residuales municipales del Distrito Caleta de Carquín, 2017**

**Tesis**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental**

**Autor**

**Juan Luis Quispe Changana**

**Asesor**

**Mg. Ing. José Saúl Orbegoso López**

**Huacho – Perú**

**2024**



**Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

**Reconocimiento:** Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciente lo respalda a usted o su uso. **No**

**Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales.

**Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**

## LICENCIADA

*(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)*

Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

### METADATOS

| <b>DATOS DEL AUTOR (ES)</b>  |            |                              |
|--|------------|------------------------------|
| <b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>   | <b>DNI</b> | <b>FECHA DE SUSTENTACIÓN</b> |
| Quispe Changana, Juan Luis   | 70430846   | 11-07-2024                   |
| <b>DATOS DEL ASESOR</b>  |            |                              |
| <b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>   | <b>DNI</b> | <b>CÓDIGO ORCID</b>          |
| Mg. José Saúl Orbegoso Lopez   | 06800598   | 0000-0003-4866-3404          |
| <b>DATOS DE LOS MIEMBROS DEL JURADO – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO</b> |            |                              |
| <b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>   | <b>DNI</b> | <b>CÓDIGO ORCID</b>          |
| Dr. José Vicente Nunja García  | 15447556   | 0000-0002-9633-8190          |
| Dra. María del Rosario Utia Pinedo   | 07922793   | 0000-0002-2396-3382          |
| Mg. Sc. Mendoza Nieto Eroncio  | 06723932   | 0000-0002-4850-2777          |

# “Modelo y Análisis de un biorreactor para Tratamiento de las Aguas Residuales Municipales del Distrito Caleta de Carquín, 2017”

## INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[idoc.pub](http://idoc.pub)

Fuente de Internet

2%

2

[repositorio.uncp.edu.pe](http://repositorio.uncp.edu.pe)

Fuente de Internet

2%

3

[www.exeedu.com](http://www.exeedu.com)

Fuente de Internet

1%

4

[tesis.ipn.mx](http://tesis.ipn.mx)

Fuente de Internet

1%

5

[vdocumento.com](http://vdocumento.com)

Fuente de Internet

1%

6

Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru

Trabajo del estudiante

1%

7

[renati.sunedu.gob.pe](http://renati.sunedu.gob.pe)

Fuente de Internet

1%

8

[riaa.uaem.mx:8080](http://riaa.uaem.mx:8080)

Fuente de Internet

1%



**Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión**  
**Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**

**Modelo y análisis de un biorreactor para tratamiento de las aguas  
residuales municipales del Distrito Caleta de Carquín, 2017**

**Tesis**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental**

**JURADO EVALUADOR:**

---

**Dr. JOSÉ VICENTE NUNJA GARCÍA**

**PRESIDENTE**

---

**Dra. MARÍA DEL R. UTIA PINEDO**

**SECRETARIO**

---

**Mg Sc MENDOZA NIETO, ERONCIO  
VOCAL**

---

**Mg JOSÉ SAÚL ORBEGOSO LÓPEZ  
ASESOR**

**HUACHO – PERÚ**

**2024**

## **Dedicatoria**

A mi querido padre Luis, por el apoyo brindado durante este periodo de formación profesional y el sacrificio que ha realizado para lograr este anhelo de culminar mis estudios y convertirme en un nuevo profesional de la Ingeniería Ambiental.

A mis abuelos Juan y Leti, por sus enseñanzas, paciencia y encaminarme por el buen sendero

**Juan Luis**

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios bendito por darme la oportunidad de crecer para lograr mis anhelos.  
A mis profesores, a mis amigos y colegas, Yuri, David con quienes hemos compartido gratos y difíciles momentos.

Juan Luis

# Índice

|   |     |
|---|-----|
| Dedicatoria .....   | i   |
| Agradecimiento .....                                      | ii  |
| Índice .....  | iii |
| Índice de tablas .....                                    | vi  |
| Índice de figuras .....                                   | vi  |
| Resumen .....   | 1   |
| Abstract.....   | 2   |
| Introducción.....   | 3   |
| CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....               | 4   |
| 1.1. Descripción de la realidad problemática .....        | 4   |
| 1.2. Formulación del Problema .....                       | 6   |
| 1.2.1. Problema general .....                             | 6   |
| 1.2.2. Problemas específicos. ....                        | 6   |
| 1.3. Objetivos de la Investigación .....                  | 6   |
| 1.3.1. Objetivo general.....                              | 6   |
| 1.3.2. Objetivos específicos .....                        | 6   |
| 1.4. Justificación de la investigación.....               | 6   |
| 1.5. Delimitación del estudio:.....                       | 7   |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....                           | 8   |
| 2.1. Antecedentes de la Investigación .....               | 8   |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales.....                  | 8   |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales: .....                     | 11  |
| 2.2. Bases Teóricas .....                                 | 12  |
| 2.2.1. Marco Legal .....                                  | 12  |
| 2.2.2. Evaluación de Impacto Ambiental:.....              | 12  |
| 2.2.3. Estándares de Calidad Ambiental .....              | 12  |
| 2.2.4. Límites Máximos Permisibles.....                   | 12  |
| 2.2.5. Modelado y Diseño del Biorreactor. Operación ..... | 13  |
| 2.2.5.1. Área Superficial de soporte: .....               | 14  |

|   |    |
|---|----|
| 2.2.5.2. Carga orgánica másica ( $B_x$ ):.....                | 14 |
| 2.2.5.3. Carga orgánica volumétrica ( $B_v$ ).....            | 15 |
| 2.2.5.4. Tiempo de retención celular (TRC o $\theta_X$ )..... | 15 |
| 2.2.5.5. Tiempo de retención hidráulico (TRH o $\phi$ ).....  | 16 |
| 2.2.6.El proceso anaeróbico.....                              | 17 |
| 2.3. Definición de términos básicos.....                      | 24 |
| 2.4. Hipótesis de investigación.....                          | 26 |
| 2.4.1. Hipótesis general.....                                 | 26 |
| 2.4.2. Hipótesis específicas.....                             | 26 |
| CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....                                | 27 |
| 3.1. Diseño Metodológico.....                                 | 27 |
| 3.1.1. Tipo.....  | 27 |
| 3.1.2. Enfoque.....   | 27 |
| 3.2. Población y Muestra.....                                 | 27 |
| 3.3. Técnicas para recolección de datos.....                  | 28 |
| 3.4. Técnicas para el procesamiento de la información.....    | 28 |
| 3.4.1. Estándares de Calidad Ambiental.....                   | 28 |
| 3.4.2. Límites Máximos Permisibles.....                       | 28 |
| CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....                                  | 31 |
| 4.1. De acuerdo al objetivo específico 1.....                 | 31 |
| 4.2. Según el objetivo específico 2.....                      | 33 |
| 4.3. De acuerdo al objetivo específico 3.....                 | 35 |
| CAPÍTULO V. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....    | 36 |
| 5.1. La discusión.....  | 36 |
| CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....              | 38 |
| 6.1. Conclusiones.....  | 38 |
| 6.2. Recomendaciones.....                                     | 39 |
| CAPÍTULO VII. REFERENCIAS.....                                | 40 |
| ANEXOS.....   | 43 |
| Anexo 1. Características del agua residual domestica.....     | 44 |
| Anexo 2. Estándares de calidad ambiental 2008.....            | 45 |
| Anexo 3. Estándares de calidad ambiental 2015.....            | 47 |

|   |    |
|---|----|
| Anexo 4. Estándares de calidad ambiental 2018.....                                      | 50 |
| Anexo 5. Límites máximos permisibles para efluentes vertidas a cuerpos de agua<br>..... | 53 |
| Anexo 6. Límites máximos permisibles para la industria .....                            | 54 |
| Anexo 7. Parámetros a ser monitoreados .....  | 55 |
| Anexo 8. Presupuesto para el desarrollo .....   | 56 |
| Anexo 9. Recursos físicos .....   | 57 |
| Anexo 10. Diseño y simulación del reactor Anaeróbico.....                               | 58 |
| Anexo 11. Informe de Ensayo N° IE-19-4917 .....   | 63 |
| Anexo 12. Informe de Ensayo N° IE-19-4917 .....   | 64 |
| Anexo 13. Informe de Ensayo N° IE-19-4917 .....   | 65 |

## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. ....   | 17 |
| <i>Condiciones de operación de un reactor RAFA</i> .....                                    | 17 |
| Tabla 2. ....   | 17 |
| <i>Parámetros típicos de diseño RAFA a 35°C</i> .....                                       | 17 |
| Tabla 3. ....   | 30 |
| <i>Operacionalización de Variables e Indicadores</i> .....                                  | 30 |
| Tabla 4. ....   | 30 |
| <i>Componentes y Variables Físicas, Químicas y Biológicas de las Aguas Residuales</i> ..... | 30 |
| Tabla 5. ....   | 61 |
| <i>Composición del Biogás</i> .....   | 30 |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Esquema de un RAFA para el tratamiento de aguas residuales municipales ..... | 9  |
| Figura 2. Esquema de un biorreactor de membrana integrada (sumergida).....             | 10 |
| Figura 3. Esquema general del procesamiento del agua residual urbana .....             | 19 |
| Figura 4. Esquema de Biorreactor .....   | 21 |
| Figura 5. Proceso de conversión en la digestión anerobia.....                          | 23 |
| Figura 6. Fiscalización Ambiental.....   | 34 |

## Resumen

El objetivo primordial de este trabajo fue analizar y modelar un biorreactor para el tratamiento del agua residual generada por la población del distrito de Carquín.

Como objetivos específicos se propusieron construir el modelo matemático de un biorreactor, analizar la cinética de un biorreactor y evaluar los parámetros de un biorreactor para el tratamiento de las aguas residuales municipales del Distrito Caleta de Carquín. La investigación es de tipo descriptivo – longitudinal y aplicada por su finalidad.

Para la obtención de los datos se utilizó el muestreo de los cuerpos de agua marinos y se sometieron a análisis de laboratorio especializado, a objeto de determinar los parámetros fisicoquímicos (DBO5, pH y concentración de carga microbiana).

Para la verificación de los resultados se utilizó simulación con Excel, utilizando como datos la población total del Distrito de Carquín tomando como fuente el censo de 2018 del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), y los parámetros de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) para determinar cuantitativamente las cantidades de efluentes y sus respectivos componentes principales típicos presentes en la orina y heces, de acuerdo a las reacciones cinéticas que se verifican dentro del biorreactor.

Se concluyó en que si es posible utilizar uno o más biorreactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA), para el tratamiento de las aguas residuales.

**Palabras clave:** modelamiento, carga orgánica, fangos, sustratos, enzimas, retención hidráulica.

## **Abstract**

The primary objective of this work was to analyze and model a bioreactor for the treatment of wastewater generated by the population of the Carquín district.

The specific objectives were to build the mathematical model of a bioreactor, analyze the kinetics of a bioreactor and evaluate the parameters of a bioreactor for the treatment of municipal wastewater from the Caleta de Carquín District. The research is descriptive - longitudinal and applied for its purpose.

To obtain the data, sampling of marine water bodies was used and they were subjected to specialized laboratory analysis, in order to determine the physicochemical parameters (BOD5, pH and microbial load concentration).

To verify the results, simulation with Excel was used, using as data the total population of the Carquín District, taking as a source the 2018 census of the National Institute of Statistics and Informatics (INEI), and the parameters of the Pan American Health Organization. (OPS) to quantitatively determine the quantities of effluents and their respective main typical components present in urine and feces, according to the kinetic reactions that are verified within the bioreactor.

It was concluded that it is possible to use one or more up flow anaerobic bioreactors (RAFA) for the treatment of wastewater.

**Keywords:** modeling, organic load, sludge, substrates, enzymes, hydraulic retention.

## **Introducción**

El presente trabajo de investigación se ocupa del modelamiento y análisis de un biorreactor, para el tratamiento de las aguas residuales municipales del Distrito de Carquín, Provincia de Huaura, Lima, las que, por su alta carga orgánica, contaminan el ambiente, alterando las condiciones de vida y bienestar de las diversas especies que pueblan los espacios y cuerpos receptores (tierras, ríos y océano). El impacto de los referidos efluentes contribuye a agudizar los efectos globales como el calentamiento, y los cambios climáticos del Planeta Tierra.

Una de las posibles opciones para el tratamiento de efluentes urbanos son los biorreactores anaeróbicos, cuya efectividad es bastante conocida, principalmente los biorreactores aeróbicos, debido a que el tiempo de retención es mucho menor; los gases que se desprenden pueden ser reutilizados (biogás), los fangos pueden tratarse para ser utilizados como fertilizantes, y los costos de mantenimiento son más baratos, exceptuando el costo de instalación, pero que sobre la base de un buen control de los procesos éstos pueden ser optimizados bajo el criterio de costo – beneficio.

En el modelamiento se han incluido aspectos cinéticos, el análisis de sustratos, y la simulación que muestra las posibilidades al implementar este diseño que permite el contacto enzima - sustrato, haciendo posible la recuperación de abonos biológicos en el biodigestor (biorreactor), con un menor tiempo de retención hidráulica.

# CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Descripción de la realidad problemática

El tratamiento de los efluentes urbanos como aguas servidas, ha sido y seguirá siendo una de las más importantes áreas que demandan el saneamiento y atención correspondientes, a objeto de brindar mejores condiciones para la vida de seres humanos, animales y todos los sistemas biológicos ambientales (Sánchez et al. 1998). El agua residual de los efluentes urbanos es vertida a los cuerpos receptores más cercanos a las zonas urbanas (océanos, ríos, lagos o mar, entre otros), a diferentes distancias de la orilla de playa; además, se agregan otro tipo de efluentes, que también son vertidos, con un impacto proporcional a la concentración de contaminantes.

El progresivo deterioro de la calidad de las aguas es debido principalmente a la creciente contaminación producto de las actividades antrópicas. Son muchos factores que determinan esta creciente problemática, yendo desde aspectos culturales, hasta desconocimiento de regulaciones legales y sus implicancias en las masas de agua, que se constituye en el cuerpo receptor, perdiendo su capacidad como recurso apto para usos posteriores. La problemática ambiental generada por los vertidos, es un tema de gran importancia tanto a nivel general como particular. Teniendo en cuenta que el vertido a cauce público es un grave problema que afecta al medio ambiente, las autoridades gubernamentales a nivel global han adoptado normativas que exigen el tratamiento de las aguas residuales. Con el paso de los años, esta normativa es cada vez más estricta lo que hace necesarios nuevos estudios sobre procesos de tratamiento que permitan cumplir con dichas normas de vertido. Teniendo en consideración esta problemática, es importante buscar soluciones alternativas a los procesos actuales de tratamiento de aguas residuales que permitan, no sólo cumplir con los límites de vertido y calidad del agua, impuestos actualmente, sino también con los que puedan ser impuestos en un futuro. Además, “se exige de estos procesos que tengan una alta flexibilidad en cuanto a las variaciones de carga de las aguas residuales, una mínima producción de fango y la menor de superficie posible para ubicar la planta de depuración”. (Martínez et al. 2008)

En este trabajo de investigación, se analizó y modeló un biorreactor para el tratamiento de las aguas servidas, las mismas que sin tratamiento se descargan directamente

mediante colectores, que unidos a una serie de factores ambientales (régimen de vientos, complejo sistema de corrientes marinas y capacidad asimilativa del cuerpo de agua marino), entre otros, “han causado la existencia de algunas áreas de mayor impacto que otras, como son las bahías de El Ferrol de Chimbote, Carquín, Chancay, Huacho, Callao en Lima, y Paracas en Ica. Otras de menor impacto se encuentran en todas las ciudades costeras, de Tumbes a Tacna, como la zona de Tambo de Mora, Ilo, Samanco y Sechura, entre otras”. (Sánchez et al. 1998)

Una de las alternativas tecnológicas a esta problemática, radica en el uso de biorreactores, que incluye aspectos de cinética y estequiometría de los diferentes grupos tróficos, como son: la velocidad específica máxima de crecimiento ( $\mu_m$ ), que permite determinar el crecimiento de la biomasa, bajo condiciones adecuadas, sin limitación de sustrato; el rendimiento celular ( $Y_\mu$ ), que indica la fracción de sustrato consumido durante el crecimiento celular; la constante de afinidad ( $K_i$ ), que permite determinar el grado de afinidad de un grupo trófico por un determinado sustrato; y la actividad específica máxima ( $r_i$ ), que indica la cantidad máxima de sustrato utilizada, por unidad de biomasa y unidad de tiempo.

La constante de afinidad,  $K_i$ , proporciona una idea de la mínima concentración de un sustrato que podría ser metabolizado por una población microbiana a una velocidad competitiva. En ese caso, las “elevadas afinidades mostradas por los respectivos sustratos resultan ventajosas para mantener un nivel bajo de compuestos intermedios y productos finales” (Llontop y Charcape, 1998).

Para la constante de afinidad, se ha considerado un valor típico (de 0.5 a 2 gDQO/gSSV-día), y en el análisis de los efluentes urbanos, contienen varios sustratos, parte de la carga orgánica, siendo uno de ellos el limitante, por cuanto es el que va a proporcionar los nutrientes a la biomasa, siendo indispensable el análisis cinético.

