

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**EFFECTO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN UN REACTOR DE  
BIODISCOS A ESCALA DE LABORATORIO, EN LA DEPURACIÓN DE  
EFLUENTES DEL MATADERO MUNICIPAL DE TINGO MARÍA – HUÁNUCO**

## **Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**EDUARDO JUNIOR CÉLIZ MOLINA**

**Tingo María - Perú**

**2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
Tingo María – Perú



**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 05 de Setiembre de 2019, a horas 8:30 a.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias Ambientales, para calificar la Tesis titulada:

### **EFFECTO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAÚLICA EN UN REACTOR DE BIODISCOS A ESCALA DE LABORATORIO, EN LA DEPURACIÓN DE EFLUENTES DEL MATADERO MUNICIPAL DE TINGO MARÍA - HUÁNUCO**

Presentado por el Bachiller, **CELIZ MOLINA, EDUARDO JUNIOR**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara APROBADA con el calificativo de **"MUY BUENO"**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO AMBIENTAL**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 17 de Setiembre de 2019

Ing. MSc. **VICTOR M. BETETA ALVARADO**  
**PRESIDENTE**

Ing. MSc. **SANDRA ZAVALA GUERRERO**  
**MIEMBRO**

Blgo. **CESAR AUGUSTO GOZME SULCA**  
**MIEMBRO**

Ing. MSc. **JOSE LUIS PAREDES SALAZAR**  
**ASESOR**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**EFFECTO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN UN REACTOR DE  
BIODISCOS A ESCALA DE LABORATORIO, EN LA DEPURACIÓN DE  
EFLUENTES DEL MATADERO MUNICIPAL DE TINGO MARÍA – HUÁNUCO**

|                                      |                                                                                                   |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Autor</b>                         | : Br. EDUARDO JUNIOR CÉLIZ MOLINA                                                                 |
| <b>Asesor de Tesis</b>               | : Ing. Msc. JOSÉ LUIS PAREDES SALAZAR                                                             |
| <b>Línea de Investigación</b>        | : Ciencia y Tecnologías Ambientales.                                                              |
| <b>Programa de Investigación</b>     | : Tratamiento de aguas.                                                                           |
| <b>Eje Temático de Investigación</b> | : Tratamientos secundarios                                                                        |
| <b>Lugar de Ejecución</b>            | : Laboratorio de Calidad de Aguas y<br>Laboratorio de Microbiología General de la<br>UNAS.        |
| <b>Duración</b>                      | : <b>Fecha de Inicio</b> : 10 de Enero del 2017<br><b>Fecha de Término</b> : 15 de Julio del 2017 |
| <b>Financiamiento</b>                | :<br><b>FEDU</b> : S/. 0.00<br><b>Propio</b> : S/. 6,500.00<br><b>Otro</b> : S/. 0.00             |

## **DEDICATORIA**

A mi madre Sonia del Carmen Molina Panchana, por ser una mujer luchadora y valiente que nunca me dejó caer, y siempre quiso que sea una mejor persona, en ella mi mayor motivación para seguir superándome día a día.

A mis hermanos Silvia, Jenny y Miguel por su amor y cariño que me brindan, a pesar de la distancia siempre siento estar cerca de ellos.

A mi padre Eduardo Céliz Escalante y a mi abuela Otilia Panchana Lozano, que en paz descansen, ésta tesis en su memoria. Los extraño.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por su inmenso amor, por darme la vida y por regalarme cada día salud, fuerzas renovadas, orientación y sabiduría para lograr aquello que tanto anhelo.

A mis padres y hermanos por su apoyo, esfuerzo, paciencia, comprensión y sobre todo por su amor y lucha diaria por hacer de mí una gran persona.

A mis tíos y en especial a mi tía Ross Mery Huertas Panchana por su apoyo incondicional en mi época universitaria, también a mi tío Miguel Escalante (QEPD) y a su familia por el apoyo y cobijo que me dieron en mi etapa post universitaria. Así como también a la señora Rosalinda y su hija Yasmin B.P., por todo el apoyo que me han brindado en momentos difíciles.

A mi padrino Paul Charlton Flores Mayma, por todo el apoyo brindado para obtener el título profesional.

A el Ing. Msc. José Luis Paredes Salazar, por el apoyo y por su predisposición de tiempo en la realización y producción de ésta tesis.

A mis amigos y compañeros de estudios: Jans, Elvis, Kevin, Yayir, Marlon, Davis y todos aquellos que me brindaron su tiempo, apoyo y conocimiento para el logro de esta tesis; pero sobre todo por su amistad y confianza.

A los alumnos del curso: Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas 2016 – II de Ingeniería Ambiental; en especial a Luis, Smith, Oscar, Patricia y Angie; por sus recomendaciones para mejorar la investigación.

## ÍNDICE

|                                                        | Página   |
|--------------------------------------------------------|----------|
| <b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>                            | <b>1</b> |
| 1.1. Objetivo general .....                            | 2        |
| 1.2. Objetivos específicos .....                       | 2        |
| <b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>                 | <b>3</b> |
| 2.1. Aguas residuales.....                             | 3        |
| 2.2. Aguas residuales industriales .....               | 3        |
| 2.3. Constituyentes del agua residual.....             | 4        |
| 2.4. Proceso de faenado de animales de abasto.....     | 4        |
| 2.4.1. Recepción y descanso .....                      | 4        |
| 2.4.2. Inspección ate-mortem.....                      | 5        |
| 2.4.3. Bañado .....                                    | 5        |
| 2.4.4. Aturdimiento .....                              | 5        |
| 2.4.5. Sacrificio .....                                | 5        |
| 2.4.6. Desollado .....                                 | 5        |
| 2.4.7. Remoción de cabeza .....                        | 6        |
| 2.4.8. Eviscerado .....                                | 6        |
| 2.4.9. Escaldado, depilado y chamuscado (cerdos) ..... | 6        |
| 2.4.10. Inspección post-mortem .....                   | 6        |
| 2.5. Tratamientos biológicos.....                      | 6        |
| 2.6. Biodiscos.....                                    | 7        |
| 2.6.1. Historia.....                                   | 7        |
| 2.6.2. Principio de funcionamiento .....               | 8        |

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.6.3. Ventajas .....                                           | 10        |
| 2.6.4. Desventajas .....                                        | 11        |
| 2.6.5. Componentes del sistema de biodiscos .....               | 11        |
| 2.6.6. Factores que influyen en la operación de biodiscos. .... | 16        |
| 2.6.7. Biomasa .....                                            | 22        |
| 2.7. Procesos bioquímicos .....                                 | 22        |
| 2.7.1. Comunidades microbiológicas.....                         | 23        |
| 2.7.2. Biopelícula .....                                        | 23        |
| 2.8. Materia orgánica carbonosa .....                           | 24        |
| 2.8.1. Medición de la materia orgánica carbonosa .....          | 24        |
| 2.9. Sólidos suspendidos totales (SST).....                     | 26        |
| 2.10. Nutrientes (nitrógeno – fósforo) .....                    | 27        |
| 2.10.1. Medición de nutrientes .....                            | 28        |
| 2.11. Remoción total de carga orgánica .....                    | 33        |
| <b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>                           | <b>34</b> |
| 3.1. Ubicación.....                                             | 34        |
| 3.2. Materiales y equipos.....                                  | 34        |
| 3.2.1. Materiales.....                                          | 34        |
| 3.2.2. Equipos .....                                            | 35        |
| 3.3. Metodología.....                                           | 35        |
| 3.3.1. Especificaciones técnicas establecidas previamente.....  | 35        |
| 3.3.2. Construcción y montaje del reactor de biodiscos .....    | 37        |
| 3.3.3. Determinación de parámetros fisicoquímicos .....         | 38        |
| 3.4. Diseño de Investigación.....                               | 44        |

|                                                                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5. Análisis estadístico .....                                                                                                                           | 45        |
| 3.5.1. Análisis de Varianza (ANOVA) .....                                                                                                                 | 45        |
| 3.5.2. Prueba de Tukey .....                                                                                                                              | 46        |
| <b>IV. RESULTADOS.....</b>                                                                                                                                | <b>47</b> |
| 4.1. Implementar un reactor de biodiscos multietapas para el tratamiento<br>de los efluentes del matadero de Tingo María, a nivel laboratorio. ....       | 47        |
| 4.1.1. Parámetros de diseño .....                                                                                                                         | 48        |
| 4.2. Determinación de las variaciones del pH, oxígeno disuelto y<br>temperatura en el reactor de biodiscos, por etapas y a diferentes TRH<br>.....        | 50        |
| 4.2.1. Variación del pH .....                                                                                                                             | 50        |
| 4.2.2. Variación de la Temperatura .....                                                                                                                  | 51        |
| 4.2.3. Variación del oxígeno disuelto .....                                                                                                               | 52        |
| 4.3. Determinación de la concentración de DQO, DBO <sub>5</sub> , SST, Nitratos y<br>Fosfatos del afluente y efluente del reactor, a diferentes TRH ..... | 53        |
| 4.4. -Determinación la tasa de remoción de los diferentes parámetros<br>fisicoquímicos controlados. ....                                                  | 55        |
| 4.4.1. ANOVA para la eficiencia de remoción.....                                                                                                          | 57        |
| <b>V. DISCUSIÓN .....</b>                                                                                                                                 | <b>62</b> |
| <b>VI. CONCLUSIÓN .....</b>                                                                                                                               | <b>68</b> |
| <b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>                                                                                                                         | <b>69</b> |
| <b>VIII. ABSTRACT.....</b>                                                                                                                                | <b>70</b> |
| <b>IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                                                                                               | <b>72</b> |
| <b>X. ANEXOS .....</b>                                                                                                                                    | <b>77</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro                                                                                                           | Página |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. Caudal determinado para los diferentes TRH. ....                                                              | 49     |
| 2. Variación del pH en los diferentes TRH. ....                                                                  | 50     |
| 3. Variación de la Temperatura (°C) en los diferentes TRH. ....                                                  | 51     |
| 4. Variación del Oxígeno Disuelto (OD) en los diferentes TRH. ....                                               | 52     |
| 5. Determinación de la concentración de los parámetros fisicoquímicos, a la<br>entrada y salida del reactor..... | 54     |
| 6. Eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos.....                                                  | 55     |
| 7. Eficiencia de remoción total para cada TRH. ....                                                              | 56     |
| 8. ANOVA para la eficiencia de remoción de la DQO.....                                                           | 57     |
| 9. Prueba Tukey para la DQO por efecto del TRH. ....                                                             | 57     |
| 10. ANOVA para la eficiencia de remoción de la DBO <sub>5</sub> .....                                            | 58     |
| 11. Prueba Tukey para la DBO <sub>5</sub> por efecto del TRH. ....                                               | 58     |
| 12. ANOVA para la eficiencia de remoción de los SST.....                                                         | 59     |
| 13. Prueba Tukey para los SST por efecto del TRH.....                                                            | 59     |
| 14. ANOVA para la eficiencia de remoción de nitratos.....                                                        | 60     |
| 15. ANOVA para la eficiencia de remoción de fosfatos. ....                                                       | 60     |
| 16. Prueba Tukey para fosfatos por efecto del TRH.....                                                           | 61     |
| 17. Compendio de diferentes estudios con remociones de contaminantes. ....                                       | 78     |
| 18. Especificaciones técnicas del diseño del reactor de biodiscos .....                                          | 80     |

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 19. Determinación de los valores de pH, en cada etapa, para los TRH de 2, 4 y 8 horas, con sus repeticiones. ....                               | 84 |
| 20. Determinación de los valores de temperatura ( $T^{\circ}$ ), en cada etapa, para los TRH de 2, 4 y 8 horas, con sus repeticiones. ....      | 85 |
| 21. Determinación de los valores de oxígeno disuelto (OD), en cada etapa, para los TRH de 2, 4 y 8 horas, con sus repeticiones. ....            | 85 |
| 22. Determinación de la concentración de DQO, a la entrada y salida del reactor, para los TRH de 2, 4 y 8 horas con sus repeticiones. ....      | 86 |
| 23. Determinación de la concentración de $DBO_5$ , a la entrada y salida del reactor, para los TRH de 2, 4 y 8 horas con sus repeticiones. .... | 87 |
| 24. Determinación de la concentración de SST, a la entrada y salida del reactor, para los TRH de 2, 4 y 8 horas con sus repeticiones. ....      | 87 |
| 25. Determinación de la concentración de nitratos, a la entrada y salida del reactor, para los TRH de 2, 4 y 8 horas con sus repeticiones. .... | 88 |
| 26. Determinación de la concentración de fosfatos, a la entrada y salida del reactor, para los TRH de 2, 4 y 8 horas con sus repeticiones. .... | 88 |
| 27. Simbología de unidades utilizadas .....                                                                                                     | 96 |
| 28. Simbología de abreviaciones utilizadas .....                                                                                                | 97 |
| 29. Simbología de variables utilizadas .....                                                                                                    | 97 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura                                                                                            | Página |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. Intercambio de aire y agua residual. ....                                                      | 9      |
| 2. Esquema de un reactor de biodiscos. ....                                                       | 12     |
| 3. Material de soporte de diferentes reactores de biodiscos.....                                  | 13     |
| 4. Mecanismos de transmisión por motor.....                                                       | 14     |
| 5. Mecanismos de transmisión por inyección directa de aire.....                                   | 15     |
| 6. Curva del DBO en 5 y 20 días.....                                                              | 26     |
| 7 . Tanque alimentador – Reactor de biodiscos .....                                               | 47     |
| 8. Medios de transmisión: motorreductor, poleas y correa. ....                                    | 48     |
| 9. Variación del pH, por cada TRH.....                                                            | 50     |
| 10. Variación de la Temperatura (°C) por cada TRH.....                                            | 51     |
| 11. Variación del OD (mg/L) por cada TRH.....                                                     | 52     |
| 12. Puntos de toma de muestras de los parámetros fisicoquímicos del reactor de<br>biodiscos. .... | 53     |
| 13. Porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos. ....                                | 55     |
| 14. Eficiencia de remoción total para cada TRH. ....                                              | 56     |
| 15. Variación del pH con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 2<br>horas. ....     | 89     |
| 16. Variación del pH con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 4<br>horas. ....     | 90     |

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 17. Variación del pH con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 8 horas .....            | 90  |
| 18. Variación de la temperatura con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 2 horas ..... | 91  |
| 19. Variación de la temperatura con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 4 horas. .... | 91  |
| 20. Variación de la temperatura con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 8 horas. .... | 92  |
| 21. Variación del OD con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 2 horas. ....            | 92  |
| 22. Variación del OD con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 4 horas. ....            | 93  |
| 23. Variación del OD con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 8 horas. ....            | 93  |
| 24. Recolección de efluentes del matadero de Tingo María.....                                         | 99  |
| 25. Tamizado del agua a tratar mediante mallas.....                                                   | 99  |
| 26. Almacenamiento del agua a tratar.....                                                             | 100 |
| 27. Reactor de Biodiscos con el agua a tratar.....                                                    | 100 |
| 28. Formación de flocks en cada etapa.....                                                            | 101 |
| 29. Formación de biopelícula en la superficie de los discos. ....                                     | 101 |
| 30. Análisis de nitratos y fosfatos. ....                                                             | 102 |
| 31. Observación de las muestras de nitratos y fosfatos. ....                                          | 102 |
| 32. Determinación de sólidos suspendidos totales.....                                                 | 103 |
| 33. Filtración de la muestra para la determinación de SST. ....                                       | 103 |

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| 34. Reactor Biodiscos a los 7 días de aclimatación.....  | 104 |
| 35. Separadores de discos. ....                          | 104 |
| 36. Discos de poliestireno de diseño arabesco. ....      | 105 |
| 37. Varilla de acero inoxidable de $\frac{3}{4}$ ". .... | 105 |
| 38. Chumaceras de $\frac{3}{4}$ ". ....                  | 106 |
| 39. Polea de aluminio de 10" de diámetro. ....           | 106 |
| 40. Tanque con etapas. ....                              | 107 |
| 41. Soporte del reactor. ....                            | 107 |

## RESUMEN

En la ciudad de Tingo María los efluentes líquidos provenientes de descargas urbanas e industriales presentan una alta carga orgánica, en tal sentido el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo, evaluar el efecto del tiempo de retención hidráulico (TRH) del reactor de biodiscos a escala de laboratorio para la depuración de los efluentes del matadero municipal de Tingo María; analizando la remoción de los parámetros fisicoquímicos como: la demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), sólidos suspendidos totales (SST), nitratos y fosfatos, bajo las variables de funcionamiento como la temperatura (T), potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (OD), evaluados a 3 TRH diferentes. Se construyó un reactor de biodiscos a escala laboratorio con 48 discos de poliestireno puestos sobre un eje de acero inoxidable divididos en 4 etapas, girando a una velocidad de 0.18 m/s, la parte experimental se desarrolló en el laboratorio de calidad de aguas, el análisis de parámetros fisicoquímicos se realizó en el laboratorio de microbiología general de la Universidad Nacional Agraria de la Selva de Tingo María. La eficiencia en remoción total para los parámetros fisicoquímicos como DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, nitratos y fosfatos fue para un TRH de 2 horas de 65.90%, para 4 horas de 73.01% y para 8 horas de 80.18%, bajo la influencia de la temperatura (T), pH y oxígeno disuelto (OD) que fueron medidos *in situ* en cada etapa del reactor.

**Palabras claves:** Biodiscos, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales, Nitratos, Fosfatos.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Los efluentes líquidos provenientes de descargas urbanas e industriales que presentan una alta carga orgánica medida a través de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) o Demanda Química de Oxígeno (DQO) deben ser tratados para permitir su vuelco a los cuerpos de agua superficial. Uno de los procedimientos para el tratamiento de este tipo de efluentes es el de los biodiscos o discos rotatorios. En estos sistemas se emplean cultivos biológicos para la degradación aeróbica del efluente (oxidación de la materia orgánica), a través de una película de microorganismos adosada a la superficie de los discos. Las aguas residuales del Matadero Municipal de Tingo María, constituyen uno de los problemas ambientales principales de la ciudad, porque son vertidos sin ningún tipo de tratamiento al río Huallaga, acarreando consecuencias negativas como riesgo de enfermedades y la disminución de la capacidad de autodepuración del agua debido a su alto valor en contenido de carga orgánica e inorgánica; esto ha motivado a investigar el tratamiento biológico con el reactor de biodiscos y aplicarla para el tratamiento de las aguas residuales del Matadero Municipal de Tingo María con la finalidad de reducir la carga de contaminantes. De manera general un sistema de biodiscos consiste en una serie de discos de superficie rugosa paralelos entre sí y unidos a un eje horizontal que pasa por sus centros (PEREZ, 2010). Es de hacer notar que en estos sistemas la biomasa se presenta en dos tipos de crecimiento: en

suspensión (tipo lodos activados) y asistido (en película fija) (RAMALHO, 1993), sin embargo el primero de ellos es despreciable frente al otro. Estos sistemas no necesitan recirculación de lodos y al final de la última etapa se coloca un sedimentador secundario para la clarificación del efluente.

De esta forma se plantea la interrogante: ¿Cuál es el efecto del tiempo de retención hidráulica de un reactor de biodiscos en la depuración de los efluentes del matadero municipal de Tingo María? Teniendo como hipótesis que el tiempo de retención hidráulica (TRH) de un reactor de biodiscos influye principalmente en la remoción de carga orgánica de los efluentes del matadero municipal de Tingo María.

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto del tiempo de retención hidráulica de un reactor de biodiscos a escala laboratorio, en la depuración de efluentes del matadero municipal de Tingo María - Huánuco.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Construir un reactor de biodiscos multietapas para el tratamiento de los efluentes del matadero de Tingo María, a escala laboratorio.
- Determinar las variaciones del pH, oxígeno disuelto y temperatura en el reactor de biodiscos, por etapas y a diferentes TRH.
- Determinar la concentración de DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, Nitratos y Fosfatos del afluente y efluente del reactor, a diferentes TRH.
- Determinar la tasa de remoción de los diferentes parámetros fisicoquímicos controlados.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Aguas residuales**

El agua residual o servida como "una combinación de los líquidos y residuos arrastrados por el agua proveniente de casas, edificios comerciales, fábricas e instituciones combinada con cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que pueda estar presente. (GARCÍA, 2012).

### **2.2. Aguas residuales industriales**

Los efluentes industriales deben su diversidad a los procesos de los que proceden, y, en función de ellos, pueden tener una composición más o menos constante, o estar sujeta a variaciones cualitativas y/o cuantitativas considerables, según los horarios de funcionamiento de las industrias, la demanda del mercado o la posible influencia estacional en la producción. Los componentes de dichos vertidos se pueden clasificar, según los métodos de tratamiento, en:

- Elementos insolubles separables físicamente:

- Materias grasas flotantes: grasas, hidrocarburos, alquitranes, aceites. Estas sustancias provocan olor y sabor desagradables, ensucian las instalaciones de tratamiento, y pueden producir la

muerte de peces por asfixia, al recubrir las branquias, y de gran variedad de algas e insectos acuáticos.

- Materias sólidas en suspensión: arenas, óxidos, hidróxidos, pigmentos, azufre coloidal, látex, fibras, etc. Pueden requerir coagulación-floculación para ser eliminadas.

- Elementos que se eliminan mediante tratamiento biológico: azúcares, proteínas y fenoles. Los tratamientos biológicos pueden aplicarse también, después de una fase de adaptación de los microorganismos, a compuestos orgánicos tales como el fenol, la anilina y ciertos detergentes.

### **2.3. Constituyentes del agua residual**

Un agua residual industrial con independencia del posible contenido de sustancias similares a los vertidos de origen doméstico, pueden aparecer elementos propios de cada actividad industrial, entre los que puede citarse: tóxicos, iones metálicos, productos químicos, hidrocarburos, detergentes, pesticidas, productos radioactivos, etc. (HERNÁNDEZ *et al.*, 1996).

### **2.4. Proceso de faenado de animales de abasto**

#### **2.4.1. Recepción y descanso**

Luego del arribo de los animales al matadero, estos pasan a los corrales de descanso por lo menos 12 horas de antelación a su sacrificio (SIGNORINI *et al.*, 2006).

#### **2.4.2. Inspección ate-mortem**

La verificación sanitaria previa al sacrificio asegura que en la producción de carne para consumo humano sólo se acepten animales aparente o clínicamente sanos (SIGNORINI *et al.*, 2006).

#### **2.4.3. Bañado**

La importancia sanitaria del bañado de los animales antes del sacrificio radica, principalmente, en la eliminación o reacción de la suciedad presente en el cuero de los mismos (restos de excremento, orina, alimento, secreciones, ectoparásitos, etc.) que evita que, al momento del sacrificio, haya una contaminación excesiva tanto de las instalaciones como de los canales o de la sangre para consumo humano o industrial (SIGNORINI *et al.*, 2006).

#### **2.4.4. Aturdimiento**

Lugar donde se insensibiliza a los animales para permitir un adecuado beneficio (SIGNORINI *et al.*, 2006).

#### **2.4.5. Sacrificio**

Tras aturdir al animal se procede al sacrificio mediante un corte contundente (SIGNORINI *et al.*, 2006).

#### **2.4.6. Desollado**

En esta etapa se separan las patas y se procede al desollado, retirar la piel o cuero de las carcasas (SIGNORINI *et al.*, 2006).

#### **2.4.7. Remoción de cabeza**

Se remueven las cabezas de los ganados; en los cerdos, la cabeza no debe ser removida hasta que la canal haya sido verificada para la detección de cisticercos. La cabeza debe ser limpiada y lavada para su verificación (SIGNORINI *et al.*, 2006).

#### **2.4.8. Eviscerado**

Consiste en la higienización de las vísceras. La evisceración se realiza inmediatamente después del desollado (SIGNORINI *et al.*, 2006).

#### **2.4.9. Escaldado, depilado y chamuscado (cerdos)**

Con el objetivo es ablandar la piel para facilitar el depilado, los animales son introducidos 5 minutos aproximadamente en un tanque de escaldado con agua, a una temperatura de 60 °C.

En los mataderos municipales el agua para el escaldado se encuentra siempre en ebullición (SIGNORINI *et al.*, 2006).