La descarga de estas aguas servidas carece de tratamiento y se envía directamente mediante colectores, lo que determina “la conjunción de una serie de factores ambientales (régimen de vientos, complejo sistema de corrientes marinas y capacidad asimilativa del cuerpo de agua marino), entre otros, han causado la existencia de algunas áreas de mayor impacto que otras, como son las bahías de El Ferrol de Chimbote, Carquín, Chancay y

Huacho en Lima, y Paracas en Ica. Entre las de menor impacto se encuentran la zona de Tambo de Mora, Ilo, Samanco y Sechura, y otras". (Sánchez et al. 1998)

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿El modelado y análisis de un biorreactor permitirán el tratamiento de las aguas residuales municipales del Distrito Caleta de Carquín, 2017?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

- ✓ ¿Es posible construir el modelo matemático de un biorreactor para el tratamiento de las aguas residuales municipales en el distrito Caleta de Carquín?
- ✓ ¿Es posible analizar la cinética de un biorreactor para el tratamiento de las aguas residuales municipales en el distrito Caleta de Carquín?
- ✓ ¿Es posible evaluar los parámetros de un biorreactor para el tratamiento de las aguas residuales municipales del Distrito Caleta de Carquín?

## **1.3. Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

- ✓ Modelar y analizar un biorreactor para tratamiento de las aguas residuales municipales del Distrito Caleta de Carquín, 2017.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- ✓ Construir el modelo matemático de un biorreactor para el tratamiento de las aguas residuales municipales en el Distrito Caleta de Carquín.
- ✓ Analizar la cinética de un biorreactor para el tratamiento de las aguas residuales municipales en el Distrito Caleta de Carquín.
- ✓ Evaluar los parámetros de un biorreactor para el tratamiento de las aguas residuales municipales del Distrito Caleta de Carquín.

## **1.4. Justificación de la investigación**

La necesidad de elaborar propuestas tecnológicas que contribuyan a la solución de los problemas ambientales derivados de los efluentes urbanos en el Distrito de Carquín, ha sido la motivación para abordar este tema de investigación.

El desarrollo actual de métodos de tratamiento de aguas residuales incluye el empleo de microorganismos, y es en esta área tecnológica donde se enmarca este trabajo, donde se hace una caracterización típica de las aguas del Distrito Caleta de Carquín, Provincia de Huaura.

Los reactores biológicos varían de acuerdo a los sustratos que se tratan, y el propósito, en este caso, ha sido analizar el sistema de las aguas residuales de la población del Distrito de Carquín, a partir de lo cual se desarrolló una propuesta consistente en el análisis y modelamiento de un biorreactor que incorpora en el mismo, en principio la caracterización de las aguas residuales, y en segunda instancia, el modelamiento del biorreactor, y posteriormente los datos permitieron hacer una evaluación cinética, con lo cual se obtuvieron los parámetros de diseño del biorreactor anaeróbico de flujo ascendente en condiciones estacionarias y en la modalidad batch. Posteriormente, se ensayó una evaluación del sistema en estado transiente (no estacionario) y con alteraciones de las cargas de los fluidos.

La propuesta de una solución alternativa al tratamiento típico de las plantas de tratamiento de aguas residuales, mediante pozas de oxidación, nos permite considerar que el tema de esta Tesis de queda plenamente justificado, debido, además, a la urgencia de atender los problemas que aquejan a la población y al ambiente.

### **1.5. Delimitación del estudio:**

Esta investigación está centrada en el diseño y modelamiento de un biorreactor anaeróbico de flujo ascendente, su cinética y simulación utilizando datos poblacionales y parámetros de composición típicos de la OPS

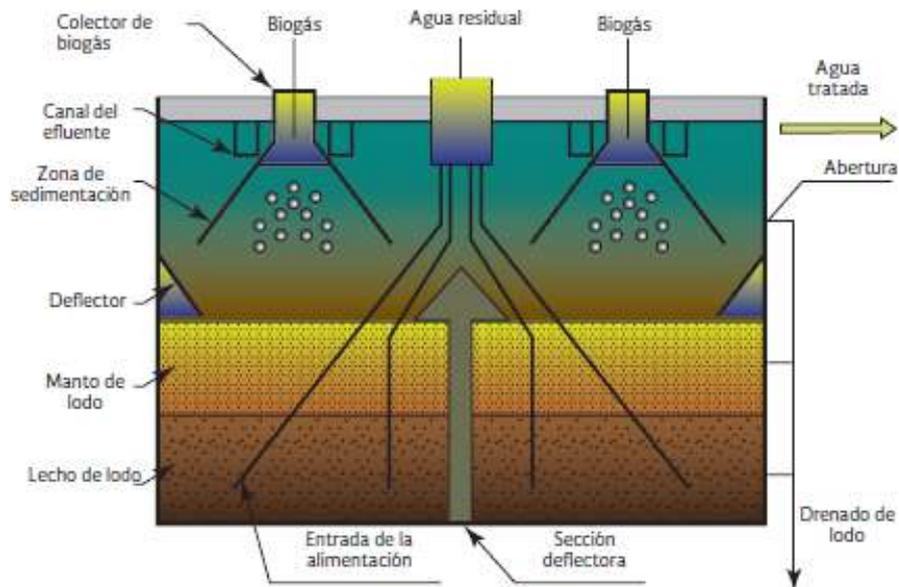
## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes de la Investigación**

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

De acuerdo con el Manual de CONAGUA los Reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) consisten de un proceso anaerobio empleado para el tratamiento de aguas residuales urbanas, y otras aplicaciones como el tratamiento de lodos y residuos agrícolas, con el propósito de transformar los sustratos contenidos en la materia orgánica a otros productos (biogás, abonos y una masa microbiana inocua), implicando en ello varias reacciones bioquímicas, reduciendo la carga orgánica. “En este proceso se debe controlar la temperatura del agua o de los lodos en el interior del reactor, así como su volumen. Si algún componente varía significativamente se afecta el equilibrio bacteriano existente” (CONAGUA, 2015).

Velasco y Solar en “Biorreactores de Membrana: Tecnología para el Tratamiento de Aguas Residuales”, señala que “las técnicas biológicas de tratamiento de aguas residuales son muy antiguas y se vienen usando desde hace aproximadamente cien años. Sin embargo, fue en la “década de los setenta que la tecnología de los biorreactores con membrana (MBR) entró en el mercado japonés gracias a un acuerdo entre las compañías Dorr – Oliver y Sanki Engineering, y desde esas fechas se han difundido y aplicado en el tratamiento de aguas sanitarias e industriales. Actualmente, los sistemas MBR se usan extensamente en Japón y varias compañías ofrecen procesos para tratamiento y reutilización del agua y para varias aplicaciones industriales” (Velasco y Solar, 2011).



*Figura 1.* Esquema de un RAFA para el tratamiento de aguas residuales municipales

**Fuente:** CONAGUA 2015

De todos los procesos que se han desarrollado para el tratamiento de las aguas residuales, el sistema convencional de lodos activados ha sido el más empleado. En un principio, la tecnología de membrana tenía limitado su uso y solamente se usaba como un añadido en el proceso convencional. La micro filtración, la ultrafiltración y la osmosis inversa se utilizaron en áreas donde había requerimientos de vertido muy rigurosos o donde se pretendía reutilizar el agua depurada. Los principales factores que limitaron el desarrollo de la tecnología de membrana fueron el elevado costo de inversión y de operación y el inadecuado conocimiento de las ventajas potenciales de las membranas en el tratamiento de las aguas residuales. Sin embargo, la aparición de módulos de membrana menos costosos y más efectivos, junto con el endurecimiento de los requisitos de vertido, hicieron que se volviera a tener interés en la tecnología de membrana. El balance económico es favorable a los MBR (Membrane Bio Reactor), si se tiene en cuenta una serie de ventajas importantes, al margen de la excelente calidad de agua tratada que se consigue. De este modo, la tecnología MBR es especialmente valiosa frente a la otra tecnología”.

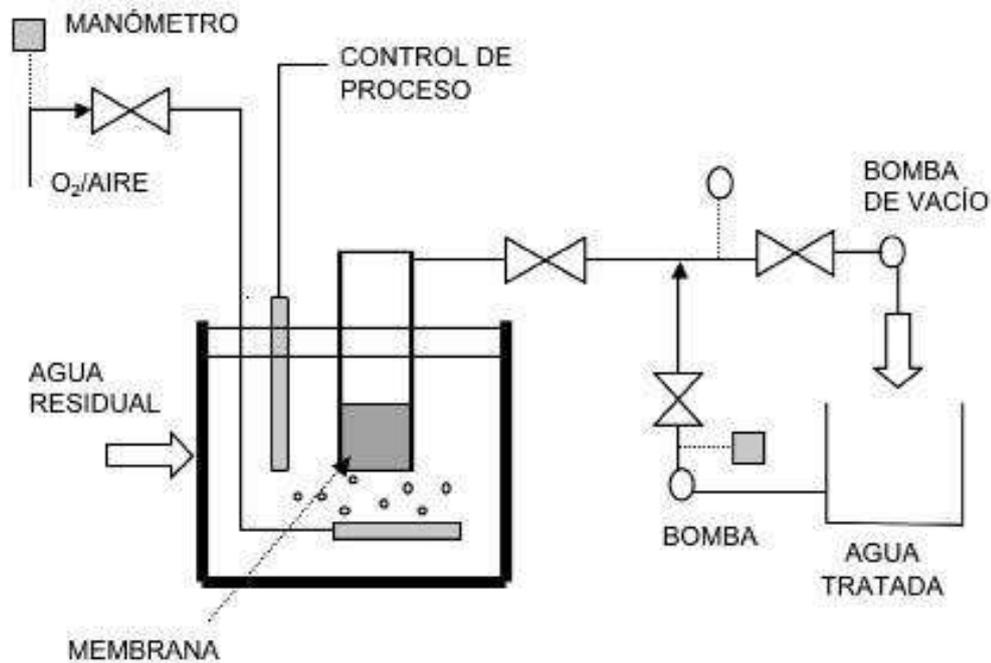


Figura 2. Esquema de un biorreactor de membrana integrada (sumergida)

Fuente: Velasco y Solar, 2011

Vera et al. (2014), en “Biorreactores de Membrana Anaeróbicos para Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. Estudio Preliminar”, dicen que los biorreactores de membranas (BRM) son sistemas muy compactos y eficientes en la separación de materia en suspensión y coloidal, que permiten obtener aguas regeneradas de elevada calidad físico-química y microbiológica. Esto ha favorecido su rápida implantación sustituyendo el esquema clásico de las depuradoras tradicionales de lodos activos y que hoy en día estén ampliamente distribuidos por todo el mundo (Judd, 2010). En el caso de España, en 2011 ya se contaba con 45 sistemas de BRM en funcionamiento, de los cuales el primero fue instalado en las Islas Canarias en el año 2002 (Esteban et al. 2012). Otra de las ventajas tecnológicas de los BRM radica en que permiten independizar el tiempo de retención hidráulico (TRH) del TRS, y con configuraciones de unidades más compactas y de reducido volumen. No obstante, estos sistemas requieren gran cantidad de energía para mantener las condiciones aerobias y promover la turbulencia necesaria con que reducir los fenómenos de ensuciamiento que afectan a los módulos de membrana durante la operación.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales:

Maldonado, (2012), en su trabajo de investigación “Calidad de agua en la bahía de Huacho”. 2002. (3-4). IMARPE, concluye que, “en la bahía de Carquín, durante mayo se observó una alta concentración de nutrientes (fosfatos, silicatos y nitritos) asociada a las épocas de mayor actividad pesquera. El DBO5 presentó valores elevados en julio y noviembre (16,43 y 11,13 mL/L). Los valores y concentraciones de aceites y grasas se asociaron al curso de los efluentes de fábricas pesqueras”.

Valle, (2015); “Evaluación de la contaminación ambiental por vertimientos de aguas residuales a los cuerpos de agua y bienes asociados en el Valle Chancay Huaral 2013 – 2014”. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión; da como resultado que la concentración de Oxígeno Disuelto se encuentra por encima del mínimo establecido ( $\geq 4\text{mg/L}$ ) por los Estándares de Calidad Ambiental con  $4.32\text{mg/L}$  en el mes de enero del 2013. La concentración de fosfatos desde el mes de mayo, superan los rangos establecidos en el ECA ( $0.031 - 0.093 \text{ mg/L}$ ) con una concentración que varía entre  $0.320 \text{ mg/L}$  a  $0.508\text{mg/L}$ . Sin embargo, la concentración de Nitratos se encuentra dentro del estándar.

Lam, (2000); “Diseño de un Biorreactor anaeróbico para el Tratamiento de Aguas Residuales en la producción de Agua Potable”, concluye que, “el reactor biológico diseñado considera el efecto del flujo, el tiempo de residencia, el pH, la temperatura, la biomasa, la concentración de nutrientes y la velocidad de agitación, con el fin de obtener un rendimiento óptimo de la conversión de los lodos arsenicados”.

De acuerdo con el “Estudio de aplicación de Biorreactores de Membrana (MBR) en la depuración de las aguas residuales”, Caro, (2014), concluye que, “el diseño óptimo de un proceso de MBR es muy complejo, debido a que es necesario tener en cuenta muchos factores, incluyendo el rendimiento y coste de las membranas, consumo energético, así como el tratamiento y eliminación del fango. La mayoría de estos factores están interrelacionados y pueden incidir de forma negativa en los costes de inversión y operación”.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Marco Legal**

- Constitución Política del Perú (1993)
- Ley General del Ambiente y sus Normas Modificatorias – D. L. N°28611
- Ley de Recursos Hídricos – D.L. N° 29338
- Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos - D. S. N° 001-2010-AG
- Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada – D.L. N° 757
- Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental – D.L. N°27446
- Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación del impacto Ambiental y sus normas Modificatorias - D.S. N° 019-2009-MINAM.

### **2.2.2. Evaluación de Impacto Ambiental:**

Instrumento de gestión ambiental de carácter preventivo, que consiste en la identificación, predicción, evaluación y mitigación de los impactos ambientales y sociales que un proyecto de inversión produciría en caso de ser ejecutado, así como la prevención, corrección y valoración de los mismos.

### **2.2.3. Estándares de Calidad Ambiental**

El Decreto Supremo N°002-2008-MINAM, establece los Estándares de calidad ambiental para agua (Tabla 1), teniendo éste 4 categorías, siendo la categoría 4 la de interés para este trabajo de investigación, ya que abarca los ecosistemas marinos (MINAM, 2008).

En el año 2015, se aprueba el Decreto Supremo N°015-2015-MINAM, (Tabla 2), el cual modifica los estándares de calidad ambiental para agua; Entrando en vigencia a partir del año 2016 (MINAM, 2015).

### **2.2.4. Límites Máximos Permisibles**

Los Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, (Tabla 5) fueron aprobados por el Decreto Supremo D.S. N° 003-2010-MINAM. Son de cumplimiento obligatorio para los establecimientos industriales pesqueros. Para cumplir los LMP establecidos, los titulares de los establecimientos industriales pesqueros deberán implementar sistemas de tratamiento químico, bioquímico u otros

complementarios al tratamiento físico. En los casos en que la disposición final de los efluentes se realice mediante emisarios submarinos fuera de la zona de protección ambiental litoral, éstos deberán tener un difusor al final del emisario, a una distancia y profundidad suficientes para garantizar una adecuada dilución bajo las condiciones técnicas a fin de que guarden consistencia y coherencia con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (MINAM, 2010).

### **2.2.5. Modelado y Diseño del Biorreactor. Operación**

#### **Conceptos Generales**

Se manejan dos enfoques para el diseño de reactores biológicos (biorreactores):

- a. **“Método tradicional o empírico**, que se basa en la experiencia, propone valores de carga orgánica y permite predecir un determinado grado de eliminación de materia orgánica” (Espinoza y Sedano, 2007)
- b. **“Método conceptual**, que se basa en la simulación matemática del proceso biológico, químico y físico, involucrados en la biorreacción, y que permite predecir la eficiencia de la remoción de la materia orgánica” (Espinoza y Sedano, 2007).

Al análisis comparativo de estos dos enfoques, se puede rescatar que, en el caso de la digestión anaeróbica, el método tradicional permite buenos resultados, siempre y cuando se diseñe dentro de los límites determinados por la experiencia, caso contrario la extrapolación hacia otras situaciones es riesgosa, y en cuanto al método conceptual, éste relaciona las principales características de los fenómenos involucrados, de manera que se pueda generalizar la aplicación del modelo de diseño. El objetivo en este caso, se orienta hacia la simplificación, mediante la simulación y el control del proceso.

En general, la idea de diseño de un proceso anaeróbico puede diseñarse para dos fines:

- Obtener una alta productividad de metano ( $m^3 CH_4/m^3 reactor-dia$ ),
- Obtener una alta eficiencia de remoción de materia orgánica, para control de la contaminación.