#### **2.4.10. Inspección post-mortem**

La inspección de carnes es integral, abarcando todos los aspectos higiénico-sanitario de los productos cárnicos y sus derivados, desde la producción hasta su comercialización (SIGNORINI *et al.*, 2006).

### **2.5. Tratamientos biológicos.**

Consiste en la depuración del agua a tratar mediante degradación biológica, la cual se lleva a cabo por poblaciones microbiológicas. Estos

tratamientos se pueden dividir por las condiciones presentes en el medio (aerobio y anaerobio) y dependiendo del tipo de crecimiento de los microorganismos (biomasa suspendida o biomasa adherida).

## **2.6. Biodiscos**

Los biodiscos o contactores biológicos rotatorios (RBC por sus siglas en inglés) son sistemas aerobios de biomasa adherida desarrollados a inicios del siglo XX para el tratamiento biológico del agua residual doméstica; sin embargo, su comercialización, investigación e instalación se presentó en 1970 en Alemania y Estados Unidos y se ha convertido en una buena opción para el tratamiento de aguas residuales domésticas de pequeñas comunidades (DROPPELMANN, 2001). Su configuración consiste básicamente en una serie de discos montados sobre un eje horizontal rotatorio y sumergidos parcialmente en un tanque por donde fluye el agua residual (PATWARDHAN, 2003).

Es un sistema de tratamiento biológico aerobio secundario de lecho de medio fijo de origen alemán, donde la biomasa se fija de manera adherida a unos discos parcialmente sumergidos ( $< 90\%$ ) en el agua residual a tratar, discos contruidos generalmente de polietileno de alta densidad, colocados en serie, espaciados entre si y unidos a un eje central posicionado de manera perpendicular o paralela al flujo y girando muy lentamente ( $<10$  rpm) con una área inmersa donde crece la biopelícula (OROZCO y SALAZAR,1987).

### **2.6.1. Historia**

Este sistema no es una tecnología nueva. Su concepto y principio de funcionamiento ha sido utilizada desde principios del Siglo XX el cual es descrito

en la investigación de CASTILLO y VIVAS (1996). Originalmente fue concebido en Alemania en 1900, el cual se describe como un cilindro constituido por tablas de madera y posteriormente en 1930 se construyeron unidades industriales.

Luego en 1965 se utilizó un sistema de discos para la transferencia de oxígeno dentro de un proceso de aireación. Posteriormente se hicieron estudios con biomasa adherida y sin recirculación lo que confirmaron buenos resultados. A este proceso lo denominaron “Rotating Biological Contactor (RBC)”. Después se desarrolló un nuevo material para los discos construidos con hojas corrugadas de polietileno. (CASTILLO y VIVAS, 1996).

### **2.6.2. Principio de funcionamiento**

La secuencia del proceso biológico en el sistema de biodiscos inicia con dos etapas definidas como adherencia y adsorción; en la primera los microorganismos presentes en el agua residual comienzan a adherirse al disco formando la película biológica y en la segunda, el agua residual pasa a través del biodisco, arrastrando los sólidos coloidales y solubles, mediante enlaces físicos y químicos, proporcionando la materia orgánica que será utilizada como alimento por parte de los microorganismos (ÁVILA y RAMÍREZ, 1989).

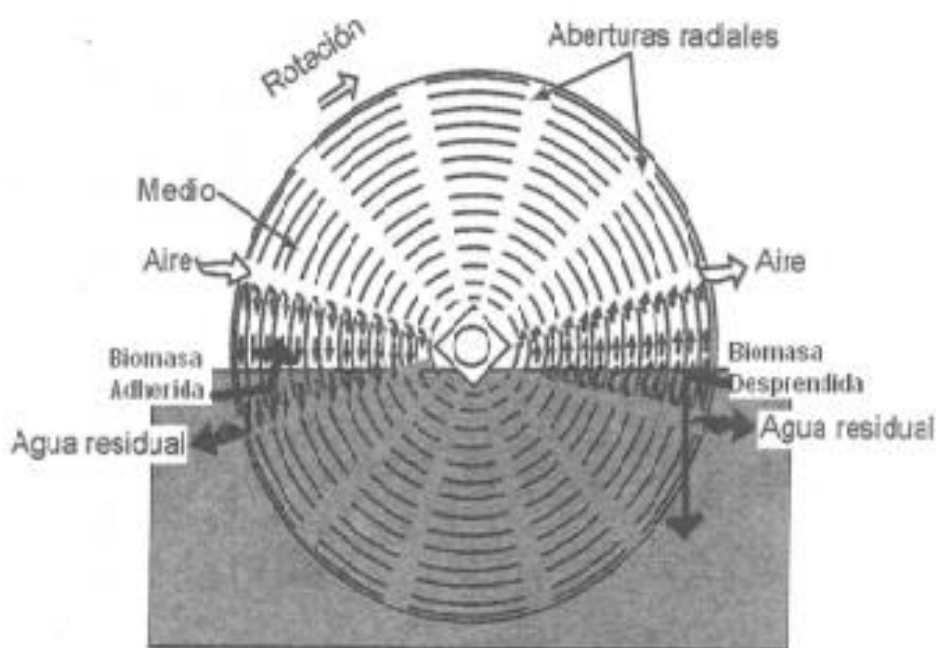
Al girar los discos, la película biológica adherida a ellos entra en contacto alternadamente con el agua residual que está en el tanque y con el oxígeno atmosférico, mecanismo que también favorece la oxigenación del sistema por difusión a través de la película líquida que ha sido incorporada a la biomasa debido al arrastre (CASTILLO y VIVAS, 1996), dando lugar a tres

etapas adicionales que integran la secuencia del proceso y que involucran la biodegradación aerobia de la materia orgánica, entre otros aspectos:

1) Transformación biológica y oxidación, donde los microorganismos mediante la respiración metabolizan las estructuras orgánicas que han sido adsorbidas en la etapa de adsorción.

2) Disolución de los productos de oxidación, en la cual los desechos producidos por acción de la oxidación, son disueltos en la capa líquida que rodea la película biológica, de la cual se desprenden compuestos amoniacales, anhídrido carbónico y agua.

3) Descomposición de compuestos amoniacales, desarrollada por la acción de los microorganismos nitrificantes en las etapas finales del sistema, donde la carga orgánica ha sido eliminada considerablemente.



Fuente: ROMERO ROJAS, 2008

Figura 1. Intercambio de aire y agua residual.

### 2.6.3. Ventajas

Como ventajas obtenidas en la implementación de este sistema aerobio se listan:

- Alta remoción de compuestos orgánicos carbonáceos y Nitrógeno amoniacal (ÁLVAREZ y SUÁREZ, 2006).
- Alta sedimentabilidad de lodos. (BORZACCONI *et al.*, 1996; ÁLVAREZ y SUÁREZ, 2006).
- Resistencia a las variaciones de pH sin deteriorar su operación (BORZACCONI *et al.*, 1996).
- Eficiencia en metales pesados, donde se ha demostrado que puede darse remociones significativas de Cadmio, Cobre y Zinc (COSTLEY y WALLIS, 2000).
- Mínimo nivel de ruido (WELTER *et al.*, 2004).
- Bajo consumo de energía frente a otros sistemas aerobios.
- Poca área de terreno requerida debido al corto tiempo de retención hidráulica.
- Resistencia frente a variaciones de cargas hidráulicas y orgánicas.
- Construcción modular.
- Generalmente no hay recirculación de efluentes ni lodos.
- Simplicidad en su operación, por lo tanto su mantenimiento es mínimo. (ROMERO, 2008).

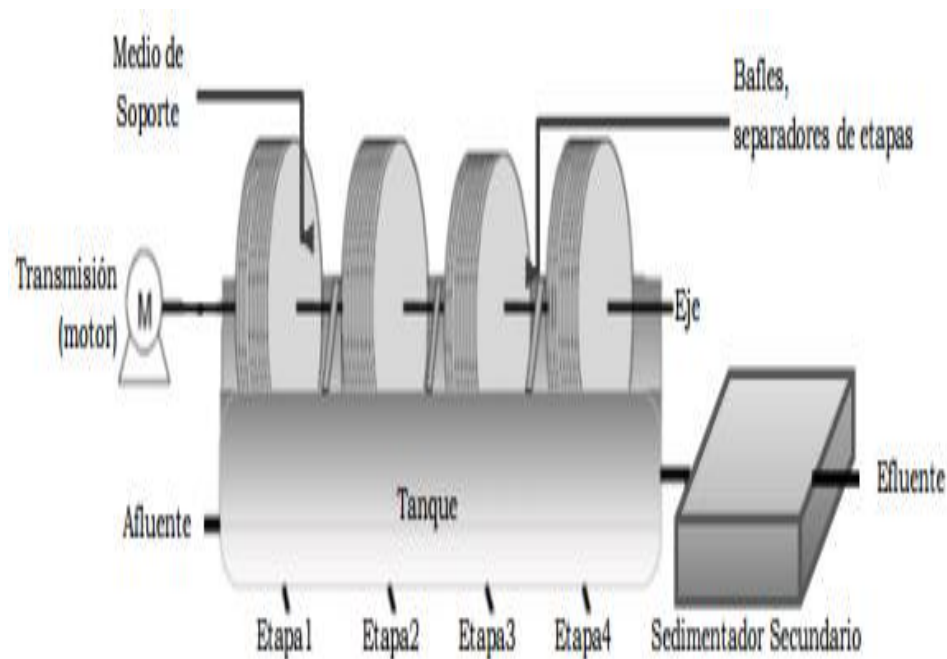
#### **2.6.4. Desventajas**

Las desventajas de este proceso biológico son las siguientes:

- Fallas en los discos, ejes y motores (Daños mecánicos).
- Fugas de lubricantes.
- Criterios de diseño muy disímiles (ROMERO, 2008).
- Difícil fabricación del material de soporte – baja comercialización, lo que incrementa sus costos de inversión (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE COLOMBIA, 2002c).
- Costos se comportan de manera lineal con respecto al caudal. (viable en caudales relativamente bajos).
- Puede haber deterioro de los discos por exposición al calor, solventes orgánicos o radiación ultravioleta.
- Se puede tener olores si se presenta sobrecargas en la primera etapa del reactor (ALVES, 2007b).

#### **2.6.5. Componentes del sistema de biodiscos**

En esta parte se mencionarán los principales elementos que componen un sistema de Biodiscos con su respectiva finalidad o importancia dentro del proceso, de acuerdo con METCALF y EDDY (1996). Los principales componentes son los discos, el eje, la transmisión, el tanque, cerramientos y tanque de sedimentación, los cuales se esquematizan en la Figura 2.



Fuente: CASTILLO *et al.*, 2007

Figura 2. Esquema de un reactor de biodiscos.

#### 2.6.5.1. Ejes

Los ejes son los encargados de dar el soporte a los discos y por ende a su rotación la cual es elemental para la operación del reactor. El material de estos ejes debe ser fuerte para sostener el peso de los discos sumado al peso de la biomasa adherida al material de soporte. De igual manera, se debe tener en cuenta que el eje estará en contacto con el agua residual y por lo tanto debe ser resistente a la corrosión del líquido. Se sugiere no utilizar el acero inoxidable puesto que alcanza a ser corroído por las condiciones agresivas del medio (MBA *et al.*, 1999), sin embargo, se puede minimizar o prevenir la corrosión si se refuerza con pintura anticorrosiva o se recubre con algún material resistente como el plástico u otro polímero.

### 2.6.5.2. Medios se soportes (discos)

El disco es la superficie donde la población microbiológica se adhiere y se desarrolla para el funcionamiento del sistema de tratamiento. Al igual que los ejes, el material del disco debe ser resistente a la corrosión por los constituyentes del agua residual pero también se puede generar corrosión por los microorganismos adheridos a la superficie, los cuales pueden llevar a cabo un rápido deterioro de los discos (MBA *et al.*, 1999). El material del medio de soporte debe estar diseñado para: proveer máxima área superficial para el crecimiento de la biomasa y mayor contacto con el agua residual. Permitir el máximo drenaje del líquido sobre el área del disco durante la rotación (MBA, 2003). Un material de polímero con superficie corrugada cumple con todos los requerimientos anteriormente citados.



Fuente: MBA, 2003

Figura 3. Material de soporte de diferentes reactores de biodiscos.