#### **Parámetros**

- ✓ Área superficial de soporte
- ✓ Carga orgánica másica ( $B_x$ )

- ✓ Carga orgánica volumétrica ( $B_V$ )
- ✓ Tiempo de retención celular (TRC o  $\theta_X$ )
- ✓ Tiempo de retención hidráulica (TRH o  $\theta$ )

#### **2.2.5.1. Área Superficial de soporte:**

El área superficial de soporte está relacionada con la carga orgánica superficial o la masa de sustrato alimentado por unidad de superficie de soporte y por unidad de tiempo ( $\text{kg DQO}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ). Si se trata de un lecho empacado, “significa que la biomasa está soportada sobre un empaque, por lo que la relación área/volumen en estos reactores no es muy importante para su diseño (debido a que la biopelícula es poco homogénea), y si se tratase de lecho fluidificado, toda la biomasa está adherida, pero no todas las partículas de soporte están colonizadas al mismo grado” (Rodríguez y Sánchez, 1998). Por lo que es preferible, en cualquiera de los dos casos, asumir como parámetro la carga orgánica másica.

#### **2.2.5.2. Carga orgánica másica ( $B_X$ ):**

Se define a la carga orgánica másica como la masa de sustrato que se alimenta ( $\text{kg DQO}$ ) por unidad de biomasa ( $\text{Kg SSV}$ ) y por unidad de tiempo. Se representa como  $B_X$  y la máxima de diseño y operación de reactores anaeróbicos permitida es de  $1 \text{ kg DQO}/\text{Kg SSV} - \text{d}$  a  $35^\circ\text{C}$ , y trabajar con cargas mayores provocaría la acidificación del reactor; a condiciones normales se debe operar a un  $B_X$  de  $0.5 \text{ kg DQO} / \text{kg SSV} - \text{d}$ , por un criterio de seguridad.

La carga orgánica másica es:

$$B_X = \frac{Q S_0}{X_t V} \quad (2.1)$$

Donde:

|       |   |   |
|-------|---|---|
| V     | : | volumen del reactor ( $\text{m}^3$ )  |
| Q     | : | Gasto ( $\text{m}^3/\text{d}$ )   |
| $S_0$ | : | Concentración inicial del sustrato ( $\text{Kg DQO}/\text{m}^3$ )             |
| $B_X$ | : | Carga orgánica másica ( $\text{kg DQO}/\text{kg SSV} - \text{d}$ )            |
| $X_t$ | : | Concentración de la biomasa dentro del reactor ( $\text{kg SSV}/\text{m}^3$ ) |

Naturalmente, la determinación de la concentración de biomasa dentro de los reactores anaeróbicos (tipo empacado), es estimativa, y siendo así, la carga orgánica no se emplea para diseño.

### 2.2.5.3. Carga orgánica volumétrica ( $B_V$ )

Está definida como la cantidad de sustrato (kg DQO) que se introduce por unidad de volumen ( $m^3$  reactor) por unidad de tiempo al día. Este parámetro es el más utilizado en el diseño de los reactores anaeróbicos, por lo que la  $B_V$  se usa para fines de comparación, a pesar de que los reactores se pueden manejar a diferentes cargas.

El cálculo de la carga orgánica volumétrica se hace por la siguiente ecuación:

$$B_V = \frac{QS_0}{V}, \quad \left( \frac{kgDQO}{m^3} \cdot d \right) \quad (2.2)$$

O de la siguiente forma:

$$B_V = \frac{S_0}{TRH} \quad B_V = B_X X_t \quad (2.3)$$

Donde:

$B_V$  : Carga orgánica volumétrica (Kg DQO/ $m^3 - d$ )

$B_X$  : Carga celular (kg SSV/ $m^3$ )

$V$  : Volumen de reactor ( $m^3$ ).

$Q$  : Gasto ( $m^3/d$ )

$S_0$  : Concentración de sustrato (kg DQO/ $m^3$ )

$TRH$  : Tiempo de retención hidráulica (d)

### 2.2.5.4. Tiempo de retención celular (TRC o $\theta_X$ )

Es el tiempo en días de permanencia de la biomasa dentro del reactor. En el presente caso, el TRC como variable de diseño es de mucha relevancia, debido a la distribución uniforme u homogénea del sistema acuoso.

La fórmula del TRC es como sigue:

$$TRC = \frac{X_r V}{Q_P X_P + Q X_0} \quad (2.4)$$

Donde:

TRC : tiempo de retención celular (d)

$V$  : Volumen del reactor ( $m^3$ )

$Q$  : Gasto del agua tratada ( $m^3/d$ )

- $X_r$  : Concentración de la biomasa (kg SSV/m<sup>3</sup>)
- $Q_P$  : Gasto de purga (m<sup>3</sup>/d)
- $X_P$  : Concentración de biomasa purgada (kg SSV/d)
- $X_0$  : Concentración de biomasa en el efluente (kg SSV/d)

Si se considera que la concentración de biomasa,  $X_0$ , es mínima, se desprecia (los SSV en el efluente), entonces:

$$TRC = \frac{X_P V}{Q_P X_P} \quad (2.5)$$

Caso aparte se presenta cuando el influente contiene una carga importante de sólidos suspendidos volátiles (SSV). En ese caso, el TRC no puede ser tomado como variable de diseño y control de la operación.

#### **2.2.5.5. Tiempo de retención hidráulico (TRH o $\phi$ )**

Es el período de tiempo de permanencia del agua residual dentro del reactor. No se utiliza para efectos de diseño, más sí para comparar el funcionamiento de los reactores. No obstante, es una variable importante para el tratamiento de aguas residuales urbanas (con baja carga orgánica), y también se utiliza para caracterizar los filtros anaeróbicos, aunque como tienen diferentes tiempos de retención celular e hidráulica, debería ser considerada una variable dependiente, excepto si la carga orgánica es baja, sistemas en los cuales el factor hidráulico es el que gobierna.

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad (2.6)$$

Donde:

- TRH : tiempo de retención hidráulica (d)
- V : Volumen del reactor (m<sup>3</sup>)
- Q : Gasto (m<sup>3</sup>/d)

En la siguiente tabla se consignan los valores típicos para diseño de biorreactores anaeróbicos a una temperatura de 35°C:

Tabla 1.

*Condiciones de operación de un reactor RAFA*

| Etapas | TRH (días) | Q (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> ) | Duración (días) |
|--------|------------|-------------------------------------|-----------------|
| 1      | 4          | 026                                 | 1 – 41          |
| 2      | 3          | 033                                 | 42 – 164        |
| 3      | 2          | 0.60                                | 166 – 186       |
| 4      | 3          | 0.33                                | 232 – 326       |

**Fuente:** Pacco et al. 2018

Tabla 2.

*Parámetros típicos de diseño RAFA a 35°C*

|                          | Carga orgánica másica B <sub>x</sub><br>(kg DQO/kg SSV.d) |         | Tiempo de retención de sólidos (d) |         |
|--------------------------|---|---------|------------------------------------|---------|
|                          | Máxima  | Diseño  | Mínimo                             | Diseño  |
|                          | Materia orgánica, CH <sub>4</sub>                         |         |                                    |         |
| Materia orgánico Acético | 1 – 1.5   | 0.8 – 1 | 7 – 10                             | 10 – 20 |
| Acústico CH <sub>4</sub> |   |         |                                    |         |
|                          | 5 – 10  | 4 – 6   | 1 – 2                              | 2 – 4   |
|                          | 1.5 - 2   | 1 – 1.5 | 7 – 10                             | 10 – 20 |

Para otras temperaturas:  $(B_x, T_1/B_x, T_2) = e^{k(T_1-T_2)}$ ,  $k = 0.10^\circ\text{C}$  (entre 10 – 30°C)

**Fuente:** Rodríguez & Sánchez, 1998

### 2.2.6. El proceso anaeróbico

En el tratamiento de las aguas residuales de tipo municipal urbano, se ha implementado desde tiempos muy antiguos, sin embargo, poco a poco, con el avance de la biología, la bioquímica y la ingeniería de las reacciones con biorreactores, se han desarrollado grandes avances tecnológicos.

El reactor más empleado ha sido el batch, aunque en muchos casos, el reactor de flujo da mejores resultados, sobre todo si se trata de sistemas abiertos, digamos torrentes de aguas residuales, derrames de hidrocarburos, relaves mineros, contaminaciones en general.

El reactor anaeróbico de flujo ascendente es un reactor batch, y entre sus ventajas se tiene el hecho de que en las aguas residuales se emplean reacciones químicas y biológicas, que transcurren bajo condiciones controladas en el interior del tanque reactor (Huang et al. 2019).

El tipo de reacción es homogénea, y el biorreactor es de forma cilíndrica, pudiendo ser de acero inoxidable, cuando se trata de lotes pequeños, o de concreto armado para lotes grandes.

El biorreactor se distingue por mantener condiciones ambientales uniformemente distribuidas en un mismo estado, y mantienen las células de un cultivo uniformemente distribuidas (lo que permite que la reacción alcance los confines del biorreactor), siendo una consecuencia la prevención de la sedimentación y floculación.

Los principales constituyentes del agua residual eliminados en las plantas de tratamiento incluyen basuras, arena, espumas y lodo. El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales generalmente suele ser un líquido o líquido semisólido con gran contenido en sólidos entre el 0.25 y el 12 % en peso. El lodo es, por mucho, el constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos.

Su tratamiento y evacuación es, probablemente, el problema más complejo al que se enfrentan los ingenieros ambientales, sanitarios y químicos. El lodo está formado principalmente por una carga bacteriana y las sustancias resultantes de la reacción, son responsables de los malos olores y desagradables de las aguas residuales no tratadas ( $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $SO_2$ , entre otros).

La fracción del lodo a evacuar, generada en el tratamiento biológico del agua residual, está compuesta principalmente de materia orgánica, y sólo una pequeña parte del lodo está compuesta por materia sólida.

Los lodos separados en el sedimentador primario y aquellos producidos en el tratamiento biológico deben ser estabilizados, espesados y desinfectados antes de ser retirados del sitio de tratamiento. Posteriormente, se deben analizar e implementar procesos para reducir el contenido de agua y materia orgánica del lodo, y se utilizan además para acondicionar el fango para su reutilización o evacuación final.

En este caso, la biomasa se mantiene en suspensión mediante agitación mecánica, por recirculación del líquido o del gas resultante de la reacción:

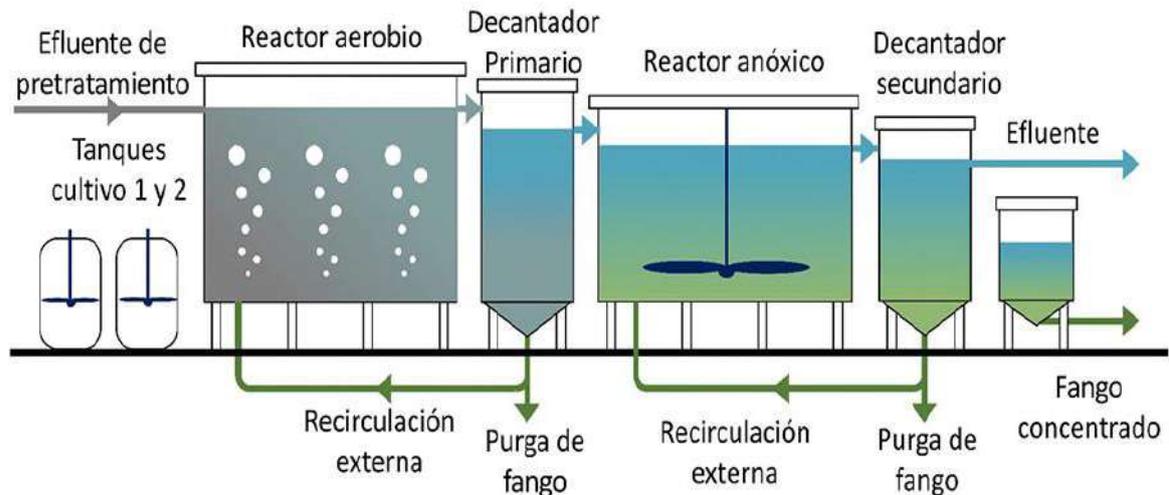


Figura 3. Esquema general del procesamiento del agua residual urbana

Fuente: RETEMA, 2022.

Se puede sintetizar el contacto anaerobio mediante la siguiente idea: Los reactores anaerobios, actúan al mantener en suspensión por agitación mecánica, por recirculación de líquido o del gas. En el presente trabajo de investigación, se diseñó el tratamiento de desechos líquidos de rastros, siendo el punto crucial el sistema de decantación del lodo, y se pudo observar que la concentración de este, casi nunca es superior a 10 g SSV/L, y que la velocidad de sedimentación es menor a 1 m/h.

Se han podido observar dos fenómenos importantes:

- Que los lodos tienen dificultades para sedimentar cuando las cargas son por arriba de 0.25 kg DQ/kg SSV \*d, y
- La separación se dificulta cuando las concentraciones de SSV en el licor mezclado (SSVLM) están por encima de 18 g/L.

La carga suspendida no reactiva (inerte) puede servir como medio de soporte a los microorganismos. Y los lodos se recirculan a tasas moderadas para proteger los “flocs”. El IVL (índice volumétrico de lodos) oscila entre 40 y 150 m/g.

Por otro lado, las cargas orgánicas volumétricas pueden ir desde 1.5 hasta 8 kgDQO/m<sup>3</sup>, con tiempos de retención hidráulica de 0.5 a 5 días. La DQO va de 2 a 10 g/L. Y la eficiencia de remoción puede alcanzar hasta el 95%.

Se debe siempre tomar en consideración que el proceso de mezclado se distingue por:

- El método de mezclado. (agitación mecánica o con recirculación del biogás).

- El equipo de sedimentación de lodos (agitación en un tanque independiente y/o con bomba de vacío).
- El tipo de sedimentador secundario (convencional o de alta tasa).  
El TRC se controla con recirculación y purgas.

**Gasto de recirculación:**

$$Q_r = \frac{X \cdot Q}{X_r - X}, \frac{m^3}{d} \quad (2.6)$$

Donde:

- X: SSVLM
- X<sub>r</sub>: SSV en la línea de recirculación.
- Q<sub>r</sub>: Gasto de recirculación (80 a 100% de Q)
- Q: Gasto de alimentación.

**Cálculo del volumen del reactor:**

Depende de la carga orgánica másica y de la cantidad de biomasa. Por lo que el volumen se obtiene de:

$$Q_r = \frac{S \cdot Q}{B_M \cdot X}, m^3 \quad (2.7)$$

Los requerimientos energéticos son:

- Para mezclado con gas: 5 – 10 W/m<sup>3</sup>.
- Para mezclado con agitación mecánica: 2 – 5 W/m<sup>3</sup>.

La operación con gas es más eficiente, y evita la sedimentación del lodo en algunos espacios del reactor.

El tipo de mezclado influye sobre el contenido de SSVLM (sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado), el cual puede alcanzar de 25 a 30 kg ST/m<sup>3</sup>, para el mezclado con gas; y, de 5 a 8 kg ST/m<sup>3</sup>, para mezclado mecánico. Por lo que, el volumen del reactor será mayor si se utiliza mezclado mecánico, trabajando a una misma B<sub>M</sub> (carga orgánica másica en la mezcla). En la siguiente gráfica, se distinguen las partes del biorreactor:

- Barros digeridos
- Barros en digestión.
- Sobrenadante.
- Capa de espumas.
- Biogás

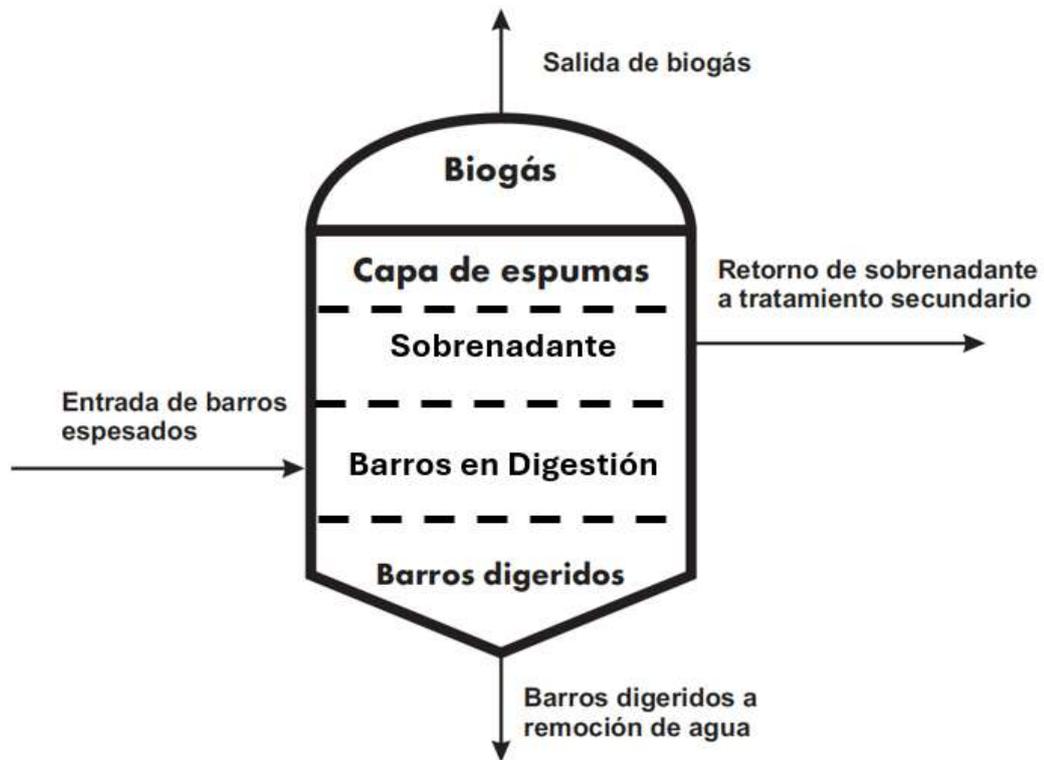


Figura 4. Esquema de Biorreactor

Fuente: Elaboración propia del autor.