### 2.6.5.3. Mecanismos de Transmisión

Generalmente el mecanismo utilizado para el giro de los discos es mediante la transmisión mecánica, el cual se utiliza un motor y un sistema de poleas o piñones para ajustar al giro deseado al eje y por ende a los discos (figura 3, izquierda). También es utilizado el empleo de aire para el giro del disco, esto se hace mediante la instalación de cangilones dispuestos en los extremos del material de soporte y un sistema de inyección aire en el fondo del tanque. El giro del disco se presenta cuando se inyecta aire al tanque y las burbujas son atrapadas por los cangilones, las cuales crean una fuerza tal que provocan el giro del disco (figura 3, derecha). Ambos sistemas han demostrado ser mecánicamente fiables (METCALF y EDDY, 1996).



Fuente: MBA, 2003.

Figura 4. Mecanismos de transmisión por motor.



Fuente: MBA, 2003.

Figura 5. Mecanismos de transmisión por inyección directa de aire.

#### **2.6.5.4. Tanque**

El tanque es el compartimiento donde está contenida el agua y donde se sumergen parcialmente los discos. Su volumen depende de la carga orgánica superficial y la carga hidráulica a aplicar. METCALF y EDDY (1996), establece que el volumen óptimo es  $0.0049 \text{ m}^3/\text{m}^2$  de medio.

#### **2.6.5.5. Tanque de sedimentación**

Aunque el tanque de sedimentación está separado físicamente del reactor de biodiscos, se tiene que considerar como parte íntegra del tratamiento secundario pues los procesos biológicos generan biomasa que debe ser retenida y por lo tanto el sedimentador secundario ejecuta esa actividad. Éste sería el último componente del tratamiento biológico y el efluente del sedimentador

puede ser descargado a un cuerpo hídrico o llevado a un tratamiento terciario dependiendo de la complejidad del sistema.

#### **2.6.6. Factores que influyen en la operación de biodiscos.**

El desempeño del reactor de Biodiscos depende de diferentes factores. De ellos los más importantes son: las características del agua residual, tiempo de retención hidráulica, carga orgánica e hidráulica, temperatura, pH, número de etapas, velocidad de rotación de los discos, las características de la biopelícula y el nivel de oxígeno disuelto, los cuales serán descritos a continuación de acuerdo con revisiones y estudios de varios autores (DIEZ y GÓMEZ, 1999; AL-AHMADY, 2005; CORTEZ *et al.*, 2008).

##### **2.6.6.1. Agua residual**

Es uno de los factores más importantes en la operación de los Biodiscos puesto que el contenido orgánico del agua residual es el sustrato para la comunidad microbiológica y por ende es necesario para mantener el buen desarrollo de la biopelícula. Otro aspecto a considerar son los constituyentes adicionales que pueden afectar la degradación de la materia orgánica tales como los metales pesados y otros componentes tóxicos, los cuales pueden inhibir la actividad microbiológica y por ende disminuir las eficiencias de remoción. De igual manera, la presencia de material suspendido en el agua residual puede ocupar espacio en el disco, reduciendo el flujo de contenido orgánico soluble a la biopelícula y por ende baja las tasas de biodegradación.

### **2.6.6.2. Tiempo de retención hidráulica (TRH)**

Según PEREZ (2010), hay estudios que comprueban que altos TRH mejoran la difusión del sustrato en la biopelícula y por ende aumenta la eficiencia de remoción, no obstante, debe tenerse en cuenta que TRH muy bajas se obtiene bajas remociones y TRH muy altas no será económicamente viable.

### **2.6.6.3. Carga hidráulica y orgánica**

La carga hidráulica corresponde al caudal aplicado por unidad de superficie, la cual se calcula así:

$$C. H = \frac{Q}{A}$$

Donde

C.H: Carga Hidráulica (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d)

Q: Caudal del afluente (m<sup>3</sup>/d)

A: Área de los discos (m<sup>2</sup>)

Anteriormente, el desempeño de los Biodiscos fue correlacionado con la carga hidráulica y fue utilizado como factor de diseño, no obstante, este parámetro no incluye las características del afluente (sustrato) y por lo tanto fue cambiado por la carga orgánica como parámetro de mayor confiabilidad. La carga orgánica corresponde al contenido orgánico aplicado en un tiempo por unidad de superficie. La carga orgánica puede expresarse como la total o soluble para diferentes parámetros como DBO, DQO o COT. Para el caso donde se diseña un reactor para eliminación de nitrógeno amoniacal, la carga puede ser expresada como el contenido de NH<sub>4</sub> +N o NTK en el afluente. La carga orgánica es calculada como se muestra en la Ecuación:

$$CO = \frac{C \times Q}{A}$$

Donde:

CO: Carga Orgánica (g DBO, DQO o COT/m<sup>2</sup>.d)

C: Concentración de carga orgánica del afluente (g/L)

Q: Caudal del afluente (L/d)

A: Área de los discos (m<sup>2</sup>)

Como se dijo anteriormente, las características del agua residual y la carga hidráulica son dos factores importantes en la operación del biodiscos, sin embargo, la utilización de la carga orgánica se hace conveniente debido a que combina el efecto de las dos anteriores.

La carga orgánica puede definirse de factores de diseño ya establecidos por varios autores, sin embargo, la forma más confiable de fijar la carga orgánica es mediante un estudio a escala piloto o laboratorio. Esto se lleva a cabo variando la carga orgánica (mediante dilución y/o aumento de caudal) y se determina su respectiva eficiencia de remoción (en DBO, DQO, COT, NH<sub>4</sub> +N o NTK). La carga óptima se alcanza en el rango donde se obtenga mayores eficiencias de remoción.

Operar el reactor biodiscos a baja carga orgánica puede perjudicar el buen desarrollo de la biopelícula al no haber suficiente sustrato para la biomasa. Además, diseñar el reactor con una carga orgánica baja es ineficiente económicamente pues se estaría operando un reactor con más área (discos) de la necesaria y por ende el costo de construcción sería mayor y se incurre a

mayores costos en su operación por un consumo más alto de energía para el giro de los discos. Cargas orgánicas muy altas pueden generar problemas por sobrecargas, las cuales pueden disminuir el nivel del oxígeno disuelto especialmente en la primera etapa y desarrollar condiciones anaerobias, generación de olores y excesivo crecimiento de microorganismos no deseados.

#### **2.6.6.4. Oxígeno disuelto (OD)**

Teniendo en cuenta que este sistema es de tipo aerobio, el oxígeno disuelto es primordial para el desarrollo de los procesos biológicos. La transferencia de oxígeno del aire al biodiscos puede darse por tres vías:

- Absorción de oxígeno en la película líquida sobre la superficie de la biopelícula cuando está expuesta a la atmósfera.
- Inyección directa de oxígeno en la interface aire – agua
- Absorción directa de oxígeno a los microorganismos durante la exposición al aire. (CORTEZ *et al.*, 2008).

El oxígeno disuelto es utilizado para la oxidación de la materia orgánica carbonosa y para la nitrificación. Para llevar a cabo las reacciones bioquímicas es necesario garantizar una cantidad de oxígeno suficiente para los procesos aerobios, los cuales se presenta con un oxígeno disuelto mayor a 0.5 mg/L (ROMERO, 2008).

#### **2.6.6.5. Temperatura**

PEREZ (2010), afirma que la temperatura influye en el desempeño del reactor debido a la afectación que puede ocurrir en los procesos biológicos.

Un incremento de temperatura puede aumentar la actividad microbiana y por ende aumenta la tasa de remoción de contaminantes. Cuando la temperatura está por debajo de 13° C los procesos de remoción de carbono y nitrógeno se ven muy afectados y por lo tanto se debe aplicar un factor de corrección de la superficie necesaria de discos para contrarrestar ese efecto. Aunque el aumento de temperatura contribuye a la actividad microbiológica, la temperatura no puede ser muy alta porque afecta la solubilidad del oxígeno disuelto en el agua y puede ser factor limitante para el proceso microbiológico.

#### **2.6.6.6. Potencial de Hidrógeno (pH)**

El pH es otro factor importante en el desempeño del reactor teniendo en cuenta que interviene en el desarrollo de las comunidades biológicas. La mayoría de las bacterias no toleran pH más bajos de 4.0 y superiores a 9.5. En general, el pH óptimo para el crecimiento bacteriano se sitúa entre 6.5 y 7.5 (METCALF y EDDY, 1996). Para garantizar un pH estable es necesario que se tenga contenido amortiguador (buffer) en el agua para que no perjudique la actividad microbiológica, por tal motivo se debe analizar dentro del reactor la alcalinidad pues muestra la capacidad de neutralizar ácidos en el agua.

#### **2.6.6.7. Etapas**

Las etapas consisten en subdivisiones que se le instalan al reactor mediante baffles o separando el volumen del reactor en diferentes tanques con el propósito de distribuir el material de soporte (discos). Conforme como el agua recorre el reactor, cada etapa recibe una carga orgánica menor a la etapa anterior debido a la depuración o tratamiento continuo. Esta situación promueve

el establecimiento de diferentes condiciones en cada etapa (carga orgánica, pH, oxígeno disuelto) y contribuyen al desarrollo de diferentes tipos de microorganismos (METCALF y EDDY, 1996).

Es recomendado dividir el reactor de biodiscos en etapas cuando se tiene altas cargas orgánicas y para maximizar la remoción de carbono y nitrógeno amoniacal. Además, un reactor construido mediante etapas mitiga los efectos de cargas choque que puedan ocurrir en su operación.

ANTONIE (1976) señala que, al experimentar con 2 unidades de biodiscos de igual área superficial total, una dividida en 2 etapas y la otra en 4, se obtuvo una remoción del 85% de DBO para la de más etapas mientras que la otra eliminó el 75%. Se sugiere que el reactor de biodiscos sea diseñado y operado con 3 etapas. Pero para la remoción conjunta de  $\text{DBO}_5$  y  $\text{NH}_4 + \text{N}$  se recomienda instalar 4 etapas como mínimo.

#### **2.6.6.8. Velocidad de rotación de los discos**

La velocidad de rotación es un parámetro importante debido a que la transferencia del oxígeno en el agua está en función del giro (DI PALMA y VERDONE, 2008), de igual manera la velocidad de rotación afecta la transferencia de nutrientes a la biopelícula y por ende afecta las tasas de remoción.

A mayor velocidad de giro se obtiene mayor oxigenación y mayores tasas de remoción, no obstante, la rotación del disco no puede exceder una velocidad lineal de 0.33 m/s porque el esfuerzo cortante del agua y la turbulencia

puede provocar el desprendimiento descontrolado de la biopelícula adherida al disco (CASTILLO y VIVAS, 1996), además aumenta los costos operativos al consumirse mayor energía de la necesaria.

#### **2.6.7. Biomasa**

La biomasa que se forma está conformada por bacterias filamentosas, protozoos, nematodos, rotíferos y anélidos y su predominio está relacionado con la carga orgánica y el oxígeno disuelto, considerado apropiado mantener en una concentración mínima de 2 mg/L en los reactores (ROMERO, 2000).

La población de microorganismos depende de la carga contaminante y de la clase y categoría de estos contaminantes. En los biodiscos, depende esta población también de la etapa que se considere, ya que en éstos se establece una selección biológica por niveles.

Puede decirse que los microorganismos responsables de la eliminación de los contaminantes biodegradables, presentes en las aguas residuales, y que se fijan a los elementos integrantes de biodiscos y biocilindros, son los filamentosos y las bacterias heterótrofas no filamentosas (ANTONIE, 1976).

### **2.7. Procesos bioquímicos**

Considerando que el biodiscos es un sistema biológico, es necesario explicar el funcionamiento y las características de los procesos bioquímicos que ocurren dentro del reactor, pues mediante esta vía se ejecuta la degradación de

los compuestos orgánicos y se hace control del sistema de tratamiento. Para ello, en esta sección se describirá inicialmente el rol que juega los microorganismos dentro del proceso aerobio, describiendo los grupos principales que intervienen en el tratamiento biológico. Se cataloga el reactor de Biodiscos como un sistema aerobio de crecimiento adherido y por lo tanto se hace necesario comprender el desarrollo y funcionamiento de la biopelícula.