### Degasificador

El propósito primordial del degasificador es facilitar la sedimentación del lodo, mediante la eliminación del gas del sistema, y se ubica entre el reactor y el sedimentador.

Una característica observable es en el TRH, que en la práctica deberá ser entre 10 y 20 minutos.

Si el sistema es cerrado a la atmósfera, la bomba del vacío se dirige al quemador del biogás.

Existen tres tipos de degasificadores:

- Con agitación mecánica.
- Torre de platos.
- De película líquida.

### Sedimentador:

Sirve para separar el agua tratada del lodo. Se puede utilizar un sedimentador secundario (con rastras), o de alta tasa (de placas paralelas).

Para el diseño del sedimentador, se toma como base la carga hidráulica superficial ( $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ), y en la masa de sólidos aplicada ( $\text{kg SS}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ). Se elige el que da mayor área (se estila a utilizar de 0.2 a  $0.25 \text{ m}^3\cdot\text{h}$ ) y hasta  $5 \text{ kgST}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ .

### **Reacciones bioquímicas del proceso anaerobio**

La reacción de los componentes orgánicos de las aguas residuales urbanas en ausencia de oxígeno, nitratos y sulfatos dan como productos biogás (metano y bióxido de carbono), los cuales son productos de la actividad de cinco grupos de microorganismos facultativos y anaerobios. “La conversión de materia orgánica presente en los fangos se divide en cuatro etapas” (Sáez, 2017).

El proceso de reacción comienza con la hidrólisis, por enzimas extracelulares, del material orgánico presente en la carga orgánica de las aguas residuales y que está conformado por proteínas, carbohidratos y lípidos. Esta etapa fracciona los compuestos y partículas a sus componentes más simples (azúcares, aminoácidos y ácidos grasos), que se constituyen en materia prima (sustratos) dando como productos los acetatos, hidrógeno, biomasa y productos intermedios (propionato y butirato), los que posteriormente se degradan hasta acetato e hidrógeno “por un grupo de bacterias conocidas como OHPA (bacterias acetogénicas productoras obligadas de hidrógeno)” (CONAGUA, 2015).

Las reacciones de conversión que se han identificado en el proceso anaerobio “son:

- a. Hidrólisis: de biopolímeros (proteínas, carbohidratos y lípidos)
- b. Acidogénesis: Fermentación de aminoácidos y azúcares.
- c. Oxidación  $\beta$ -anaerobia de ácidos grasos de cadena larga y alcoholes.
- d. Acetogénesis: Oxidación anaerobia de productos intermedios, como ácidos volátiles (excepto acetato).
- e. Metanogénesis: Conversión de acetato a metano.” (CONAGUA, 2015).

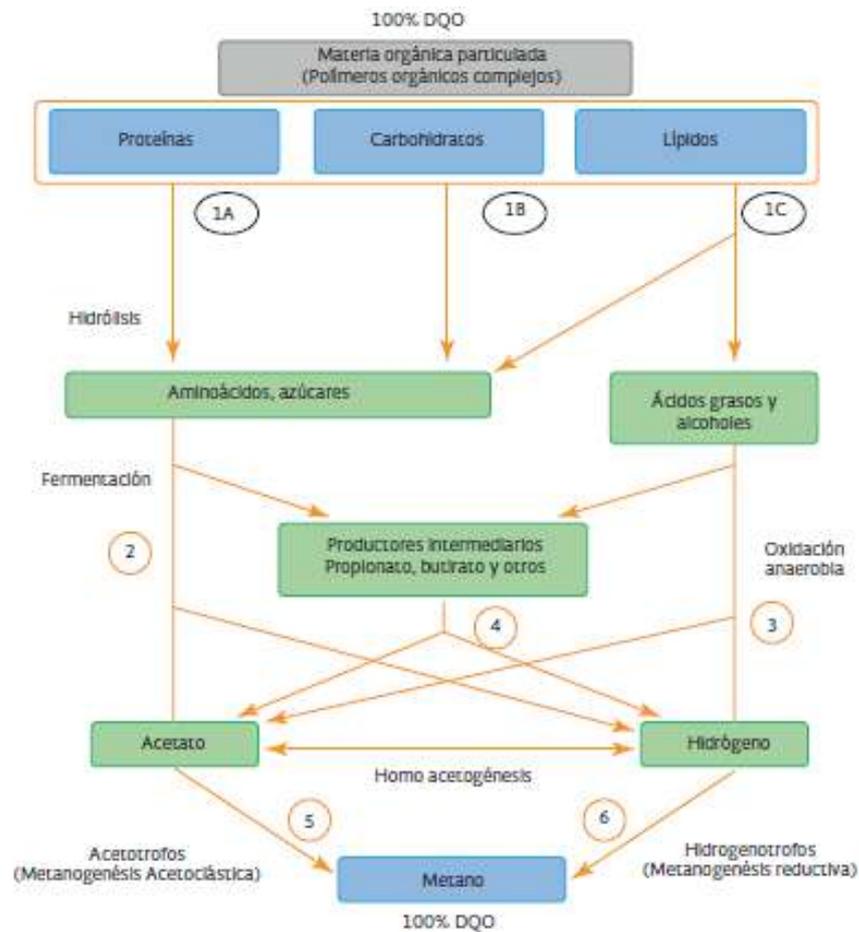


Figura 5. Proceso de conversión en la digestión anaerobia

Fuente: Gujer & Zehnder, 1983

De acuerdo a los criterios generales de tratamiento de aguas residuales, para un mejor funcionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), es necesario el desbaste, para lo cual es indispensable el pretratamiento mediante rejillas, desarenador, sedimentador, etc., a objeto de evitar percances como obstrucciones en las líneas de alimentación del agua residual, que afectará el normal funcionamiento del biorreactor.

Un dato típico de rendimiento del tratamiento del reactor anaerobio, para una base de cálculo de 100 kg DQO (en el afluente), dará un promedio de:

- ✓ 40 – 45 m<sup>3</sup> de biogás (-70% de CH<sub>4</sub>)
- ✓ 5 kg. de lodo
- ✓ 12 – 15 kg DQO (en el efluente)

El tratamiento del efluente (que contiene sólidos suspendidos, nitrógeno, materia orgánica soluble, fósforo, entre otros), a objeto de eliminar patógenos, es conveniente utilizar cloración, radiación ultravioleta, ozonización, lagunas de estabilización, etc.

Los lodos se pueden tratar posteriormente con radiación de Rayos X, u otra forma de inhibición patogénica.

Y los gases (biogás) pueden ser acopiados para su posterior uso.

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Aguas Residuales:** Aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas.
- **Biorreactor batch:** Es un equipo construido con medidas definidas por diseño, que almacena un sustrato, es inoculado con un microorganismo, y reacciona bajo condiciones anaeróbicas en estado estacionario.
- **Calidad Ambiental:** Condición de equilibrio natural que describe el conjunto de procesos geoquímicos, biológicos y físicos, y sus interacciones, que tienen lugar a través del tiempo, en un determinado espacio geográfico.
- **Cinética:** Ciencia que se ocupa del estudio de las reacciones que ocurren en los sistemas acopiados para actuar como sistema
- **Cuerpo Receptor:** Medio acuático de fuente natural (mar y continental, cuerpos lóticos y lénticos) que recibe los efluentes tratados de las actividades industriales de consumo humano directo y consumo indirecto.
- **DBO:** La demanda biológica de oxígeno, determinada a los 5 días (DBO<sub>5</sub> o DBO), es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para la oxidación de la materia orgánica presente en el agua. Los microorganismos, principalmente bacterias, consumen oxígeno para metabolizar dicha materia orgánica. Cuanto mayor sea el contenido de materia orgánica a metabolizar, mayor será el requerimiento de oxígeno, y, por lo tanto, mayor la DBO. Es la cantidad de oxígeno consumido por dicho proceso en cinco días.
- **Efluente:** Descarga directa de aguas residuales que son descargadas al ambiente, cuya concentración de sustancias contaminantes es medida a través de los Límites Máximos Permisibles (LMP).
- **Enzimas:** son células microbiológicas que cumplen funciones de inoculación, de especificidad catalítica, y atacan sustratos por orden de afinidad.

- **Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua):** Es la medida que establece el nivel de concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor, que no presenta riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.
- **Frecuencia de monitoreo:** Es la periodicidad del monitoreo de calidad del agua residual, el cual está determinado por el caudal de operación de la PTAR.
- **Impacto Ambiental:** Alteración, positiva o negativa, de los componentes del ambiente, provocada por la acción de un proyecto. El “impacto” es la diferencia entre qué habría pasado con la acción y que habría pasado sin ésta.
- **LMP:** Límites Máximos Permisibles
- **Monitoreo de la calidad del agua residual:** Es el proceso que permite obtener como resultado la medición de la calidad del agua residual, con el objeto de realizar el seguimiento sobre la exposición de contaminantes a los usos de agua y el control a las fuentes de contaminación.
- **Muestra de agua:** Parte representativa del material a estudiar (para este caso agua residual cruda y tratada) en la cual se analizan los parámetros de interés.
- **pH:** El potencial de hidrógeno, indica la intensidad del carácter ácido (acidez) o básico (alcalinidad) del agua y puede variar entre 0 y 14, donde 0 es el valor más ácido, 7 es neutro y 14 el más básico.
- **Política Ambiental:** Conjunto sistematizado de objetivos y metas que establece las prioridades en la gestión ambiental de una determinada organización
- **Programa de Monitoreo:** Es la planificación del monitoreo ambiental, puede realizarse antes, durante o después de la ejecución de un proyecto.
- **Protocolo:** Conjunto de reglas
- **Sólidos Suspendidos Totales:** son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua.
- **Sostenibilidad:** Es el desarrollo que satisface las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas.
- **Temperatura:** Es un factor abiótico que regula procesos vitales para los organismos vivos, así como también afecta las propiedades químicas y físicas de otros factores abióticos en un ecosistema.

## **2.4. Hipótesis de investigación**

### **2.4.1. Hipótesis general.**

**H<sub>0</sub>:** El modelamiento y análisis de un biorreactor, permitirá el tratamiento de las aguas residuales municipales del Distrito Caleta de Carquín, provincia de Huaura, 2017.

**H<sub>1</sub>:** El modelamiento y análisis de un biorreactor, no permitirá el tratamiento de las aguas residuales municipales del Distrito Caleta de Carquín, provincia de Huaura, 2017.

### **2.4.2. Hipótesis específicas.**

- ✓ La construcción del modelo matemático de un biorreactor permitirá abordar el tratamiento de las aguas residuales municipales del Distrito Caleta de Carquín.
- ✓ El análisis de la cinética de un biorreactor permitirá el tratamiento correcto de las aguas residuales municipales del Distrito Caleta de Carquín.
- ✓ La evaluación de los parámetros de un biorreactor permitirá comprender el impacto ambiental de las aguas residuales municipales del Distrito Caleta de Carquín.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Diseño Metodológico**

#### **3.1.1. Tipo**

El tipo de investigación del presente trabajo es:

- Es descriptivo (realidad problemática).
- Es longitudinal, debido a que se analizará cambios a través del tiempo (abarcando un periodo desde el año 2013 al 2017), en determinadas variables o en las relaciones entre estas. Se recolectan datos a través del tiempo en puntos o períodos especificados, para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias.
- Es aplicada, por su finalidad.

#### **3.1.2. Enfoque**

El presente trabajo de investigación se fundamenta en un enfoque cualitativo, debido a que cada elemento que constituye la norma en estudio, tiene asignado un peso, que nos ayuda a evaluar el nivel real de cumplimiento.

### **3.2. Población y Muestra**

#### **Población:**

Las descargas de aguas residuales generadas por la población de la Bahía Caleta de Carquín durante el año 2019.

#### **Muestra:**

Las descargas de las aguas residuales durante los meses de marzo a agosto del año 2019. Sin embargo, por tratarse de modelamiento, la muestra es referencial, y de la cual se consideró la toma de muestras de agua del océano, cuerpo receptor de las descargas urbanas, de la bahía de Carquín, y de las cuales se han considerado los parámetros DBO (demanda bioquímica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno) y SST (sólidos suspendidos totales), que permiten aproximar a la idea del estado en que se encuentran al momento de su evaluación real.

### **3.3. Técnicas para recolección de datos**

Se utilizó el siguiente protocolo:

1. Toma de muestras del cuerpo de agua marino, para ser sometidos a análisis de laboratorio especializado a objeto de determinar los parámetros fisicoquímicos a observar: DBO5, pH y carga microbiana.

2. Cálculo computarizado de los componentes principales de los efluentes urbanos, consistentes en la determinación de los componentes de la orina y de las heces, a objeto de cuantificar las cantidades proporcionales, considerando para tal efecto los parámetros recomendados por la OPS para países de América Latina. Con esos datos se llegó a cuantificar los efluentes.

### **3.4. Técnicas para el procesamiento de la información**

En el presente trabajo de investigación se consideraron los datos del análisis del agua del cuerpo receptor (océano) del Distrito Caleta de Carquín, y la simulación utilizando el Excel

En lo referente al modelado, se utilizó como entorno Excel y Matlab, programas de uso en Ingeniería., Para ello se toma en cuenta la alimentación de datos de análisis de muestras y la comparación con los:

#### **3.4.1. Estándares de Calidad Ambiental.**

Instrumento de Gestión Ambiental que regula el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente

La evaluación de los resultados obtenidos será interpretada de acuerdo a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aguas Superficiales, aprobado por Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, según la categorización de los recursos hídricos como se indica en la Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA (MINAM, 2015; ANA, 2010).

#### **3.4. 2. Límites Máximos Permisibles.**

Los Límites Máximos Permisibles es un Instrumento de gestión ambiental que regula la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos,

químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

El monitoreo de efluentes dentro de la planta arrojará resultados que serán comparados con la normativa vigente: Decreto Supremo N° 061-2016-PRODUCE. Y de esa manera evaluar si están dentro del rango permitido (PRODUCE, 2016).

El análisis de datos permitió la interpretación de los resultados mediante comparación con los ECAs y LMPs, instrumentos ambientales de la normativa ambiental vigente.

Tabla 3.

*Operacionalización de Variables e Indicadores*

| <b>Título:</b> Modelado y análisis de un biorreactor para tratamiento de las aguas residuales municipales del Distrito Bahía de Carquín, 2017” |  |   |  |   |   |
|--|--|---|--|---|---|
| <b>Variab</b>  | <b>Definición conceptual</b>   | <b>Definición operacional</b>   | <b>Dimensiones</b>   | <b>Indicadores</b>  | <b>Técnicas e instrumentos</b>  |
| <p><b>V. Independiente (x):</b><br/>Modelamiento y análisis de un biorreactor</p>  | <p>Técnica utilizada para identificar en los sistemas físicos y biológicos, las ecuaciones y las variables que los representan</p>   | <p>El modelamiento se basa en la formulación de las ecuaciones matemáticas, en forma de EDOs que permiten analizar las condiciones de operación de un biorreactor.</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Identificación del sistema físico.</li> <li>✓ Planteamiento de las ecuaciones que lo gobiernan.</li> <li>✓ Definición de las condiciones de operación (iniciales o de frontera).</li> <li>✓ Análisis por simulación.</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Volúmenes, áreas y caudales.</li> <li>✓ EDOs</li> <li>✓ C.I. (PVI) o C.F. (PVF)</li> <li>✓ Gráficas o resultados.</li> </ul> | <p><b>Técnicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cálculos</li> </ul> <p><b>Instrumentos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Uso de programas</li> </ul>       |
| <p><b>V. Dependiente (y):</b><br/>Tratamiento de las aguas residuales municipales del Distrito Caleta de Carquín, 2017</p>                     | <p>Es un conjunto de técnicas de ingeniería de procesos orientadas al tratamiento físico químico de las aguas residuales municipales u otras mediante biorreactores, para que puedan ser reutilizadas.</p> | <p>El tratamiento de las aguas residuales municipales se realiza a partir del acopio, el desbaste y subsiguiente control de las biorreacciones en condiciones aerobias o anaeróbicas para reducir la concentración de los sustratos y alcanzar los LMP o los ECAs</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pretratamiento</li> <li>✓ Tratamiento primario</li> <li>✓ Reacciones anaeróbicas del reactor (RAFA)</li> <li>✓ Identificación y medición de las características del agua tratada (efluente)</li> <li>✓ Manejo de los gases y residuos sólidos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Desbaste.</li> <li>✓ Desarenado.</li> <li>✓ Velocidad de reacción.</li> <li>✓ Medición de los LMP o ECAs</li> </ul>          | <p><b>Técnicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Operativas</li> </ul> <p><b>Instrumentos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Análisis estadístico</li> </ul> |

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Sobre la base de los objetivos propuestos, se han logrado los resultados que a continuación se presentan, concordantes con los objetivos de esta investigación.