### **2.7.1. Comunidades microbiológicas**

Los microorganismos pueden obtener energía de diferentes componentes. Los microorganismos que se encargan de remover el carbono, nitrógeno y fósforo del agua residual son llamados organismos quimiótrofos, es decir, organismos que obtienen energía a partir de reacciones químicas como la oxidación de compuestos orgánicos (organismos quimioheterótrofos) o inorgánicos (organismos quimioautótrofos) (METCALF y EDDY, 1996).

### **2.7.2. Biopelícula**

La biopelícula o biofilm se puede definir de acuerdo con el concepto de diferentes autores citados por WELTER *et al.*, (2004), como un ensamblado de microorganismos que está adosada a una superficie por medio de una matriz extracelular de polisacáridos fibrosos llamada Cápsula o Glicocálix. Las estructuras que forman estas microcolonias contienen canales por los que circulan los nutrientes. La distribución espacial de estos componentes principales dentro de la matriz de biofilm, así como sus propiedades (físicas, químicas y biológicas) influyen la actividad en el mismo y su relación con el ambiente acuoso inmediato. Además, el biofilm es muy dinámico cambiando su

composición y características en el tiempo, y constituye un modo de crecimiento protegido que permite la supervivencia de las bacterias en un medio hostil.

La biopelícula es el actor principal en el sistema de tratamiento, pues los microorganismos adheridos al soporte toman oxígeno de la atmósfera para la respiración y luego se encargan de la estabilización de la materia orgánica cuando la biopelícula se sumerge.

## **2.8. Materia orgánica carbonosa**

Generalmente, el principal objetivo de los tratamientos biológicos es la remoción de compuestos orgánicos que se lleva a cabo mediante microorganismos Quimioheterótrofos. El impacto ambiental a controlar con la remoción de estos componentes es evitar la disminución de los niveles de oxígeno disuelto causado por la descomposición de la materia orgánica en las fuentes hídricas, lo cual a su vez deteriora la flora y fauna acuática.

### **2.8.1. Medición de la materia orgánica carbonosa**

La materia orgánica carbonosa del agua es medida como Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Carbono Orgánico Total (COT), siendo los dos primeros los más utilizados.

#### **2.8.1.1. Demanda química de oxígeno (DQO)**

El método está basado en una oxidación de la materia orgánica con un exceso de dicromato de potasio en un medio fuertemente ácido. Al final de la reacción se determina el exceso de dicromato por titulación con sulfato de amonio ferroso (FAS). En presencia de un indicador.

DÍAZ Y VEGA (2013), evaluó en un reactor UASB durante el tiempo de arranque del reactor se realizó un aumento progresivo de la carga orgánica lo que dio como resultado un incremento en el porcentaje de remoción de DQO en el sistema; lo que permitió obtener porcentajes promedio de reducción cercanos al 81,42% para la DQO y alcanzar una carga máxima de 65 kg /m<sup>3</sup>\*d.

#### **2.8.1.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La DBO es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para oxidarla materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. La DBO es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para diseñar unidades de tratamiento biológico y evaluar sus eficiencias y fijar cargas permisibles en fuentes receptoras (ROMERO, 2008).

Usualmente se mide la DBO a los 5 días (DBO<sub>5</sub>), la cual representa gran parte del contenido de la materia orgánica carbonosa, sin embargo, suele medirse también la DBO a los 20 días (DBO<sub>20</sub>) la cual representa también el contenido de material orgánico Nitrogenado (DBO nitrogenácea). Matemáticamente, la DBO carbonosa en cualquier tiempo t es:

$$y = L (1 - e^{-Kt}) \text{ ó } DBO_t = L (1 - e^{-Kt})$$

Donde

Y o DBO<sub>t</sub>: La DBO ejercida por el agua después de un tiempo t (mg/L)

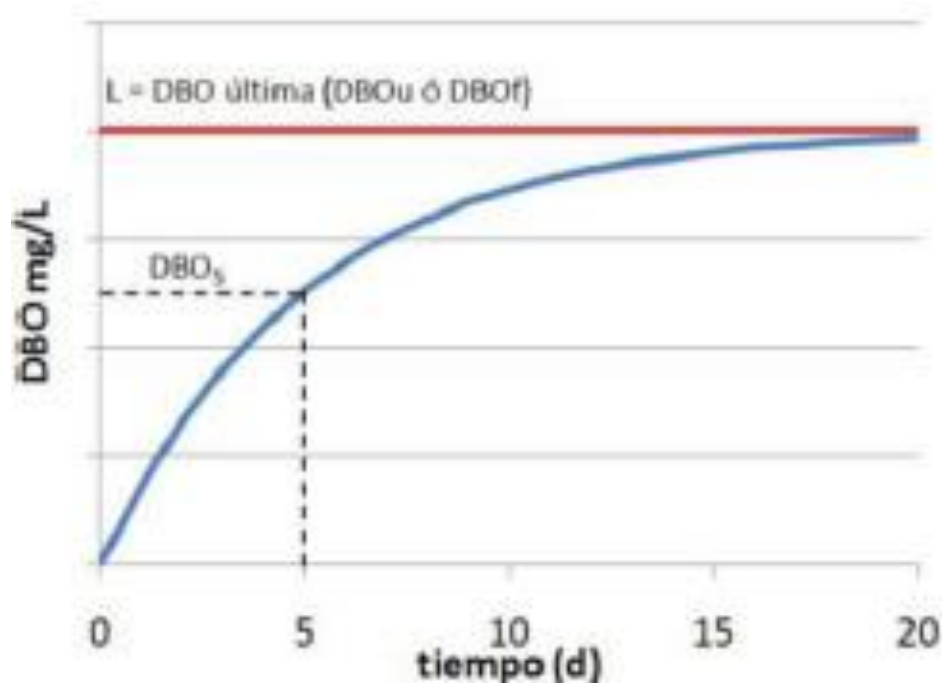
L: DBO última (se refiere a todo el material orgánico biodegradable contenido en el agua) (mg/L)

K: Constante de velocidad de reacción de la DBO ( $d^{-1}$ )

T: Tiempo de reacción (d).

La  $DBO_5$  se representa como  $y = L (1 - e^{-5k})$ .

Gráficamente la ecuación se puede representar de la siguiente manera:



Fuente: RAMALHO, 1993

Figura 6. Curva del DBO en 5 y 20 días.

## 2.9. Sólidos suspendidos totales (SST)

Los sólidos suspendidos totales analíticamente, se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación de entre  $103^{\circ}$  y  $105^{\circ} C$  (COLLAZOS, 2008).

SPENGEL Y DZOMBAK (1991), sostiene que más del 80% de los SST eran volátiles, provenientes de la biomasa desprendida de los discos, causado por el roce o fuerzas cortantes entre los discos y el agua residual.

## **2.10. Nutrientes (nitrógeno – fósforo)**

Los nutrientes son esenciales para la comunidad acuática, sin embargo su contenido en exceso (en especial nitrógeno y fósforo) pueden sobre estimular el crecimiento de algas y plantas en la fuente hídrica, causando el fenómeno llamado eutrofización.

La eutrofización genera impactos ambientales negativos tales como:

- Deterioro de la calidad del agua por disminución de los niveles de oxígeno disuelto, especialmente en la noche donde las algas llegan a consumirlo.
- Bloqueo de aguas navegables
- Impide el uso del agua para recreación y demás usos.

Las plantas requieren Carbono, Nitrógeno y Fósforo para su desarrollo. El carbono se encuentra disponible de muchas fuentes como materia orgánica o dióxido de Carbono disuelto. Teniendo en cuenta las múltiples fuentes que aportan el Carbono, es raro que éste sea el nutriente limitante. De acuerdo con estas observaciones, es importante enfocar esfuerzos para remover nutrientes del agua residual ya que reduciendo la carga de Nitrógeno y/o Fósforo se evita la Eutrofización y por ende se controla el crecimiento de plantas y algas (SPELLMAN, 2003).

### 2.10.1. Medición de nutrientes

Los nutrientes Nitrógeno y Fósforo pueden estar presentes de diferentes formas en el agua y dependiendo de la necesidad se analizan algunas especies específicas o en su totalidad. A continuación, se mostrará cómo se miden dichos nutrientes:

#### a) Nitrógeno

El Nitrógeno puede estar en diferentes formas. Por orden creciente de su estado de oxidación se tiene: Nitrógeno Orgánico (N-org), Amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), Nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) y Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

El N-org incluye proteínas, péptidos, ácidos nucleicos, urea y numerosos materiales orgánicos sintéticos y su fuente está asociada a aguas residuales de tipo orgánico. El N-NH<sub>3</sub> se produce por desaminación de compuestos orgánicos nitrogenados y por hidrólisis de la urea (APHA y AWWA, 2012).

El nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) es una forma intermedia de oxidación, que puede producirse tanto en la oxidación del amoníaco como en la reducción del nitrato. Esta situación hace que el nitrito sea relativamente inestable y fácilmente oxidable a nitrato, por tal motivo es raro encontrar cantidades mayores a 1 mg/L en el agua residual y 0.1 mg/L en el caso de aguas subterráneas y superficiales (METCALF y EDDY, 1996). Para su medición, se hace con el método colorimétrico en el cual se determina por la formación de un colorante azo púrpura producido a pH de 2 a 2.5 y se analiza espectrofotométricamente. El método es aplicable para concentraciones de 0.005 a 1 mg/L. Para

concentraciones mayores es necesario aplicar diluciones (APHA y AWWA, 2012).

El nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en el agua. En medio aerobio, la acción de las bacterias puede oxidar el nitrógeno amoniacal a nitritos y luego a nitratos. La preponderancia de nitrógeno en forma de nitratos es un indicador que el nitrógeno ha sido estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno (METCALF y EDDY, 1996). La determinación del nitrato puede hacerse por diferentes métodos. La técnica con luz UV mide la absorbancia de  $\text{NO}_3^-$ , pero es aplicable a aguas con bajo contenido de materia orgánica. La elección del método depende del rango de la concentración. Para concentraciones elevadas de  $\text{NO}_3^-$  debe diluirse hasta el rango del método seleccionado (APHA y AWWA, 2012).

#### b) Fósforo

Las formas más frecuentes en las que se presenta el fósforo en soluciones acuosas incluyen el ortofosfato, los polifosfatos y los fosfatos orgánicos. Para su análisis, existe un método que cuantifica todas las especies de Fósforo presentes en el agua, la cual se denomina Fósforo Total.

##### **2.10.1.1. Remoción biológica de Nitrógeno**

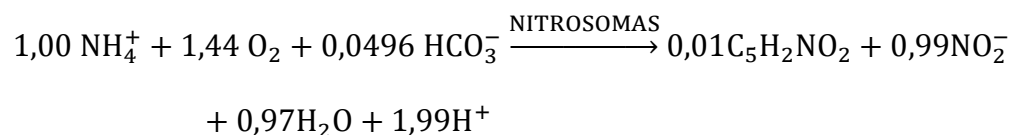
Normalmente en un proceso aerobio, 20% del Nitrógeno que entra en el agua residual es retenido en la sedimentación primaria. Posteriormente en el tratamiento secundario otro 20% se incorpora en las células para la asimilación (síntesis), la cual consiste en la incorporación del nitrógeno amoniacal dentro de

la masa celular. Como se explicó anteriormente, para la síntesis de nuevas células se necesita nitrógeno pues hace parte del componente celular ( $C_5H_7NO_2$ ) lo cual significa un porcentaje cercano al 14% de masa (METCALF y EDDY, 1996). La remoción por asimilación se hace luego que la biomasa se retira del sistema de tratamiento de agua mediante la purga de lodos, no obstante, la mayoría de aguas residuales tienen mayores contenidos de nitrógeno de lo que puede ser asimilado (CRITES y TCHOBANOGLOUS, 2000). Es por esta razón que debe emplearse otros mecanismos para obtenerse mayores remociones como la Nitrificación y Desnitrificación.