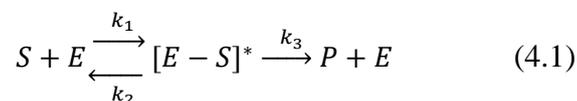
El modelamiento del biorreactor, se basó en el enfoque clásico de tratamiento de aguas residuales, de un reactor anaeróbico de flujo ascendente, lo que permitió considerar la experiencia empírica que existe al respecto, y que propone en lo esencial valores de la carga orgánica y proyecta un cierto grado de conversión de la materia orgánica. Por lo que, se logró:

- ✓ Modelar y analizar un biorreactor para tratamiento de las aguas residuales municipales del Distrito Caleta de Carquín, 2017. El modelamiento se realizó mediante las ecuaciones (2.1) a (2.7).
- ✓ Posteriormente, se procedió a simular el funcionamiento del Biorreactor empleando datos de censo poblacional que el Distrito Caleta de Carquín tiene al 2017, la cantidad de 7465 habitantes. (Anexo 10)
- ✓ El análisis realizado a las características y condiciones existentes en las aguas residuales urbanas del Distrito Caleta de Carquín, permitió la formulación de un modelo cinético, cuyo sistema de reacciones que ocurren en el biorreactor, se detalla a continuación en el punto 4.1.1.

### 4.1. De acuerdo al objetivo específico 1

Se describió ecuacionalmente el modelo matemático, mediante las ecuaciones (2.1) a (2.7), antes descritas, del biorreactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), adaptado al tratamiento de aguas residuales municipales en el Distrito Caleta de Carquín.

El modelo matemático se obtuvo a partir de la ecuación general para las reacciones enzimáticas:



El análisis cinético, mediante la ecuación del balance molar, lleva a la ecuación de Michaelis & Menten:

$$-\frac{dC_S}{dt} = \frac{r_{max}C_S}{K_M + C_S} \quad (4.2)$$

Esta ecuación describe el cambio de la concentración del sustrato con respecto al tiempo, que puede ser obtenido por integración:

$$\int_{C_{S_0}}^{C_S} - \left( \frac{K_M + C_S}{C_S} \right) dC_S = \int_0^t r_{max} dt \quad (4.3)$$

$$K_M \ln \frac{C_{S_0}}{C_S} + (C_{S_0} - C_S) = r_{max} t \quad (4.4)$$

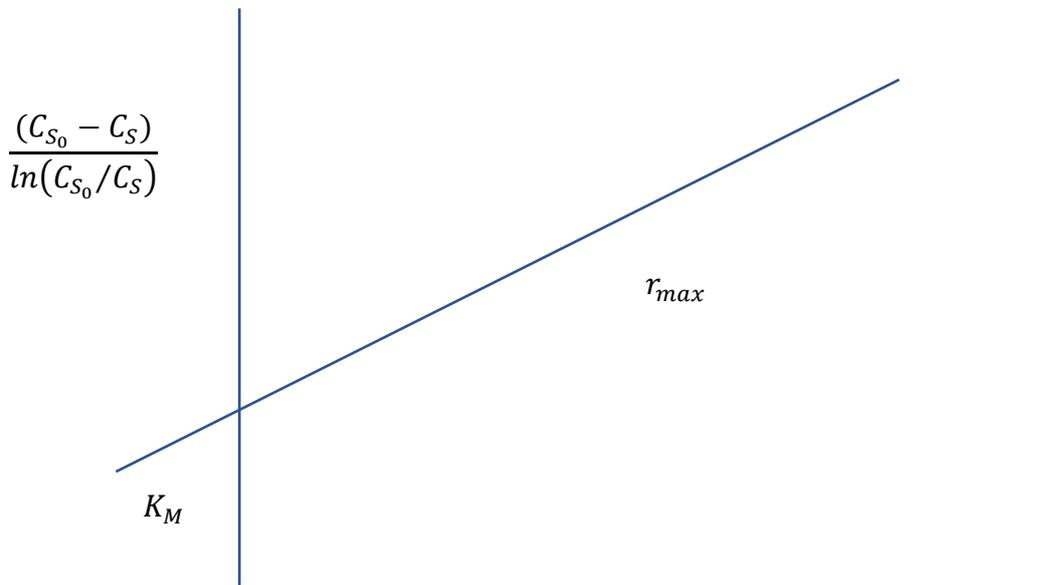
$$C_S = C_{S_0} \quad a \quad t = 0$$

Re arreglando, se obtiene la siguiente ecuación lineal, que puede ser graficada:

$$\frac{C_{S_0} - C_S}{\ln(C_{S_0}/C_S)} = -K_M + \frac{r_{max} t}{\ln(C_{S_0}/C_S)} \quad (4.5)$$

$$\frac{(C_{S_0} - C_S)}{\ln(C_{S_0}/C_S)} \text{ versus } t/\ln(C_{S_0}/C_S)$$

Se obtendrá una línea recta con una pendiente  $- r_{max}$  y una intercepción  $- K_M$



$K_M$  es la constante de Michaelis, que expresa el gr:  $t/\ln(C_{S_0}/C_S)$  el sustrato respecto a la enzima, en el proceso de transformación

$r_{max}$  es la velocidad máxima de reacción del sustrato en el sistema de reacción.

$C_{S_0}$  es la concentración inicial al  $t = 0$

$C_S$  es la concentración del sustrato al  $t = t$

Con la ecuación del balance molar (anexo 11) se desarrollará la aplicación y simulación del proceso de tratamiento de aguas residuales.

## 4.2. Según el objetivo específico 2

Se efectuó el análisis cinético mediante las ecuaciones (4.1) a (4.5), a partir de la ecuación general de las reacciones bioquímicas (enzimáticas), considerando que el biorreactor anaerobio de flujo ascendente se opera a condiciones “batch”.

En el anexo 10, se muestra la aplicación del modelo cinético sobre una base de cálculo cercana a la realidad, con la composición típica de las aguas servidas, aguas residuales, aguas fecales, o aguas cloacales, del Distrito Caleta de Carquín.

Se consideran residuales, a aquellas aguas que han sido usadas, y constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen, y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (del latín *cloaca*, alcantarilla), nombre que se le da habitualmente al colector. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales, considerando que en los colectores municipales recaen los efluentes de la actividad industrial de la zona, que incluye plantas pesqueras. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno. En la literatura ambiental, se usa el término “aguas residuales” para referirse a aquellas que se desaguan como Vertidos. Definiciones tomadas de Wikipedia: GNU Free Documentation License o GFDL.

Según la OEFA, las aguas residuales “Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado” (OEFA, 2014).

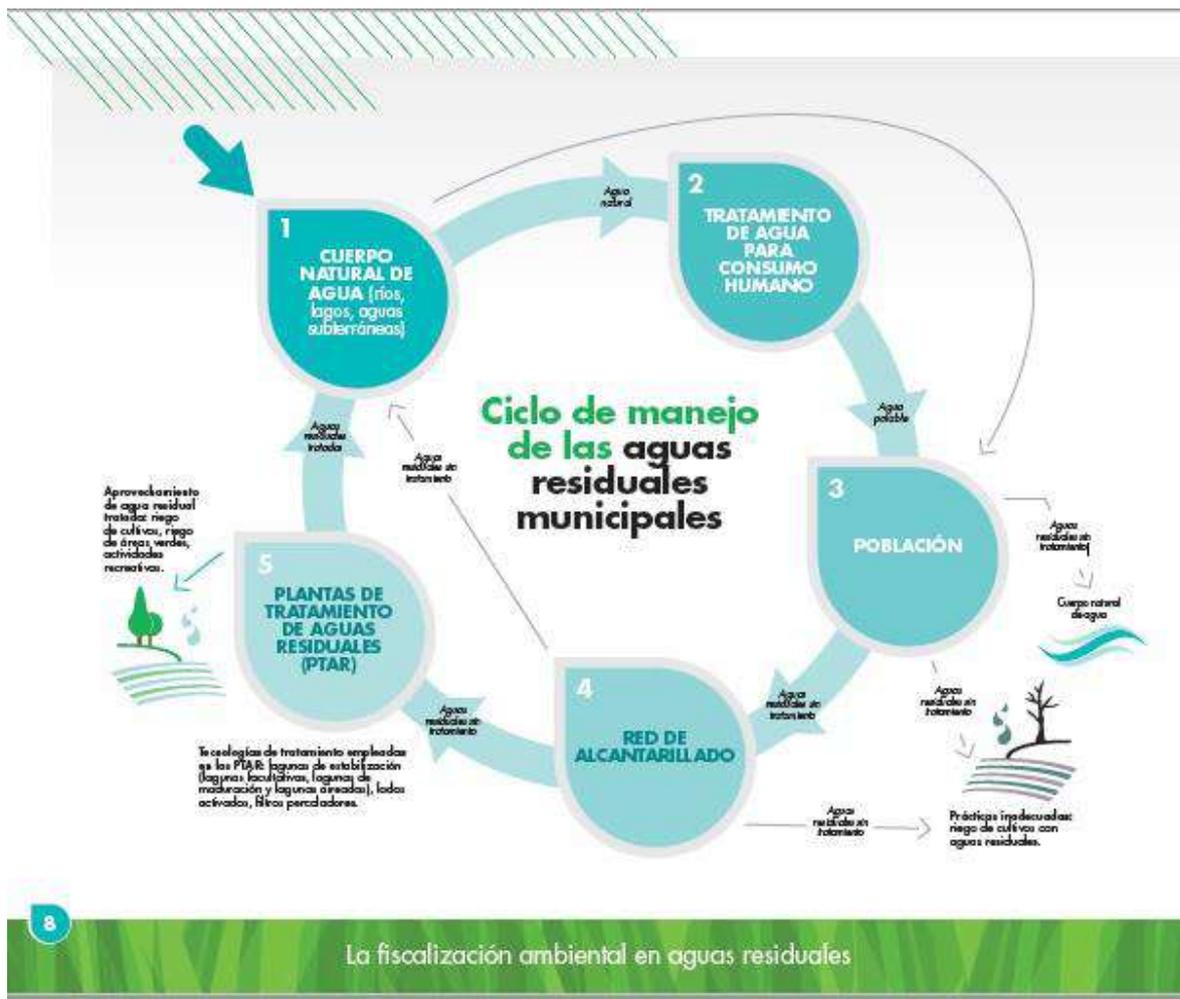


Figura 6. Fiscalización Ambiental

Fuente: OEFA, 2014

La Quinta Disposición Complementaria de la Resolución N° 0291-2009-ANA de fecha 01 de junio del 2009, distingue las definiciones de aguas residuales domésticas y residuales municipales: Señala que: “el agua residual doméstica, es el agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana. Y el agua residual municipal, es el agua residual doméstico que puede incluir la mezcla con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado” (ANA, 2009).

Al respecto sobre dichas definiciones habría que señalar que en realidad todo residuo es producto de la actividad humana, directa o indirectamente, por lo que es observable que se mencione a **otros** desechos provenientes de la actividad humana, y de otro lado, no es común que algún municipio cuente con normas que exijan requisitos de los efluentes

descargados en las alcantarillas, por lo que en principio se debe detallar a que requisitos se refiere para posteriormente exigir que exista la normatividad pertinente.

### **4.3. De acuerdo al objetivo específico 3**

Se realizó el análisis y evaluación de los parámetros para el tratamiento de las aguas residuales municipales en el Distrito Caleta de Carquín. (Anexos 11 a 13), mediante análisis de laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L, acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL Da – Perú.

Mediante los resultados del laboratorio INACAL, se pudo determinar que, los parámetros como el DBO, la DQO, y los SST, necesitan ser evaluados después del tratamiento, que como se ha demostrado en el cálculo realizado con el modelo (anexo 10), es posible reducir la concentración de sólidos, tanto en las concentraciones de orina como en las heces, presentes en las aguas residuales urbanas del Distrito Caleta de Carquín.

## **CAPÍTULO V. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Como resultado del análisis cinético, del modelamiento y posterior inclusión de datos en la simulación, a partir de datos típicos para América Latina, y considerando los estándares de calidad ambiental y los límites máximos permisibles, se aborda:

### **5.1. La discusión**

Para el diseño del biorreactor anaeróbico de flujo ascendente, que debe operar en forma de un “batch”, para el tratamiento de las aguas municipales del Distrito Caleta de Carquín., se tomaron en cuenta:

- El modelamiento ecuacional del biorreactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA), que ha permitido deducir las ecuaciones de diseño, que permiten considerar el modelo de una manera consistente.

Se consideraron los siguientes parámetros:

- ✓ El área superficial de soporte.
- ✓ La carga orgánica másica.
- ✓ La carga orgánica volumétrica
- ✓ El tiempo de retención celular
- ✓ El tiempo de retención hidráulica

En el análisis de estos parámetros se han identificado los principales aspectos a incluir dentro del modelamiento del Biorreactor RAFA, y se vio por conveniente efectuar la verificación de los datos, a partir de datos típicos para América Latina.

Complementariamente, se realizaron los análisis de laboratorio, que han permitido medir los principales compuestos y factores a medir, para determinar el grado de transformación que se alcanzará a la puesta en marcha del biorreactor. Para una prueba simulada de 7465 habitantes, se ha logrado obtener un mejoramiento sustancial en la calidad del agua residual, quedando para un posterior tratamiento la inhibición de la carga microbiana.

Asimismo, los sólidos que se obtendrán deberán ser tratados con tecnologías de rayos X, o radiación electrónica, para convertir en inocua la aplicación de fertilizantes.

Queda, finalmente, la corriente con las emisiones gaseosas (biogás), resultantes de las reacciones biológicas (compuestas principalmente de metano y dióxido de carbono) en el

biorreactor RAFA. Esta corriente deberá ser captada y mediante el uso de un sistema de compresión, disponerla para otros usos (combustibles gaseosos).

- Las reacciones bioquímicas que ocurren dentro del biorreactor, se han obtenido a partir de la típica reacción enzimática. Este proceso reactivo se produce en forma inductiva, al someter a pre tratamiento el afluente utilizando el mecanismo de la hidrólisis de las enzimas extracelulares presentes en el medio, de modo que se generan las reacciones de hidrólisis de biopolímeros, reacciones fermentativas de aminoácidos y azúcares, reacciones de oxidación anaeróbica de ácidos grasos de cadena larga y alcoholes, las reacciones de oxidación anaeróbica de productos intermedios como ácidos volátiles, y finalmente, las reacciones acetogénicas.

Siendo el proceso en modalidad “batch”, todo el sistema trabaja durante un período de tiempo, dependiendo de la concentración estimada por muestreo en el afluente, y de los records obtenidos en las pruebas y trabajos previos.

- Los parámetros ambientales que se han tomado en cuenta, principalmente, son el DBO, DQO y SST, que, de acuerdo a los análisis de laboratorio realizados, se necesitan ajustar para alcanzar los estándares de calidad ambiental, normados por el MINAM.

Con la prueba de simulación realizada, se ha logrado determinar cuantitativamente que al separar los componentes en Urea, Potasio, Fósforo, Nitrógeno (y sus derivados como son el fosfato y las aminas), en una cantidad muy significativa en la corriente de orina (89 TM/año), y en la heces (10 TM/año), dependiendo del tiempo de retención hidráulico, siendo que para las 4 etapas con TRH de 4, 3, 2, y 1 días, se pueden obtener las condiciones de operación del reactor, variando los caudales, dando como consecuencia la disminución de la carga másica orgánica máxima de 10 kg DQO/kg SSV-día, y mínima de 0.8 kg DQO/kg SSV-día, variando también, en consecuencia, el tiempo de retención de sólidos máximo de 10 días y un mínimo de 1 día.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

En concordancia con el desarrollo de la presente investigación, se puede concordar en lo siguiente:

- 6.1.1. Es posible considerar adecuado el uso de un biorreactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA) para el tratamiento de aguas residuales en el Distrito Caleta de Carquín, por cuanto su implementación es relativamente asequible técnica y económicamente.
- 6.1.2. En cuanto a las condiciones cinéticas de operación, la interpretación y control de las variables, requiere de la participación y conocimiento especializado, entrenamiento a personal técnico y operarios para mantener esas condiciones dentro de los rangos (“set points”) deseables.
- 6.1.3. El tratamiento de las aguas servidas urbanas en base a la recuperación ambiental, se sustenta en el control del DBO, DQO, SST, entre otros factores físico químicos, con el propósito de evitar la eutrofización de las aguas, que genera anoxia de los sistemas, y la consecuente pérdida de los ecosistemas.
- 6.1.4. El tratamiento de las aguas servidas urbanas, genera la producción de aguas que pueden ser reutilizadas, así como la obtención de sólidos ricos en fósforo y nitrógeno, que constituyen abonos y nutrientes para efectos agrícolas. Naturalmente, estos sólidos deben recibir un tratamiento posterior para inhibir la carga microbiana.
- 6.1.5. Los efluentes líquidos del biorreactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA), deben recibir un tratamiento posterior, como la cloración y las otras fases del tratamiento de las aguas, a objeto de disponer el líquido elemento en usos y aplicaciones como regadío de cultivos, agua para servicios, etc.