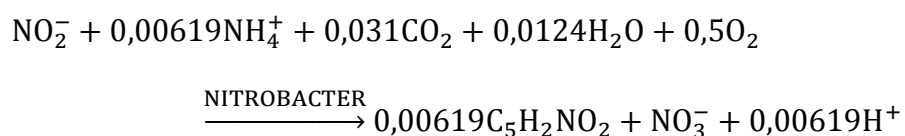
#### a) Nitrificación

La nitrificación es un proceso mediante el cual el nitrógeno amoniacal no asimilado es oxidado biológicamente por bacterias nitrificantes mediante dos conversiones, primero a nitritos y luego a nitratos, como se muestra en las siguientes ecuaciones:

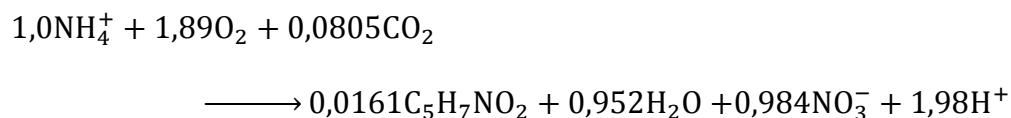
- Conversión de amonio a nitrito



- Conversión de nitrito a nitrato



- Conversión de amonio a nitrato



A partir de estas reacciones se obtiene que para oxidar 1 mg de nitrógeno amoniacal y convertirlo a nitrato se necesitan 4.6 mg de O<sub>2</sub> y 7.1 mg de alcalinidad, lo que evidencia la necesidad de tener buen nivel de oxígeno disuelto y buena alcalinidad en el agua para que no se ralentice el proceso (KAPOOR *et al.*, 2003). Adicionalmente, para favorecer estas transformaciones es necesario que el pH se sitúe entre 7.2 y 9, concentraciones de OD por encima de 1 mg/L y las temperaturas no deben ser tan bajas para que no se inhiba la tasa de nitrificación (METCALF y EDDY, 1996; CRITES y TCHOBANOGLOUS, 2000). Temperaturas por debajo de 13° C debe aplicarse factor de corrección a la superficie necesaria de discos.

#### b) Desnitrificación

La desnitrificación es un proceso mediante el cual los nitritos y nitratos generados en la nitrificación se convierten en nitrógeno gas y óxidos de nitrógeno mediante una variedad de organismos facultativos en condiciones anóxicas (en ausencia de oxígeno) que pueden utilizar nitrato en lugar de oxígeno como aceptor final de electrones. En la desnitrificación, la reducción de nitrato a nitrito a óxido nítrico a óxido nitroso y finalmente a nitrógeno gaseoso puede ser descrita como: NO<sub>3</sub>→NO<sub>2</sub>→NO→N<sub>2</sub>O→N<sub>2</sub> (RAMALHO, 1993; DÍAZ, 2003).

Las bacterias desnitrificantes obtienen energía para su crecimiento de la conversión de nitratos en nitrógeno gaseoso, pero requieren una fuente de

carbono para la síntesis celular. En las ocasiones que se tiene un agua con poco contenido de materia orgánica se debe recurrir a una fuente externa de carbono como la adición de Metanol, pero en la mayoría de los sistemas biológicos de desnitrificación se utilizan las mismas aguas residuales o el tejido celular como fuentes de carbono necesario (CRITES y TCHOBANOGLIOUS, 2000).

El parámetro crítico para la desnitrificación es la concentración de oxígeno disuelto. La presencia del OD suprime el sistema enzimático necesario para el desarrollo del proceso de desnitrificación. La alcalinidad se produce durante este proceso, lo cual provoca aumento del pH y se recupera parte de la alcalinidad consumida en el proceso de la nitrificación (METCALF y EDDY, 1996). Con este proceso se hace remoción del nitrógeno del agua ya que el contenido de nitrato es convertido a nitrógeno gaseoso, y por ende éste es liberado a la atmósfera.

#### **2.10.1.2. Remoción biológica de fósforo**

Para el caso del fósforo, su única vía de remoción es la asimilación (incorporación en las células bacterianas) y posteriormente extracción mediante la purga de lodos. Sin embargo, el fósforo sólo hace parte del componente celular en promedio en un 3% y por lo tanto es poco lo que incorporan dentro de su estructura, siendo relativamente baja las eficiencias en un tratamiento biológico convencional alcanzando sólo de 10% a 30% de remoción (RAMALHO, 1993; METCALF y EDDY, 1996; CRITES y TCHOBANOGLIOUS, 2000).

Cuando una zona es anaerobia es seguida de una zona aerobia, los microorganismos toman fósforo por encima de los niveles normales, el cual no

sólo utilizan para el mantenimiento de la célula, la síntesis y el transporte de energía, sino que es almacenado para su uso posterior. El lodo que contiene el exceso de fósforo es purgado y de esta manera se retira del agua residual (CRITES y TCHOBANOGLOUS, 2000).

### **2.11. Remoción total de carga orgánica**

Según PEREZ (2010), en su tesis doctoral “Aplicación y evaluación de un reactor de Contactores Biológicos Rotativos (RBC O Biodiscos) a escala laboratorio como tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario de La Pradera”, obtuvo resultados de remoción de DQO en 68% y para DBO en 95%, también para SST se obtuvo una remoción promedio de 70%, y con respecto a los nutrientes como nitrógeno y fósforo se obtuvo promedios de remoción de 74% y 38% respectivamente. Teniendo una remoción total de carga orgánica del 69%.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ubicación**

La recolección de muestras de agua residual se realizó en el matadero municipal de Tingo María – Huánuco.

La fase experimental se desarrolló en el laboratorio de Calidad de Aguas, y el análisis de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María

#### **3.2. Materiales y equipos**

##### **3.2.1. Materiales**

- Agua residual proveniente del matadero de Tingo María.
- Cubetas de PVC de 20 L.
- 20 botellas de vidrio (DBO<sub>5</sub>).
- Envases de 100 mL.
- Etiquetas.
- Pipetas.
- Materiales y herramientas para la construcción y ensamblaje del rector de biodiscos.

### **3.2.2. Equipos**

- Reactor de biodiscos.
- Ventilador.
- Balanza Analítica de precisión.
- pH-metro marca ESTECH modelo 407227.
- Oxímetro portátil HI 9146 HANNA.
- Estufa.
- Cronómetro.
- Incubadora.
- Laptop.

### **3.3. Metodología**

#### **3.3.1. Especificaciones técnicas establecidas previamente**

##### **a) Porcentaje del área inmersa del disco**

De acuerdo con los estudios con reactores a pequeña escala, se establece un porcentaje del área del disco inmerso un 40%, siendo este el dato más común.

##### **b) Diámetro de los discos y del tanque**

El rango del diámetro de disco más utilizado en investigaciones a escala laboratorio, varían entre los 0.2 m y 0.35 m, en la presente tesis se diseñó de 0.28 m. El material de los discos será de poliestireno de diseño arabesco de 2 mm de espesor su diseño rugoso permite mayor adherencia de los

microorganismos a los discos, adicionalmente se hizo un lijado manual de los discos para favorecer la adherencia.

c) Etapas en el reactor, número de discos

Se fijaron cuatro etapas en el reactor para permitir el desarrollo de diferentes microorganismos y optimizar las remociones de materia orgánica carbonosa y nitrogenácea, en las dos primeras etapas se dispondrán de 15 discos cada una y en la tercera y cuarta etapa 9 discos, se escogió éste diseño ya que en las primeras etapas hay más carga orgánica y esto ayuda a una mejor remoción. También se establece en el diseño un total de 48 discos. Los discos serán separados a 0.6 cm.

d) Velocidad de rotación de los discos

La frecuencia de giro se fijó en 12 RPM. Los estudios relacionados con tratamiento de efluentes de planta de un matadero operaron a una frecuencia promedio de 2.5 RPM, sin embargo, se vio favorable aumentarlo para mejorar la oxigenación en el reactor. Con la frecuencia de giro diseñada se garantizará una buena oxigenación de los discos y se evitará el desprendimiento descontrolado por tener una velocidad lineal menor a la crítica de 0.33 m/s (la velocidad lineal obtenida es 0.18 m/s).

e) Sistema de Recirculación

No habrá sistema de recirculación de lodo sedimentado ni del efluente, pues hay estudios que concluyen que la recirculación no influye significativamente en las eficiencias ni en el desempeño del reactor y sólo se

recomienda cuando se presentan condiciones de sobrecarga (CASTILLO y VIVAS, 1996; ROMERO, 2008).

### **3.3.2. Construcción y montaje del reactor de biodiscos**

#### **3.3.2.1. Agua residual del matadero**

Las aguas residuales industriales (ARI) crudas del Matadero Municipal de la Tingo María – Huánuco, estaban conformadas por una mezcla de agua - sangre (40 - 50%) y el porcentaje restante conformado por desechos ruminales producto del lavado de vísceras, grasas y estiércol.

La muestra de agua residual se tomó del tanque de almacenamiento temporal del efluente en el matadero. Este tanque posee una rejilla a la entrada donde se retienen los sólidos de mayor tamaño. El agua residual llega al tanque por sistema de canales y tuberías conectados a los diferentes puntos del proceso productivo: limpieza de corrales, sala de matanza y secciones de subproductos. El promedio diario de animales sacrificados, es de 20 a 30 bovinos, 10 a 15 porcinos.

#### **3.3.2.2. Equipo experimental**

El tratamiento se llevó a cabo en un RBC con discos inmersos en un 40% aproximadamente y girando a una frecuencia de 12 RPM. Los discos fueron elaborados con láminas de poliestireno de diseño arabesco, midiendo 28 cm de diámetro y separados a 0.6 cm en un eje acero inoxidable de 3/4" de diámetro.

El tanque del reactor se fabricó a partir de una tubería de PVC de 12 pulgadas (30.48 cm) de diámetro externo y 64 cm de longitud, y se cortó

longitudinalmente y cerrada a los lados con el mismo material de los discos (poliestireno). Se utilizó un motorreductor eléctrico para la rotación de los discos, acoplado a una serie de engranajes y poleas.

#### **3.3.2.3. Etapa de aclimatación**

El reactor comenzó a funcionar por carga (reactor batch) utilizando el efluente proveniente del matadero municipal como sustrato, con la finalidad de estimular la formación de la biopelícula sobre los discos. Bajo esta condición el reactor se mantuvo durante 7 días a temperatura ambiente (28 – 32° C), para luego iniciar la etapa experimental a flujo continuo.

#### **3.3.2.4. Reactor a flujo continuo**

El comportamiento del reactor se evaluó en 3 tiempos, correspondientes con los TRH experimentales (2, 4 y 8 horas) y con caudales diferentes para cada unidad experimental.

### **3.3.3. Determinación de parámetros fisicoquímicos**

#### **3.3.3.1. Determinación de pH**

Se realizó la medición del pH en cada etapa (4) del reactor de biodiscos, se sacó del agua residual una muestra de 20 mL en un vaso de precipitado, a partir de esto se determinó usando el potenciómetro pH-metro marca ESTECH modelo 407227 adecuadamente calibrado, seguidamente se obtuvo la lectura, para muestreo.

### **3.3.3.2. Determinación de la Temperatura**

Se realizó la medición de la Temperatura en cada etapa (4) del reactor de biodiscos, se utilizó un equipo medidor de Oxígeno Disuelto (Oxímetro) Portátil HI 9146 HANNA, que también tiene la función para medir la Temperatura.

- Se calibró adecuadamente el equipo y se retiró la capa protectora, se sumergió la punta de la sonda en la muestra a analizar asegurándose que el sensor de temperatura también esté sumergido.

### **3.3.3.3. Determinación de oxígeno disuelto**

Se realizó la medición del oxígeno disuelto (OD) en cada etapa (4) del reactor de biodiscos, se utilizó un equipo medidor de Oxígeno Disuelto (Oxímetro) Portátil HI 9146 HANNA, el procedimiento fue el siguiente:

- Se calibró adecuadamente el equipo y se retiró la capa protectora, luego la punta de la sonda en la muestra a analizar.

- Para que la medición sea exacta, se dejó el tiempo necesario para que tenga lugar el equilibrio térmico entre la sonda y la muestra, seguidamente se hizo la lectura.

### **3.3.3.4. Determinación de la demanda química de oxígeno**

Se realizó la medición de la DQO, con muestras del afluente y efluente del reactor de biodiscos.

Se utilizó el método del dicromato, el procedimiento se basa en la oxidación de la materia utilizando dicromato potásico como oxidante en

presencia de ácido sulfúrico e iones de plata como catalizador. La disolución acuosa se calentó bajo reflujo durante 2 h a 150 °C. Luego se evaluó la cantidad del dicromato sin reaccionar titulando con una disolución de hierro (II). La demanda química de oxígeno se calcula a partir de la diferencia entre el dicromato añadido inicialmente en el dicromato encontrado tras la oxidación.

### **3.3.3.5. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno**

Se realizó la medición de la DBO<sub>5</sub>, con muestras del afluente y efluente del rector de biodiscos.

Se utilizó un equipo medidor de Oxígeno Disuelto (oxímetro) Portátil HI9146 HANNA, debidamente calibrado y se realizó la lectura del oxígeno disuelto presente en el agua residual (OD Inicial); luego se procedió a medir el oxígeno disuelto del agua de dilución.

Seguidamente se guardó la muestra en un recipiente oscuro por 5 días para ser leída la segunda lectura (OD final), se determinó la Demanda Bioquímica de Oxígeno a través de la diferencia.

Para la determinación del DBO<sub>5</sub>, se realizó según el siguiente diagrama (RAMALHO, 1993):

$$\left[ \begin{array}{c} \text{DBO} \\ (\text{mg/l}) \end{array} \right] = [(V_s * O_{is}) + (V_d * O_{fd})] - [V_b * O_{fb}]$$

Dónde:

DBO = Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)

Vs = volumen de la muestra de agua residual en L.

Ois = concentración de oxígeno disuelto en el agua residual en mg/L.

Vd = volumen del agua de dilución en L.

Ofd = concentración de oxígeno disuelto en el agua de dilución mg/L.

Vb = volumen total en L.

Ofb = oxígeno disuelto final de la mezcla en mg/L.

### 3.3.3.6. Determinación de sólidos suspendidos totales

Se realizó la medición de los SST, con muestras del afluente y efluente del rector de biodiscos.

La determinación de los sólidos suspendidos totales de las muestras fue realizada por el método N° 2540, APHA (2012).

Para la determinación de sólidos suspendidos se tomó 1 disco para lavarlo con agua destilada y obtener 50 ml de muestra, seguidamente se llevó al laboratorio y en papel filtro debidamente pesado se filtró en un matraz de 0.5 litro, para luego ser llevado a la estufa a 37°C por un periodo de 24 horas, se pesó el papel sacado de la estufa. Se hizo el cálculo a través de esta fórmula:

$$[\text{SST (mg/l)}] = \frac{A - B}{\text{Volumen (l)}} * 1\,000$$

Dónde:

A = peso del filtro más residuo seco a 37° C (g)

B = peso inicial del papel filtro (g)

### **3.3.3.7. Determinación de Nitratos**

Se realizó la medición de los nitratos, con muestras del afluente y efluente del rector de biodiscos.

Se determinó con el método colorimétrico a partir del Test Kit de Nitrato HI3874, cuyo procedimiento fue:

- Se llenó la cubeta de cristal con 10 mL de la muestra, hasta la marca que indica.
- Se añadió un paquete de reactivo HI 3874-0.
- Se volvió a colocar la tapa y se agitó vigorosamente durante un minuto.
- Se dejó esperar 4 minutos a que el color se desarrolló
- Se retiró la tapa y se llenó el cubo comparador de color con 5 mL de la muestra tratada (hasta la marca). Se determinó que el color se asemeja con la solución del cubo y se registró el resultado.

### **3.3.3.8. Determinación de Fosfatos**

Se realizó la medición de los fosfatos, con muestras del afluente y efluente del rector de biodiscos.

Se determinó con el método colorimétrico a partir del Test Kit de fosfato HI 3833, cuyo procedimiento fue:

- Se retiró la tapa del vaso de plástico, se enjuagó el vaso de plástico con la muestra de agua hasta la marca de 10 mL.

- Se añadió un paquete de reactivo HI 3833-0.
- Se colocó la tapa y se mezcló la solución hasta que los sólidos se disuelvan.
- Se quitó la tapa y se transfirió la solución al cubo comparador de color.
- Se dejó reposar durante 1 minuto, y se comparó el color para su determinación.

#### **3.3.3.9. Eficiencia de remoción**

Se calculó mediante una correlación porcentual entre la concentración inicial y final de los parámetros evaluados (DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, nitratos y fosfatos) presentes en cada muestra del agua evaluada dentro del reactor biodiscos, según el tratamiento del mismo, mediante la siguiente fórmula:

$$ER(\%) = \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right) \times 100$$

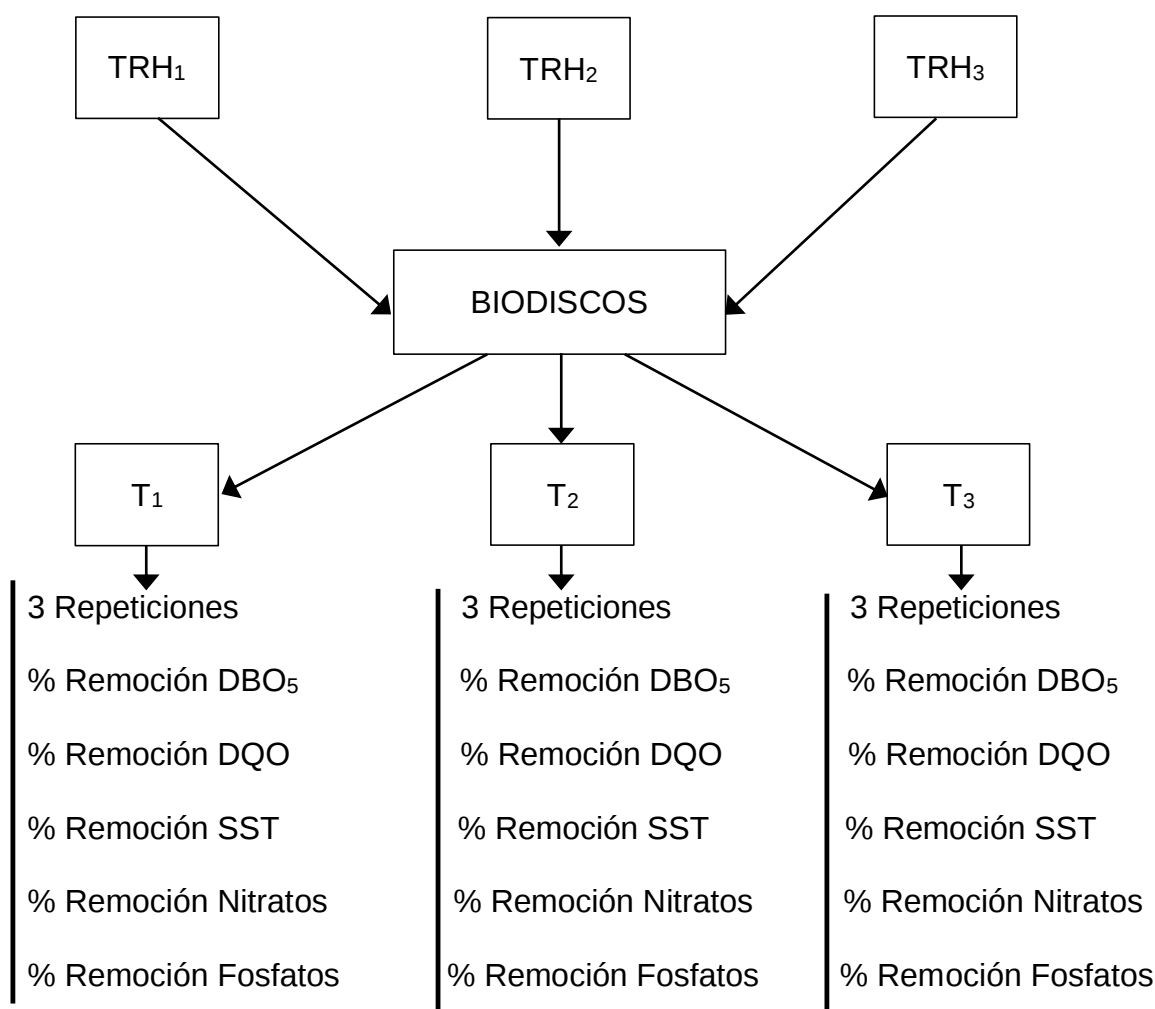
Dónde:

- ER: eficiencia de remoción de parámetros controlados (DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, nitratos y fosfatos), en %.
- C<sub>i</sub>: concentración inicial parámetros controlados (DQO; DBO<sub>5</sub>, SST, nitratos y fosfatos).
- C<sub>f</sub>: concentración final parámetros controlados (DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, nitratos y fosfatos).

### 3.4. Diseño de Investigación

El presente estudio corresponde a un diseño de tipo experimental.

- Variable independiente: Tiempo de retención hidráulica (TRH)
- Variables dependientes: Porcentaje de remoción de  $\text{DBO}_5$ , porcentaje de remoción de DQO, porcentaje de remoción de nitratos y fosfatos, porcentaje de remoción de SST.



**Leyenda:**

TRH<sub>1</sub>: tiempo de retención hidráulica 1 (2 horas)

TRH<sub>2</sub>: tiempo de retención hidráulica 2 (4 horas).

TRH<sub>3</sub>: tiempo de retención hidráulica 3 (8 horas).

T<sub>1</sub>: tratamiento 1, evaluar porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, Nitratos y Fosfatos en tres repeticiones.

T<sub>2</sub>: tratamiento 2, evaluar porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, Nitratos y Fosfatos en tres repeticiones.

T<sub>3</sub>: tratamiento 3, evaluar porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, Nitratos y Fosfatos en tres repeticiones.

### **3.5. Análisis estadístico**

El diseño experimental utilizado en la investigación es un diseño factorial de tres factores completamente al azar, con diferentes niveles y la variable de respuesta fue el porcentaje de remoción de los parámetros como: DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, Nitratos y Fosfatos.

La variable que se considera como factor para el diseño experimental es: el tiempo de retención hidráulica (TRH), lo que permitió investigar el efecto individual y la interacción entre los factores sobre la variable respuesta, al elaborar un análisis de varianza.

#### **3.5.1. Análisis de Varianza (ANOVA)**

Los resultados fueron evaluados mediante un análisis de varianza multivariable (ANOVA). Se distribuyeron las variables estadísticas y los tratamientos de acuerdo al diseño experimental, se utilizó el modelo estadístico completamente al azar (DCA), a un nivel de significancia de 5%, utilizando el programa Statgraphics Centurion XXIV, versión española.

### **3.5.2. Prueba de Tukey**

Se empleó la diferencia francamente significativa de Tukey (HSD Tukey), con el fin de poder determinar entre que tratamientos había diferencias significativas, con un nivel de significancia 5%, utilizando el programa Statgraphiics Centurion XXIV, versión española.

#### IV. RESULTADOS

##### **4.1. Implementar un reactor de biodiscos multietapas para el tratamiento de los efluentes del matadero de Tingo María, a nivel laboratorio.**

En la figura 7, se muestra el sistema de tratamiento biológico (biodiscos), compuesto principalmente por el tanque de alimentación del agua residual y el reactor de biodiscos dividido en 4 etapas y con un total de 48 discos, y en la figura 8 se muestra los medios de transmisión para el funcionamiento del sistema. (Ver anexo 01. Cuadros complementarios, 18).



Figura 7 . Tanque alimentador – Reactor de biodiscos



Figura 8. Medios de transmisión: motorreductor, poleas y correa.

#### 4.1.1. Parámetros de diseño

- a) Área efectiva de discos para el tratamiento

$$A = \frac{\pi}{2} \times 48 - (0.28^2 - 0.02^2) = 5.9 \text{ m}^2$$

- b) Longitud del reactor

Para la etapa 1 y 2:

$$l = 0.2 \text{ cm} \times 15 + 0.6 \text{ cm}(15 - 1) + 2 \times 3.5 \longrightarrow l = 18.4 \times 2 = 36.8 \text{ cm}$$

Para la etapa 3 y 4

$$l = 0.2 \text{ cm} \times 9 + 0.6 \text{ cm}(9 - 1) + 2 \times 3.5 \longrightarrow l = 13.6 \times 2 = 27.2 \text{ cm}$$

$$\therefore E1 + E2 + E3 + E4 = L \longrightarrow L = 64 \text{ cm}$$

c) Volumen efectivo del reactor

$$V_R = (0.0296 \times 0.64) - \left( \frac{\pi \times (0.28)^2}{4} \times 0.4 \times 0.002 \times 48 \right)$$

$$V_R = 0.0165 \text{ m}^3 \cong 16.5 \text{ L}$$

d) Relación volumen del reactor/área de medio (caudal)

Se halló el caudal para los 3 TRH:

Cuadro 1. Caudal determinado para los diferentes TRH.

| TRH(h) | CAUDAL (L/min) |
|--------|----------------|
| 2      | 0.1375         |
| 4      | 0.0688         |
| 8      | 0.0344         |

Fuente: elaboración propia

e) Sedimentador secundario.