## **6.2. Recomendaciones**

- 6.2.1. Es recomendable profundizar en los aspectos cinéticos mediante la implementación de etapas posteriores de investigación, a objeto de fortalecer en los mecanismos de reacción.
- 6.2.2. Sería conveniente recomendar al gobernó local del Distrito Caleta de Carquín, adopte como una propuesta técnica la construcción de un biorreactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA).
- 6.2.3. Es pertinente recomendar se proyecte una estadística de mediciones del DBO, DQO y SST, K, N<sub>2</sub>, urea, y determinar las variaciones que por efecto estacional se verifican, a objeto de prever el tratamiento correspondiente.
- 6.2.4. Construir un RAFA experimental con el propósito de realizar investigaciones en el tratamiento de las aguas residuales urbanas y domésticas

## CAPÍTULO 7. REFERENCIAS

- Andrade, H., Sixto, S. y Andrade, C.H. (2013). *Estado del Medio Ambiente Marino y Costero del Pacífico Sudeste*. Guayaquil, Ecuador: Comisión Permanente del Pacífico Sur.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA) (2009), Resolución Jefatural N° 0291-2009-ANA. Disposiciones para el otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y reúsos de aguas residuales tratadas.
- Canales R., y Ricardo J., (2011), *Producción de biogas a partir de aguas residuales y residuos agrícolas* (Tesis de pregrado). Universidad de Zamorano, Honduras.
- CONAGUA, (2015), *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Datos Básicos Para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado*. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua.
- De la Varga, D., (2014), *Depuración de aguas residuales en digestores anaeróbicos y humedales construidos: aplicación a la industria vitivinícola*, tesis doctoral, Universidad Da Coruña, España.
- Espinoza, G. & Sedano, E., (2007), *Evaluación de la biodegradabilidad anaerobia de la materia orgánica de las aguas residuales de la planta de procesamiento del café de la cooperativa la florida de Chanchamayo* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Guillén, O., Aquino, A. Valdivia, B. y Calienes, R. (1978). *Contaminación en el puerto del Callao*. Callao, Lima: IMARPE - Informe N° 62.
- Gujer, W. & Zehnder, A. (1983). Conversion Processes in Anaerobic Digestion. *Water Science and Technology*, 15(8-9), 127-167. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.1983.0164>.
- Horna, E. (2013) “*Deterioro ambiental de la ciudad de Chimbote por actividad antrópica*” (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.
- Huang, Y., Ma, Y., Wan, J., & Wang, Y. (2019). Mathematical modelling of the internal circulation anaerobic reactor by Anaerobic Digestion Model No. 1, simultaneously combined with hydrodynamics. *Scientific Reports* 9(1), 6249. doi: 10.1038/s41598-019-42755-0.

- Ledesma, J. y Flores, G. (2001). Evaluación de la Calidad del agua en las Bahías de Huacho y Carquín durante el año 2001. *Revista de investigación Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 37 - 46.
- Maldonado, C. (2012). Calidad de agua en la bahía de Huacho. 2002. *Informe IMARPE*, 39, 3 – 4.
- Ministerio de la Producción (2002). Resolución Ministerial N° 003-2002-PE, Protocolo de Monitoreo de Efluentes para el Consumo Humano Indirecto y del Cuerpo Marino Receptor. Recuperado del Sitio de internet: <http://snp.org.pe/media/Normas-Pesqueras/Efluentes/R.M.003-2002-PE-Protocolo-de-Monitoreo-de-Efluentes-para-el-CHI-y-del-Cuerpo-Marino-Receptor.pdf>
- Ministerio de la Producción (PRODUCE) (2008). *Guía para la actualización del plan de Manejo Ambiental para que los titulares* Recuperado de <http://extwprlegs1.fao.org/>
- Ministerio de la Producción (PRODUCE) (2016). *Resolución Ministerial N° 061-2016-PRODUCE. Protocolo para el Monitoreo de Efluentes de los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto.*
- Ministerio del Ambiente (MINAM) (2008). Decreto Supremo N°002-2008-MINAM. Aprueban los Estándares Nacionales de calidad ambiental para Agua.
- Ministerio del Ambiente (MINAM) (2012). *Glosario de términos para la gestión ambiental peruana.* Recuperado de <http://www.usmp.edu.pe/>
- Ministerio del Ambiente (MINAM) (2015). *Decreto Supremo N°015-2015-MINAM. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación.* Recuperado del Sitio de internet: <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ds-ndeg-015-2015-minam.pdf>.
- Ministerio del Ambiente (MINAM) (2015). Guía para la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA) en sitios contaminados. Lima, Perú: MINAM.
- Revista Técnica del Medio Ambiente (RETEMA) (2022). *Implantación de un proceso de depuración de aguas residuales en dos fases mediante hongos filamentosos.* Madrid, España: RETEMA.

- Rodríguez, C. & Sánchez, L., (1988), *Modelamiento computarizado para el control de un biorreactor de aguas residuales industriales* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Ruiz, M.I. (2024). *Políticas públicas en salud y su impacto en el seguro popular en Culiacán, Sinaloa, México* (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma de Sinaloa, México.
- Sáez, R.J. (2017). *Diseño de un reactor anaerobio para la digestión de fangos* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Valle, S. (2015). *Evaluación de la contaminación ambiental por vertimientos de aguas residuales a los cuerpos de agua y bienes asociados en el Valle Chancay Huaral 2013 – 2014* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho.
- Velasco, P.A y Solar, G.R. (2011). Biorreactores de membrana: tecnología para el tratamiento de aguas residuales. *La ciencia y el hombre, revista de divulgación científica de la universidad veracruzana*, 24(3).
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas) (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París, Francia: UNESCO.

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Características del agua residual domestica

Tabla 4. Los componentes y variables físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales,

| Característica              | Variables             | Procedencia  |
|-----------------------------|-----------------------|--|
| Propiedades físicas         | Color                 | Aguas residuales (AR) municipales, desintegración natural de materia orgánica                  |
|                             | Olor                  | AR en descomposición   |
|                             | Sólidos               | Aguas de suministro, AR domésticas, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas |
|                             | Temperatura           | AR domésticas  |
| <b>Componentes químicos</b> |                       |  |
| Orgánicos                   | Carbohidratos         | AR comerciales e industriales  |
|                             | Grasa animal y aceite | AR domésticas, comerciales e industriales  |
|                             | Pesticidas            | Residuos agrícolas   |
|                             | Fenoles               | Vertidos industriales  |
|                             | Proteínas             | AR domésticas e industriales   |
|                             | Agentes tenso activos | AR domésticas e industriales   |
|                             | Otros                 | Desintegración natural de materia orgánica   |
| Inorgánicos                 | Alcalinidad           | AR domésticas, agua de suministro, infiltración de aguas subterráneas                          |
|                             | Cloruros              | Agua de suministro, AR domésticas, infiltración de aguas subterráneas                          |
|                             | Metales pesados       | Vertimientos industriales, AR domésticas y residuos agrícolas                                  |
|                             | Nitrógeno             | AR domésticas y residuos agrícolas   |
|                             | Ph                    | Vertimientos industriales  |
|                             | Fósforo               | AR domésticas, industriales, escorrentía residual  |
|                             | Azufre                | Aguas de suministro, aguas residuales, domésticas e industriales                               |
|                             | Compuestos tóxicos    | Vertidos industriales  |
| Gases                       | Sulfuro de hidrogeno  | Descomposición de AR domésticas  |
|                             | Metano                | Descomposición de AR domésticas  |
|                             | Oxígeno               | Aguas de suministro, infiltración del agua superficial   |
| Constituyentes biológicos   | Animales              | Cursos de aguas y plantas de tratamiento   |
|                             | Plantas               | Cursos de aguas y plantas de tratamiento   |
|                             | Protistos             | AR domésticas, plantas de tratamiento  |
|                             | Virus                 | AR domésticas  |

**Fuente:** Metcalf & Eddy INC

## Anexo 2. Estándares de calidad ambiental 2008

### Estándares de Calidad Ambiental 2008

| CATEGORIA 4                                       |              |                              |                              |                              |                                    |               |
|---|--------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------------|---------------|
| PARAMETRO   | UNIDAD       | E1:<br>LAGUNAS<br>Y LAGOS    | E2: RIOS                     |                              | E3: ECOSISTEMAS<br>MARINO COSTERAS |               |
|   |              |                              | COSTA Y<br>SIERRA            | SELVA                        | ESTUARIOS                          | MARINOS       |
| <b>FISICOS – QUIMICOS</b>                         |              |                              |                              |                              |                                    |               |
| Aceites y grasas                                  | mg/L         | Ausencia de película visible | Ausencia de película visible | Ausencia de película visible | 1                                  | 1             |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | mg/L         | <5                           | <10                          | <10                          | 15                                 | 10            |
| Nitrógeno Amoniacal                               | mg/L         | <0.02                        | 0.02                         | 0.05                         | 0.05                               | 0.08          |
| Temperatura                                       | Celsius      | **                           | **                           | **                           | **                                 | Delta 3°C     |
| Oxígeno Disuelto                                  | mg/L         | ≥5                           | ≥5                           | ≥5                           | ≥4                                 | ≥4            |
| Potencial de Hidrógeno (pH)                       | Unidad de Ph | 6,5 a 8,5                    | 6,5 a 8,5                    |                              | 6,8 – 8,5                          | 6,8 – 8,5     |
| Sólidos Disueltos Totales                         | mg/L         | 500                          | 500                          | 500                          | 500                                |               |
| Sólidos Suspendidos Totales                       | mg/L         | ≤ 25                         | ≤25 -≤100                    | ≤25 -≤400                    | ≤25 - ≤100                         | 30            |
| <b>INORGÁNICOS</b>                                |              |                              |                              |                              |                                    |               |
| Arsénico  | mg/L         | 0,01                         | 0,05                         | 0,05                         | 0,05                               | 0,05          |
| Bario   | mg/L         | 0,7                          | 0,7                          | 1                            | 1                                  | **            |
| Cadmio  | mg/L         | 0,004                        | 0,004                        | 0,004                        | 0,005                              | 0,005         |
| Cianuro Libre                                     | mg/L         | 0.022                        | 0.022                        | 0.0052                       | 0.022                              | **            |
| Clorofila A                                       | mg/L         | 10                           | **                           | **                           | **                                 | **            |
| Cobre   | mg/L         | 0.02                         | 0.02                         | 0.02                         | 0.05                               | 0.05          |
| Cromo VI  | mg/L         | 0,05                         | 0,05                         | 0,05                         | 0,05                               | 0,05          |
| Fenoles   | mg/L         | 0,001                        | 0,001                        | 0,001                        | 0,001                              | 0,001         |
| Fósatos Total                                     | mg/L         | 0.4                          | 0.5                          | 0.5                          | 0.5                                | 0,031 – 0,093 |
| Hidrocarburos de petróleo Aromáticos Totales      | Ausente      |                              |                              |                              | Ausente                            | Ausente       |
| Mercurio  | mg/L         | 0.0001                       | 0.0001                       | 0.0001                       | 0.0001                             | 0.0001        |
| Nitratos (N-NO <sub>3</sub> )                     | mg/L         | 5                            | 10                           | 10                           | 10                                 | 0,07 – 0,28   |

**INORGANICOS**

|   |      |       |       |       |        |            |
|---|------|-------|-------|-------|--------|------------|
| Nitrógeno Total   | mg/L | 1,6   | 1,6   |       | **     | **         |
| Níquel  | mg/L | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.002  | 0.0082     |
| Plomo   | mg/L | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,0081 | 0,0081     |
| Silicatos   | mg/L | **    | **    | **    | **     | 0,14 – 0,7 |
| Sulfuro de Hidrógeno<br>(H <sub>2</sub> S indisociable) | mg/L | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002  | 0,06       |
| Zinc  | mg/L | 0,03  | 0,03  | 0,3   | 0,03   | 0,081      |

**MICROBIOLÓGICO**

|                    |         |       |       |  |       |     |
|--------------------|---------|-------|-------|--|-------|-----|
| Coliformes         | NMP/100 | 1 000 | 2 000 |  | 1 000 |     |
| Termotolerantes    | Ml      |       |       |  |       | ≤30 |
| Coliformes Totales | mg/L    | 2000  | 0,005 |  | 0,071 |     |

**Fuente:** MINAM, 2008

### Anexo 3. Estándares de calidad ambiental 2015

#### Estándares de Calidad Ambiental 2015

| CATEGORIA 4                           |                              |                           |                   |           |                                    |           |  |
|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------|-----------|------------------------------------|-----------|--|
| PARAMETRO                             | UNIDAD                       | E1:<br>LAGUNAS<br>Y LAGOS | E2: RIOS          |           | E3: ECOSISTEMAS<br>MARINO COSTERAS |           |  |
|                                       |                              |                           | COSTA Y<br>SIERRA | SELVA     | ESTUARIOS                          | MARINOS   |  |
| <b>FISICOS – QUIMICOS</b>             |                              |                           |                   |           |                                    |           |  |
| Aceites y grasas (MEH)                | mg/L                         | 5.0                       | 5.0               | 5.0       | 5.0                                | 5.0       |  |
| Cianuro Total                         | mg/L                         | 0.0052                    | 0.0052            | 0.0052    | 0.001                              | 0.001     |  |
| Color (b)                             | Color Verdadero Escala Pt/Co | 20 (a)                    | 20 (a)            | 20 (a)    | **                                 | **        |  |
| Clorofila A                           | mg/L                         | 0.008                     | **                | **        | **                                 | **        |  |
| Conductividad                         | (uS/cm)                      | 1000                      | 1000              | 1000      | **                                 | **        |  |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5 ) | mg/L                         | 5                         | 10                | 10        | 15                                 | 10        |  |
| Fenoles                               | mg/L                         | 2.56                      | 2.56              | 2.56      | 5.8                                | 5.8       |  |
| Fósforo Total                         | mg/L                         | 0.035                     | 0.05              | 0.05      | 0.124                              | 0.062     |  |
| Nitratos (NO3 - )                     | mg/L                         | 13                        | 13                | 13        | 200                                | 200       |  |
| Amoniaco                              | mg/L                         | 1.9                       | 1.9               | 1.9       | 0.4                                | 0.55      |  |
| Nitrógeno Total                       | mg/L                         | 0.315                     | **                | **        | **                                 | **        |  |
| Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo)       | mg/L                         | ≥5                        | ≥5                | ≥5        | ≥4                                 | ≥4        |  |
| Potencial de Hidrógeno (pH)           | Unidad de pH                 | 6,5 a 9,0                 | 6,5 a 9,0         | 6,5 a 9,0 | 6,8 – 8,5                          | 6,8 – 8,5 |  |
| Sólidos Suspendedos Totales           | mg/L                         | ≤ 25                      | ≤ 100             | ≤ 400     | ≤ 100                              | 30        |  |
| Sulfuro                               | mg/L                         | 0.002                     | 0.002             | 0.002     | 0.002                              | 0.002     |  |
| Temperatura                           | °C                           | Δ 3                       | Δ 3               | Δ 3       | Δ 2                                | Δ 2       |  |
| <b>INORGANICOS</b>                    |                              |                           |                   |           |                                    |           |  |
| Antimonio                             | mg/L                         | 0,61                      | 1,6               | 0,61      | **                                 | **        |  |
| Arsénico                              | mg/L                         | 0,15                      | 0,15              | 0,15      | 0,036                              | 0,03      |  |
| Bario                                 | mg/L                         | 0,7                       | 0,7               | 1         | 1                                  | **        |  |
| Cadmio                                | mg/L                         | 0,00025                   | 0,00025           | 0,00025   | 0,0088                             | 0,0088    |  |

|          |      |        |        |        |        |        |
|----------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Cobre    | mg/L | 0.1    | 0.1    | 0.1    | 0.05   | 0.05   |
| Cromo VI | mg/L | 0.011  | 0.011  | 0.011  | 0.05   | 0.05   |
| Mercurio | mg/L | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| Níquel   | mg/L | 0.052  | 0.052  | 0.052  | 0.0082 | 0.0082 |
| Plomo    | mg/L | 0,0025 | 0,0025 | 0,0025 | 0,0081 | 0,0081 |
| Selenio  | mg/L | 0,005  | 0,005  | 0,005  | 0,071  | 0,071  |
| Talio    | mg/L | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | **     | **     |
| Zinc     | mg/L | 0,12   | 0,12   | 0,12   | 0,081  | 0,081  |

---

## ORGANICOS

### I. Compuestos Orgánicos Volátiles

|  |      |        |        |        |        |        |
|--|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Hidrocarburos totales de petróleo HTTP | mg/L | 0,5    | 0,5    | 0,5    | 0,5    | 0,5    |
| Hexaclorobutadieno                     | mg/L | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 |

### BTEX

|         |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| Benceno | mg/L | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
|---------|------|------|------|------|------|------|

### HIDROCARBUROS AROMATICOS

|                |      |        |        |        |        |        |
|----------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Benzo(a)pireno | mg/L | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |
| Antraceno      | mg/L | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 |
| Fluoranteno    | mg/L | 0,001  | 0,001  | 0,001  | 0,001  | 0,001  |

### PLAGUICIDAS

#### Órgano Fosforados

|           |      |          |          |          |        |        |
|-----------|------|----------|----------|----------|--------|--------|
| Malatión  | mg/L | 0,0001   | 0,0001   | 0,0001   | 0,0001 | 0,0001 |
| Parathión | mg/L | 0,000013 | 0,000013 | 0,000013 | **     | **     |

### ORGANOCOLORADOS

|                                  |      |           |           |           |           |           |
|----------------------------------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Aldrin                           | mg/L | 0,000004  | 0,000004  | 0,000004  | **        | **        |
| Clordano                         | mg/L | 0,0000043 | 0,0000043 | 0,0000043 | 0,000004  | 0,000004  |
| DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4-DDE) | mg/L | 0,000001  | 0,000001  | 0,000001  | 0,000001  | 0,000001  |
| Dieldrin                         | mg/L | 0,000056  | 0,000056  | 0,000056  | 0,0000019 | 0,0000019 |
| Endosulfan                       | mg/L | 0,000056  | 0,000056  | 0,000056  | 0,0000087 | 0,0000087 |
| Endrin                           | mg/L | 0,000036  | 0,000036  | 0,000036  | 0,0000023 | 0,0000023 |
| Heptacloro                       | mg/L | 0,0000038 | 0,0000038 | 0,0000038 | 0,0000036 | 0,0000036 |
| Heptacloro epóxido               | mg/L | 0,0000038 | 0,0000038 | 0,0000038 | 0,0000036 | 0,0000036 |
| Lindano                          | mg/L | 0,00095   | 0,00095   | 0,00095   | **        | **        |
| Pentaclorofenol (PCP)            | mg/L | 0,001     | 0,001     | 0,001     | 0,001     | 0,001     |

### CARBAMATO

|          |      |       |       |         |         |         |
|----------|------|-------|-------|---------|---------|---------|
| Aldicarb | mg/L | 0,001 | 0,001 | 0,00015 | 0,00015 | 0,00015 |
|----------|------|-------|-------|---------|---------|---------|

---

**POLICLORUROS BIFENILOS TOTALES**

---

|         |      |          |          |          |         |         |
|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|
| (PCB's) | mg/L | 0,000014 | 0,000014 | 0,000014 | 0,00003 | 0,00003 |
|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|

---

**MICROBIOLÓGICO**

---

|            |         |  |  |  |  |  |
|------------|---------|--|--|--|--|--|
| Coliformes | NMP/100 |  |  |  |  |  |
|------------|---------|--|--|--|--|--|

|                 |    |       |       |       |       |       |
|-----------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Termotolerantes | mL | 1 000 | 2 000 | 2 000 | 1 000 | 2 000 |
|-----------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|

(44,5°C)

---

**Fuente:** MINAM, 2015

## Anexo 4. Estándares de calidad ambiental 2018

| CATEGORÍA 4                                       |                                 |                     |                |           |                                    |           |
|---|---------------------------------|---------------------|----------------|-----------|------------------------------------|-----------|
| PARÁMETROS  | UNIDAD DE MEDIDA                | E1: LAGUNAS Y LAGOS | E2: RÍOS       |           | E3: ECOSISTEMAS COSTEROS Y MARINOS |           |
|   |                                 |                     | COSTA Y SIERRA | SELVA     | ESTUARIO                           | MARINOS   |
| <b>FISICO – QUÍMICOS</b>                          |                                 |                     |                |           |                                    |           |
| Aceites y Grasas (MEH)                            | mg/L                            | 5,0                 | 5,0            | 5,0       | 5,0                                | 5,0       |
| Cianuro Libre                                     | mg/L                            | 0,0052              | 0,0052         | 0,0052    | 0,001                              | 0,001     |
| Cloro (b)   | Cloro verdadero<br>Escala Pt/Co | 20(a)               | 20(a)          | 20(a)     | **                                 | **        |
| Clorofila A                                       | mg/L                            | 0,008               | **             | **        | **                                 | **        |
| Conductividad                                     | ( $\mu$ S/cm)                   | 1000                | 1000           | 1000      | **                                 | **        |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | mg/L                            | 5                   | 10             | 10        | 15                                 | 10        |
| Fenoles   | mg/L                            | 2,56                | 2,56           | 2,56      | 0,124                              | 0,062     |
| Fósforo total                                     | mg/L                            | 0,035               | 0,05           | 0,05      | 0,124                              | 0,062     |
| Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (c)      | mg/L                            | 13                  | 13             | 13        | 200                                | 200       |
| Amoniaco Total (NH <sub>3</sub> )                 | mg/L                            | (1)                 | (1)            | (1)       | (2)                                | (2)       |
| Nitrógeno Total                                   | mg/L                            | 0,315               |                |           |                                    |           |
| Oxígeno Disuelto (valor mínimo)                   | mg/L                            | ≥ 5                 | ≥ 5            | ≥ 5       | ≥ 4                                | ≥ 4       |
| Potencial de Hidrógeno (pH)                       | Unidad de pH                    | 6,5 a 9,0           | 6,5 a 9,0      | 6,5 a 9,0 | 6,8 a 8,5                          | 6,8 a 8,5 |
| Sólidos Suspendidos Totales                       | mg/L                            | ≤ 25                | ≤ 100          | ≤ 400     | ≤ 100                              | ≤ 30      |
| Sulfuros  | mg/L                            | 0,002               | 0,002          | 0,002     | 0,002                              | 0,002     |
| Temperatura                                       | °C                              | Δ3                  | Δ3             | Δ3        | Δ2                                 | Δ2        |
| <b>INORGÁNICOS</b>                                |                                 |                     |                |           |                                    |           |
| Antimonio   | mg/L                            | 0,64                | 0,64           | 0,64      | **                                 | **        |
| Arsénico  | mg/L                            | 0,15                | 0,15           | 0,15      | 0,036                              | ,036      |
| Bario   | mg/L                            | 0,7                 | 0,7            | 1         | 1                                  | **        |
| Cadmio Disuelto                                   | mg/L                            | 0,00025             | 0,00025        | 0,00025   | 0,0088                             | 0,0088    |
| Cobre   | mg/L                            | 0,1                 | 0,1            | 0,1       | 0,05                               | 0,05      |
| Cromo IV  | mg/L                            | 0,011               | 0,011          | 0,011     | 0,05                               | 0,05      |
| Mercurio  | mg/L                            | 0,0001              | 0,0001         | 0,0001    | 0,0001                             | 0,0001    |
| Níquel  | mg/L                            | 0,052               | 0,052          | 0,052     | 0,0082                             | 0,0082    |

|  |      |           |           |           |           |           |
|--|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Plomo</b>                                 | mg/L | 0,0025    | 0,0025    | 0,0025    | 0,0081    | 0,0081    |
| <b>Selenio</b>                               | mg/L | 0,005     | 0,005     | 0,005     | 0,071     | 0,071     |
| <b>Talio</b>                                 | mg/L | 0,0008    | 0,0008    | **        | **        | **        |
| <b>Zinc</b>                                  | mg/L | 0,12      | 0,12      | 0,12      | 0,081     | 0,081     |
| <b>ORGÁNICOS</b>                             |      |           |           |           |           |           |
| <b><u>Compuestos Orgánicos Volátiles</u></b> |      |           |           |           |           |           |
| <b>Hidrocarburos Totales de Petróleo</b>     | mg/L | 0,5       | 0,5       | 0,5       | 0,5       | 0,5       |
| <b>Hexaclorobutadieno</b>                    | mg/L | 0,0006    | 0,0006    | 0,0006    | 0,0006    | 0,0006    |
| <b><u>BTEX</u></b>                           |      |           |           |           |           |           |
| <b>Benceno</b>                               | mg/L | 0,05      | 0,05      | 0,05      | 0,05      | 0,05      |
| <b><u>Hidrocarburos Aromáticos</u></b>       |      |           |           |           |           |           |
| <b>Benzo(a)Pireno</b>                        | mg/L | 0,0001    | 0,0001    | 0,0001    | 0,0001    | 0,0001    |
| <b>Antraceno</b>                             | mg/L | 0,0004    | 0,0004    | 0,0004    | 0,0004    | 0,0004    |
| <b>Fluoranteno</b>                           | mg/L | 0,001     | 0,001     | 0,001     | 0,001     | 0,001     |
| <b><u>Bifenilos Policlorados</u></b>         |      |           |           |           |           |           |
| <b>Bifenilos Policlorados (PCB)</b>          | mg/L | 0,000014  | 0,000014  | 0,000014  | 0,00003   | 0,00003   |
| <b>PLAGUICIDAS</b>                           |      |           |           |           |           |           |
| <b><u>Organofosforados</u></b>               |      |           |           |           |           |           |
| <b>Malatión</b>                              | mg/L | 0,0001    | 0,0001    | 0,0001    | 0,0001    | 0,0001    |
| <b>Paratión</b>                              | mg/L | 0,000013  | 0,000013  | 0,000013  | **        | **        |
| <b><u>Organosclorados</u></b>                |      |           |           |           |           |           |
| <b>Aldrín</b>                                | mg/L | 0,000004  | 0,000004  | 0,000004  | **        | **        |
| <b>Clordano</b>                              | mg/L | 0,0000043 | 0,0000043 | 0,0000043 | 0,00004   | 0,00004   |
| <b>DDT (Suma de 4,4-DDD y 4,4-DDE)</b>       | mg/L | 0,000001  | 0,000001  | 0,000001  | 0,000001  | 0,000001  |
| <b>Dieldrín</b>                              | mg/L | 0,000056  | 0,000056  | 0,000056  | 0,0000019 | 0,0000019 |
| <b>Endosulfán</b>                            | mg/L | 0,000056  | 0,000056  | 0,000056  | 0,000056  | 0,000056  |
| <b>Endrin</b>                                | mg/L | 0,000056  | 0,000056  | 0,000056  | 0,000023  | 0,000023  |
| <b>Heptacloro</b>                            | mg/L | 0,0000038 | 0,0000038 | 0,0000038 | 0,0000036 | 0,0000036 |
| <b>Heptacloro Epóxido</b>                    | mg/L | 0,0000038 | 0,0000038 | 0,0000038 | 0,0000036 | 0,0000036 |
| <b>Lindano</b>                               | mg/L | 0,00095   | 0,00095   | 0,00095   | **        | **        |
| <b>Pentaclorofenol (PCP)</b>                 | mg/L | 0,001     | 0,001     | 0,001     | 0,001     | 0,001     |
| <b><u>Carbamato</u></b>                      |      |           |           |           |           |           |
| <b>Aldicarb</b>                              | mg/L | 0,001     | 0,001     | 0,001     | 0,00015   | 0,00015   |
| <b>MICROBIOLÓGICO</b>                        |      |           |           |           |           |           |

|                        |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Coliformes</b>      | mg/L | 1000 | 2000 | 2000 | 1000 | 2000 |
| <b>Termotolerantes</b> |      |      |      |      |      |      |

Fuente: MINAN, 2017

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

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ( $\text{NO}_3^-$  - N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).  $\Delta 3$ : significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 5: - El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario. (1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoniac Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de  $\text{NH}_3$ ) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales. (2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoniac Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de  $\text{NH}_3$ ).

**Anexo 5.** Límites máximos permisibles para efluentes vertidas a cuerpos de agua

| <b>PARÁMETRO</b>                     | <b>UNIDAD</b> | <b>LMP EFLUENTES PARA<br/>VERTIDOS A CUERPOS DE<br/>AGUAS</b> |
|--------------------------------------|---------------|---|
| <b>Aceites y grasas</b>              | mL/L          | 20  |
| <b>Coliformes Termotolerables</b>    | NMP/100<br>Ml | 10,000  |
| <b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b> | mL/L          | 100   |
| <b>Demanda Química de Oxígeno</b>    | mL/L          | 200   |
| <b>pH</b>                            | Unidad        | 6.5 – 8.5   |
| <b>Sólidos Totales en Suspensión</b> | mL/L          | 150   |
| <b>Temperatura</b>                   | °C            | <35   |

**Fuente:** MINAM, 2010

## Anexo 6. Límites máximos permisibles para la industria

| Parámetros<br>Contaminantes                                | I   | II   | III  | Método de Análisis  | Formato  |
|--|---|--|--|---|--|
|  | Límites<br>Máximos<br>Permisibles de<br>los efluentes<br>que serán<br>vertidos dentro<br>de la zona de<br>protección<br>ambiental (a) | Límites<br>Máximos<br>Permisibles de<br>los efluentes<br>que serán<br>vertidos fuera<br>de la zona de<br>protección<br>ambiental (a) | Límites<br>Máximos<br>Permisibles de<br>los efluentes<br>que serán<br>vertidos fuera<br>de la zona de<br>protección<br>ambiental (b) |   |  |
| Aceites<br>y<br>Grasas                                     | 20 mg/L   | 1,5*10 <sup>3</sup> mg/L   | 0,35*10 <sup>3</sup> mg/L  | Standard Methods for<br>Examination of water<br>and Wastewater, 20 <sup>th</sup> .<br>Ed. Method 5520D.<br>Washington, o equipo<br>Automático Extractor<br>Soxhlet. | Los valores<br>consisten en  |
| Sólidos<br>Suspendidos<br>Totales (SST)                    | 100 mg/L  | 2,5*10 <sup>3</sup> mg/L   | 0,70*10 <sup>3</sup> mg/L  | Standard Methods for<br>Examination of water<br>and wastewater, 20 <sup>th</sup> .<br>Ed. Part 2540D<br>Washington  | el promedio diario<br>de un<br>mínimo de tres<br>muestras<br>de un compuesto<br>según se |
| pH   | 6 – 9   | 5 – 9  | 5 – 9  | Protocolo de<br>Monitoreo aprobado<br>por Resolución<br>Ministerial N° 003-<br>2002-PE  | establece en la<br>Resolución<br>Ministerial N°<br>003-2002-PE                           |
| Demanda<br>Bioquímica de<br>Oxígeno<br>(DBO <sub>5</sub> ) | ≤ 60mg/L  | (c)  | (c)  | Resolución Ministerial<br>003-2002-PE   |  |

Fuente: MINAM, 2008

## Anexo 7. Parámetros a ser monitoreados

| Parámetros de Efluentes Residuales Industriales de CHI | Parámetros de Efluentes residuales de CHD         |                                     | Unidad de Medida  |
|--|---|-------------------------------------|-------------------|
|  | Que viertan a un cuerpo marino o continental      | Que viertan a Red de alcantarillado |                   |
| Caudal   | Caudal  |                                     | m <sup>3</sup> /s |
| Temperatura (T)  | Temperatura                                       |                                     | °C                |
| pH   | Ph  |                                     | -                 |
| Coliformes Termotolerantes                             | Coliformes Termotolerantes                        |                                     | NMP/100ml         |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )      | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) |                                     | mg/L              |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)                       | Demanda Química de Oxígeno (DQO)                  |                                     | mg/L              |
| Aceites y Grasas                                       | Aceites y Grasas                                  |                                     | mg/L              |
| Sólidos Suspendidos Totales – SST                      | Sólidos Suspendidos Totales (SST)                 |                                     | mg/L              |

CHI: Consumo Humano Indirecto

CHD: Consumo Humano Directo

**Fuente:** Protocolo de Monitoreo de Efluentes en la industria pesquera. RMN°061-2016-PRODUCE

## Anexo 8. Presupuesto para el desarrollo

| Ítem               | Descripción                 | Cantidad | Unidad | Costo Unit. S/. | Costo Total S/. |
|--------------------|-----------------------------|----------|--------|-----------------|-----------------|
| 1                  | Lápiz                       | 4        | Unidad | 1               | 4               |
| 2                  | Borrador                    | 2        | Unidad | 1               | 2               |
| 3                  | Cuadernos                   | 1        | Unidad | 5               | 5               |
| 4                  | Lapiceros                   | 4        | Unidad | 1               | 4               |
| 5                  | Engrapador                  | 1        | Unidad | 8               | 8               |
| 6                  | Perforador                  | 1        | Unidad | 6               | 6               |
| 7                  | CD's                        | 5        | Unidad | 1               | 5               |
| 8                  | Folder manila               | 10       | Unidad | 0.5             | 1               |
| 9                  | Memoria USB - 4GB           | 2        | Unidad | 18              | 18              |
| 10                 | Pasajes                     |          | Unidad | 3               | 864             |
| 11                 | Alimentación                |          | Unidad | 6               | 1728            |
| 12                 | Alojamiento                 | 6        | Unidad | 150             | 900             |
| 13                 | Anillados de borradores     | 4        | Unidad | 5               | 20              |
| 14                 | Empastado de informe final  | 4        | Unidad | 40              | 160             |
| 15                 | Impresión del informe final | 4        | Unidad | 20              | 80              |
| 16                 | Otros imprevistos           | 1        |        |                 | 95              |
| <b>Total (S/.)</b> |                             |          |        |                 | <b>3900</b>     |

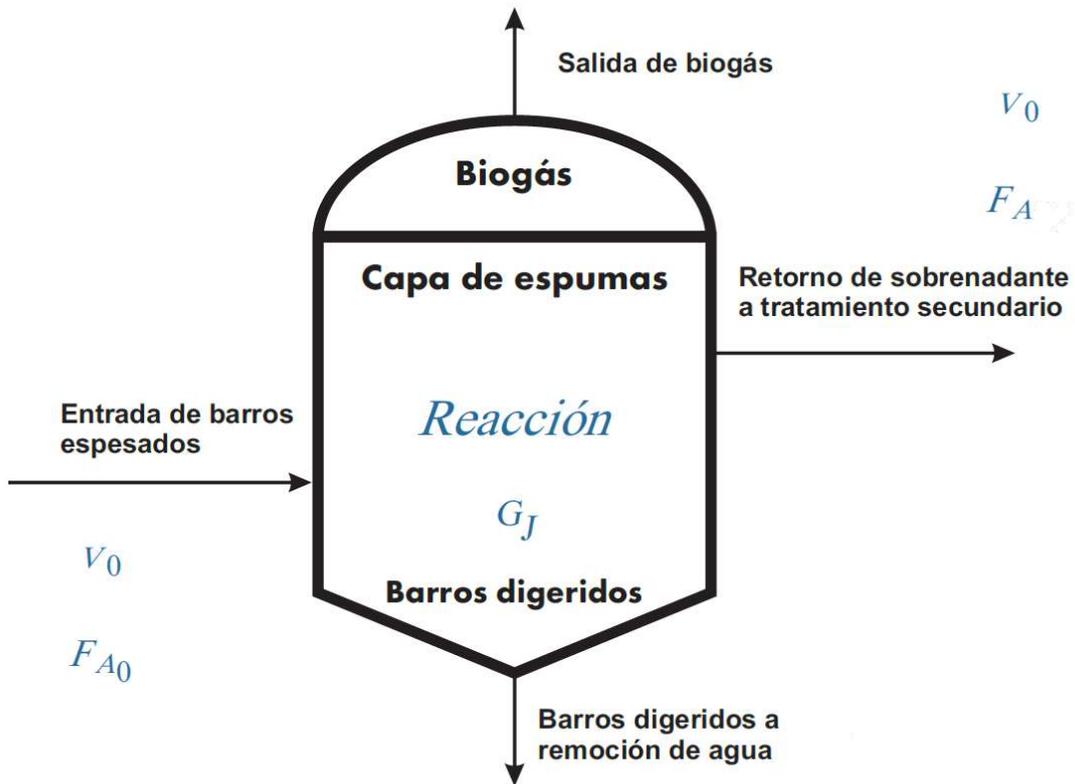
## Anexo 9. Recursos físicos

| <b>Ítem</b> | <b>Descripción</b>         | <b>Cantidad</b> |          |
|-------------|----------------------------|-----------------|----------|
| 1           | Lápiz                      | 4               | Unidades |
| 2           | Borrador                   | 2               | Unidades |
| 3           | Cuadernos                  | 1               | Unidades |
| 4           | Lapiceros                  | 4               | Unidades |
| 5           | Engrapador                 | 1               | Unidades |
| 6           | Perforador                 | 1               | Unidades |
| 7           | CD's                       | 3               | Unidades |
| 8           | Folder manila              | 2               | Unidades |
| 9           | Memoria USB - 4GB          | 2               | Unidades |
| 10          | Anillados de borradores    | 6               | Unidades |
| 11          | Empastado de informe final | 4               | Unidades |

## Anexo 10. Diseño y simulación del reactor Anaeróbico

Carquín cuenta con 7465 habitantes según reporte publicado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). [https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia\\_de\\_Huaura](https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Huaura)

### Balance de agua residual entrante



### Ecuaciones de diseño:

Ecuación General de Balance Molar:

$$F_{A_0} - F_A \pm (G_j) = \frac{d N_j}{dt}$$

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} \pm \text{Reacción} = \text{Acumulado}$$

La alimentación se puede expresar en términos de flujo molar:

$$F_{A_0} = C_{A_0} v_0$$

$$\left( \frac{\text{mol}}{\text{tiempo}} \right) = \left( \frac{\text{mol}}{\text{volumen}} \right) \left( \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} \right)$$

Base poblacional: 7465 personas

1. **Orina:** Masa estimada

$$\text{Masa de Orina: } 7465 \text{ personas} \times 550 \frac{\text{kilogramos}}{\text{persona} \times \text{año}} = 4'105,750 \frac{\text{kilogramos}}{\text{año}} = 4,105.750 \frac{\text{TM}}{\text{año}}$$

En **volumen**, sabiendo que la densidad de la orina es  $\rho_{\text{orina}} = 1018 \frac{\text{kilogramos}}{\text{m}^3}$ :

$$V = \frac{4'105,750 \frac{\text{kilogramos}}{\text{año}}}{1018 \frac{\text{kilogramos}}{\text{m}^3}} = 4033.15324 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

1.1. **Urea en la orina:**

**Masa de urea en la orina:**

$$m_{\text{urea}} = 4033.15324 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \times 20 \frac{\text{kilogramos}_{\text{urea}}}{\text{m}^3 \text{orina}} = 80,663.0648 \frac{\text{kilogramos}_{\text{urea}}}{\text{año}}$$

1.2. **Potasio en la orina:**

$$m_{\text{potasio}} = 4'105,750 \frac{\text{kilogramos}_{\text{orina}}}{\text{año}} \times \frac{0.9 \left( \frac{\text{kilogramos}_{\text{potasio}}}{\text{persona-año}} \right)}{550 \left( \frac{\text{kilogramos}_{\text{orina}}}{\text{persona-año}} \right)} = 6718.5 \frac{\text{kilogramos}_{\text{potasio}}}{\text{año}}$$

1.3. **Fósforo en la orina:**

$$m_{\text{fósforo}} = 4'105,750 \frac{\text{kilogramos}_{\text{orina}}}{\text{año}} \times \frac{0.2 \left( \frac{\text{kilogramos}_{\text{fósforo}}}{\text{persona-año}} \right)}{550 \left( \frac{\text{kilogramos}_{\text{orina}}}{\text{persona-año}} \right)} = 1493 \frac{\text{kilogramos}_{\text{fósforo}}}{\text{año}}$$

2. **Heces:** Masa estimada:

$$\text{Masa de heces: } 7465 \text{ personas} \times 51 \frac{\text{kilogramos}}{\text{persona} \times \text{año}} = 380715 \frac{\text{kilogramos}}{\text{año}} = 380.715 \frac{\text{TM}}{\text{año}}$$

2.1. **Nitrógeno en las heces:**

$$m_{\text{nitrógeno}} = 380715 \frac{\text{kilogramos}_{\text{heces}}}{\text{año}} \times \frac{0.3 \frac{\text{kilogramos}_{\text{Nitrógeno}}}{\text{persona-año}}}{51 \frac{\text{kilogramos}_{\text{heces}}}{\text{persona-año}}} = 2239.5 \frac{\text{kilogramos}_{\text{Nitrógeno}}}{\text{año}}$$

$$masa_{urea} = \frac{2339.5 \frac{\text{kilogramos}_{\text{Nitrógeno}}}{\text{año}}}{0.467 \frac{\text{kilogramos}_{\text{Nitrógeno}}}{\text{kilogramos}_{\text{Urea}}}} = 5009.63597 \frac{\text{kilogramos}_{\text{Urea}}}{\text{año}}$$

### 2.2. Fósforo en las heces:

$$masa_{Fósforo} = 380715 \frac{\text{kilogramos}_{\text{heces}}}{\text{año}} \times \frac{0.1 \frac{\text{kilogramos}_{\text{Fósforo}}}{\text{persona} - \text{año}}}{51 \frac{\text{kilogramos}_{\text{heces}}}{\text{persona} - \text{año}}} \\ = 746.5 \frac{\text{kilogramos}_{\text{Fósforo}}}{\text{año}}$$

### 2.3. Potasio en las heces:

$$masa_{Potasio} = 380715 \frac{\text{kilogramos}_{\text{heces}}}{\text{año}} \times \frac{0.3 \frac{\text{kilogramos}_{\text{Potasio}}}{\text{persona} - \text{año}}}{51 \frac{\text{kilogramos}_{\text{heces}}}{\text{persona} - \text{año}}} \\ = 2239.5 \frac{\text{kilogramos}_{\text{Potasio}}}{\text{año}}$$

De acuerdo a los datos determinados, se puede llegar a determinar las capacidades que tendrá el Biorreactor, así como las posibilidades de obtener productos del tratamiento (Nitrógeno y Fósforo), que pueden ser utilizados como fertilizantes. Se cumple con todas las especificaciones (resumen) y balance de masa y balance molar en relación a las masas parciales y totales tratadas (además de produce biogás, cuyo balance no está este cuadro):

| Fuente    | Orina<br>(kg/año) | Moles/año  | Heces<br>(kg/año) | Moles/año  | Moles<br>totals | PM<br>(kg/kmol) |
|-----------|-------------------|------------|-------------------|------------|-----------------|-----------------|
| Urea      | 80,663.0648       | 1343.04137 | 5009.63597        | 83.4105224 | 1426.45189      | 60.06           |
| Potasio   | 6718.5000         | 168.033914 | 2239.5            | 57.2787052 | 225.31262       | 39.0983         |
| Fósforo   | 1493.0000         | 48.2020879 | 746.5             | 24.101044  | 72.3031319      | 30.973762       |
| Nitrógeno | ---               | ----       | 2239.5            | 159.887768 | 159.887768      | 14.0067         |
| Masa      | 88874.5648        | 1559.27737 | 10235.136         | 324.67804  | 1882.95541      |                 |
| Total     |                   |            |                   |            |                 |                 |

Se ha considerado los promedios para América Latina sobre la composición de orina y heces en las aguas residuales urbanas, y que concuerdan muy cercanamente con los promedios de la Caleta Bahía de Carquín.

|       | Kilogramos/persona/año |     |     |
|-------|------------------------|-----|-----|
|       | N                      | P   | K   |
| Orina | 1.9                    | 0.2 | 0.9 |
| Heces | 0.3                    | 0.1 | 0.3 |

**Fuente:**

Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de recursos hídricos 2017.

#### 2.4. El sub producto Biogas:

La reacción orgánica para la obtención del biogas se basa en la siguiente relación de balance:



En las aguas residuales urbanas se encuentra materia orgánica infestada con microorganismos diversos



De acuerdo al análisis estequiométrico, de la reacción biológica es posible calcular la cantidad de biogas que se produce.

Tabla N° 5.

##### Composición del Biogás

| Componente          | Fórmula Química  | Porcentaje (%) |
|---------------------|------------------|----------------|
| Metano              | CH <sub>4</sub>  | 60 – 75        |
| Dióxido de carbono  | CO <sub>2</sub>  | 20 – 30        |
| Hidrógeno           | H <sub>2</sub>   | 1.0            |
| Nitrógeno           | N <sub>2</sub>   | 0.5            |
| Monóxido de carbono | CO               | 0.1            |
| Oxígeno             | O <sub>2</sub>   | 0.1            |
| Ácido Sulfhidrico   | H <sub>2</sub> S | 0.1            |
| Amoníaco            | NH <sub>3</sub>  | 2 – 5          |
| Agua                | H <sub>2</sub> O | 3 – 5          |

**Fuente:** Canales, (2011)

Según estimaciones de la composición del agua residual mostradas, provienen, mayormente, de los hogares, utilizadas con fines higiénicos o de limpieza de residuos humanos en distintos espacios (domicilios, edificios, centros comerciales públicos y privados, entre otros), contienen una materia orgánica suspendida y compuesta por proteínas, carbohidratos, grasas, patógenos, nutrientes como el fósforo, carbono, y una cantidad de inorgánicos disueltos.

Como Carquín no tiene laguna facultativa, el agua contaminada ingresa directamente al océano, previo paso por las chacras y sembríos ubicados a la orilla del río Huaura. Ello

determina que la composición media, que ha permitido los cálculos anteriores. En lo referente al biogas, se asumió que el comportamiento del biogas es el de un gas ideal, donde la relación carbono/nitrógeno es aproximadamente de 11, debido a que la concentración porcentual de nitrógeno es 2.2, y la del carbono, 24.31 (en el agua residual).

| Material         | C/N | %N   | %C    |
|------------------|-----|------|-------|
| Aguas residuales | 11  | 2.21 | 24.31 |

Fuente: Moncayo (2007) y Restrepo (2007)

De acuerdo a la experiencia en el tratamiento de aguas residuales, la producción de biogas es paulatina, y el período de producción oscila entre 15 y 45 días, dependiendo de la concentración de los sustratos orgánicos. Para el caso en estudio de la Bahía de Carquín, se ha considerado la media, es decir, 30 días.

Si funciona en un biorreactor, lo demás es cuestión de planeamiento y expansión de lo mismo, dando como consecuencia una energía suficiente para abastecer parcialmente, en un inicio, la energía utilizada en la población.

La relación tras 30 días de retención en el biorreactor, sigue la siguiente relación: por 1 litro de sustrato se obtienen entre 24.65 y 24.71 ml de biogas/l.

En países como Colombia, Panamá y Dinamarca, se han logrado resultados mejorados, hasta unos 41.8 ml de biogas /l de sustrato.

Naturalmente, este trabajo es el comienzo de una línea de investigación con mucho futuro como fuente de energía alternativa renovable.

## Anexo 11. Informe de Ensayo N° IE-19-4917



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA  
CON EL REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

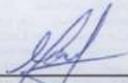
### INFORME DE ENSAYO N°: IE-19-4917

#### I.- DATOS DEL SERVICIO

|                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1.-RAZON SOCIAL                | : ORBEGOSO HORNA YURI JOSE |
| 2.-DIRECCIÓN                   | : NO INDICA                |
| 3.-PROYECTO                    | : ANALISIS DE MUESTRA      |
| 4.-PROCEDENCIA                 | : NO INDICA                |
| 5.-SOLICITANTE                 | : ORBEGOSO HORNA YURI JOSE |
| 6.-ORDEN DE SERVICIO N°        | : OS-19-1638               |
| 7.-PLAN DE MONITOREO           | : NO APLICA                |
| 8.-MUESTREO POR                | : EL CLIENTE               |
| 9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME | : 2019-08-15               |

#### II.-DATOS DE ITEMS DE ENSAYO

|                                  |                            |
|----------------------------------|----------------------------|
| 1.-MATRIZ                        | : AGUA                     |
| 2.-NÚMERO DE MUESTRAS            | : 1                        |
| 3.-FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA | : 2019-08-07               |
| 4.-PERÍODO DE ENSAYO             | : 2019-08-07 al 2019-08-15 |

  
José Luis Chipana Chipana  
Químico  
Director Técnico  
CQP 1104

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. ventas@alab.com.pe  
[www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)

Página 1 de 3

## Anexo 12. Informe de Ensayo N° IE-19-4917



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA  
CON EL REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-19-4917

### III.-METODOS Y REFERENCIAS

| TIPO DE ENSAYO                | NORMA DE REFERENCIA   | TÍTULO  |
|-------------------------------|---|---|
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B,<br>23 rd Ed. 2017  | Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test               |
| Demanda Química de Oxígeno    | ALAB-LAB-26 basado en SMEWW-APHA-<br>AWWA-WEF Part 5220 A.2; D, 23 rd Ed<br>(Validado) 2018 | Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux,<br>Colorimetric Method |
| Sólidos Suspendidos Totales   | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D,<br>23 rd Ed. 2017  | Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C             |

\*ASTM\*: American Society for Testing Materials

\*EPA\*: U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

\*SMEWW\*: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

\*NIOSH\*: National Institute of Occupational Safety and Health

## Anexo 13. Informe de Ensayo N° IE-19-4917



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA  
CON EL REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-19-4917

### IV. RESULTADOS

| ITEM                          |        |       | 1          |
|-------------------------------|--------|-------|------------|
| CÓDIGO DE LABORATORIO:        |        |       | M-13145    |
| CÓDIGO DEL CLIENTE:           |        |       | P-01       |
| COORDENADAS:                  |        |       | E: 0212659 |
| UTM WGS 84:                   |        |       | N: 8772900 |
| MATRIZ:                       |        |       | AGUA       |
| INSTRUCTIVO DE MUESTREO:      |        |       | NO APLICA  |
| FECHA:                        |        |       | 2019-08-07 |
| HORA:                         |        |       | 8:00       |
| INICIO DE MUESTREO            |        |       |            |
| ENSAYO                        | UNIDAD | L.C.M | RESULTADOS |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L   | 2.0   | <2.0       |
| Demanda Química de Oxígeno    | mg/L   | 10    | <10        |
| Sólidos Suspendidos Totales   | mg/L   | 5     | <5         |

L.C.M.: Límite de cuantificación de método

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

"FIN DE DOCUMENTO"

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao

Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588

Email. [ventas@alab.com.pe](mailto:ventas@alab.com.pe)

[www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)

Página 3 de 3