Volumen:

$$V_{\text{sed}} = 4.44 \text{ L} \cong 0.00444 \text{ m}^3$$

Longitud:

$$L_{\text{sed}} = \frac{0.00444 \text{ m}^3}{0.0296 \text{ m}^2} \cong 0.15 \text{ m}$$

## 4.2. Determinación de las variaciones del pH, oxígeno disuelto y temperatura en el reactor de biodiscos, por etapas y a diferentes TRH

### 4.2.1. Variación del pH

En el cuadro 2 y la figura 9, se muestra los resultados de la variación de pH promedio para las 4 etapas (ver anexo 01. Cuadro 19 y ver anexo 02. Figuras 15, 16, y 17) en el reactor de biodiscos por cada TRH.

Cuadro 2. Variación del pH en los diferentes TRH.

| Parámetro | TRH     |         |         |
|-----------|---------|---------|---------|
|           | 2 horas | 4 horas | 8 horas |
| pH        | 7.78    | 7.08    | 7.28    |

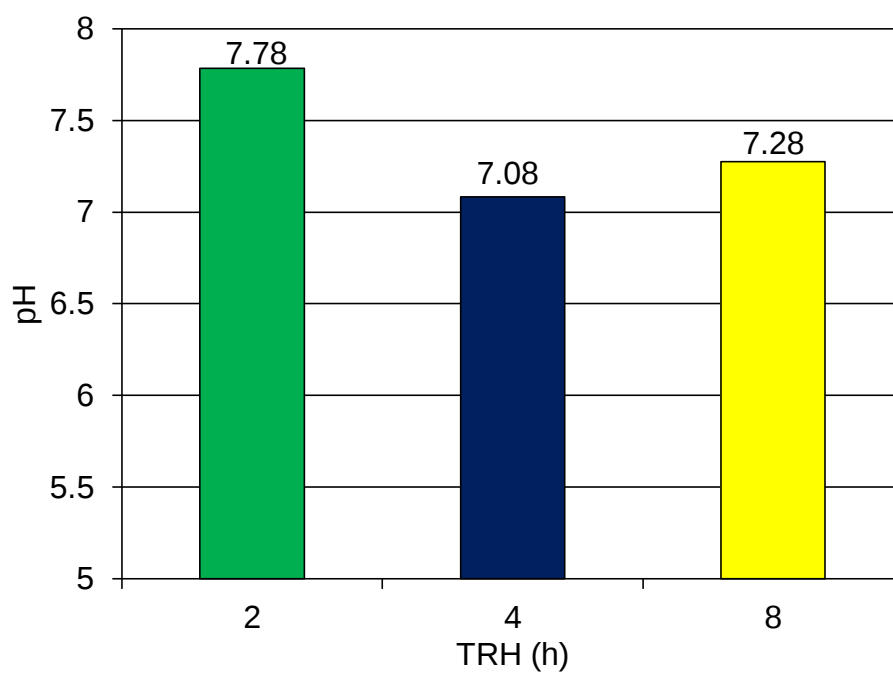


Figura 9. Variación del pH, por cada TRH.

#### 4.2.2. Variación de la Temperatura

En el cuadro 3 y la figura 10, se muestra los resultados de la variación de temperatura promedio para las 4 etapas (ver anexo 01. Cuadro 20 y ver anexo 02. Figuras 18, 19, y 20) en el reactor de biodiscos por cada TRH.

Cuadro 3. Variación de la Temperatura (°C) en los diferentes TRH.

| Parámetro        | TRH     |         |         |
|------------------|---------|---------|---------|
|                  | 2 horas | 4 horas | 8 horas |
| Temperatura (°C) | 26.93   | 25.97   | 26.03   |

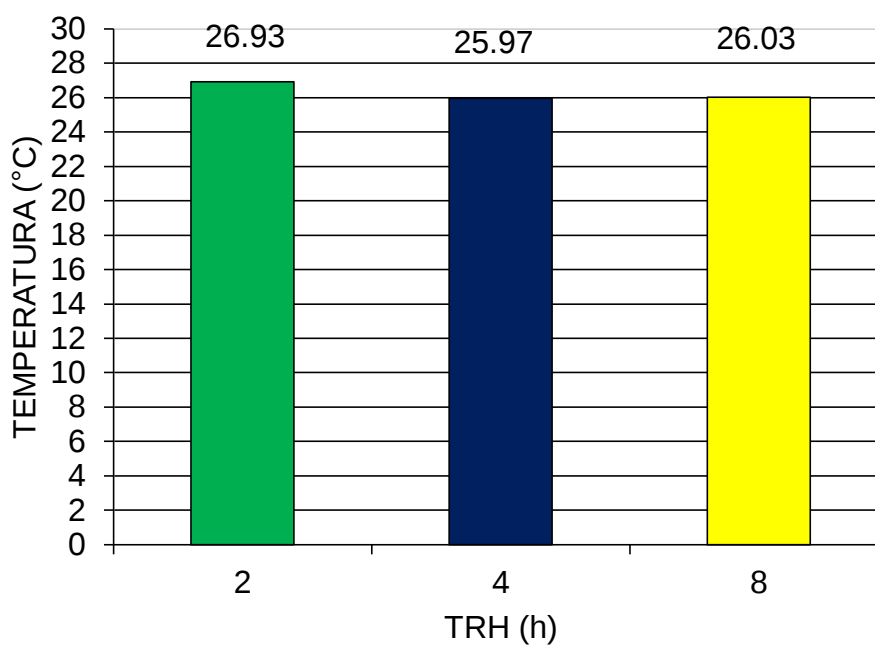


Figura 10. Variación de la Temperatura (°C) por cada TRH.

#### 4.2.3. Variación del oxígeno disuelto

En el cuadro 4 y la figura 11, se muestran los resultados de la variación del oxígeno disuelto (OD) promedio en las 4 etapas (ver anexo 01. Cuadro 21 y ver anexo 02. Figuras 21, 22, y 23) del reactor de biodiscos por cada TRH.

Cuadro 4. Variación del Oxígeno Disuelto (OD) en los diferentes TRH.

| Parámetro               | TRH     |         |         |
|-------------------------|---------|---------|---------|
|                         | 2 horas | 4 horas | 8 horas |
| Oxígeno Disuelto (mg/L) | 1.64    | 1.37    | 2.71    |

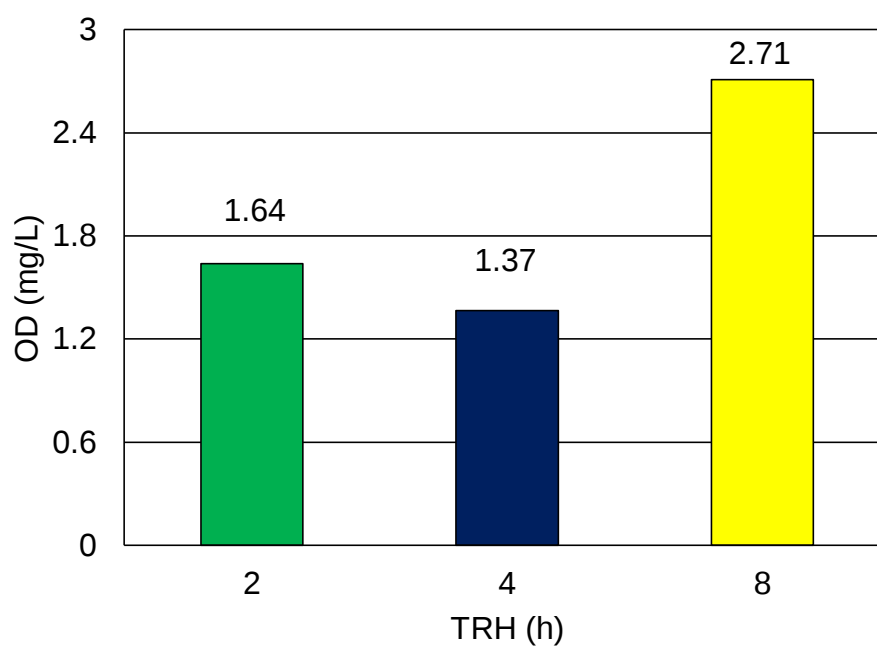


Figura 11. Variación del OD (mg/L) por cada TRH.

#### 4.3. Determinación de la concentración de DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, Nitratos y Fosfatos del afluente y efluente del reactor, a diferentes TRH

En la figura 12, se observa los puntos de toma de muestra el reactor biodiscos, en donde el primer punto de toma de muestras se realiza en la entrada del agua residual al sistema (afluente, color rojo) y el segundo punto de toma muestra se realiza en la salida del agua tratada (efluente, color verde).

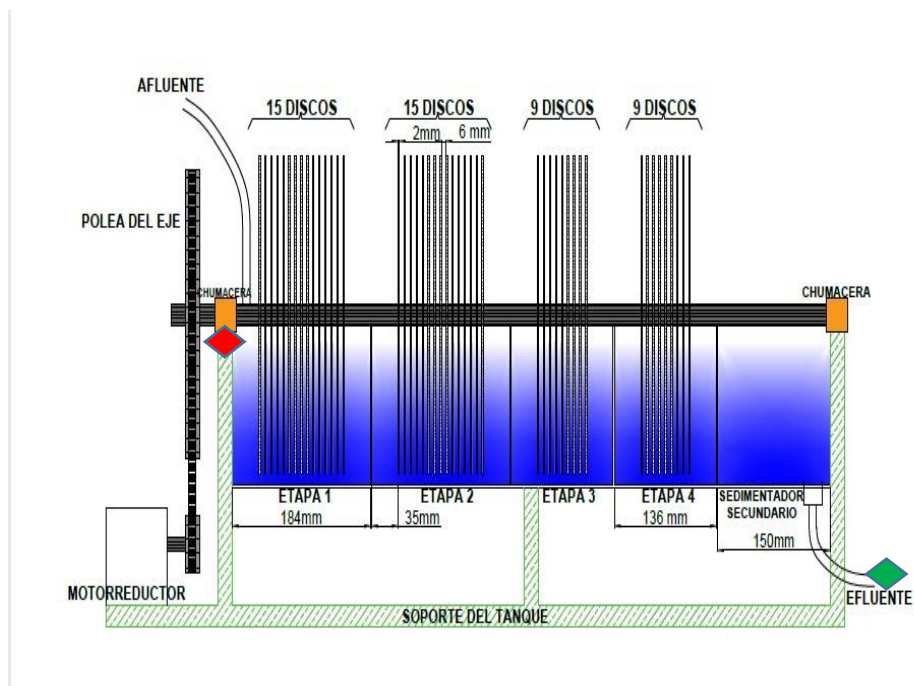


Figura 12. Puntos de toma de muestras a la entrada y salida del reactor de Biodiscos.

- ◆ Punto de toma de muestra a la entrada del agua residual al sistema (afluente).
- ◆ Punto de toma de muestra a la salida del agua tratada del sistema (efluente).

El cuadro 5, presenta la determinación de las concentraciones de DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, Nitratos y Fosfatos a la entrada (afluente) y salida (efluente) del reactor. El afluente corresponde al agua proveniente del matadero de Tingo María – Huánuco y el efluente corresponde al agua tratada que sale después de pasar por el reactor de biodiscos y al sedimentador secundario. (Ver anexo 01, cuadros complementarios 22, 23, 24, 25 y 26).

Cuadro 5. Determinación de la concentración de los parámetros fisicoquímicos, a la entrada y salida del reactor.

| TRH<br>(h) | PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS |      |               |      |               |      |                    |     |                    |    |
|------------|---------------------------|------|---------------|------|---------------|------|--------------------|-----|--------------------|----|
|            | DQO<br>(mg/L)             |      | DBO<br>(mg/L) |      | SST<br>(mg/L) |      | Nitratos<br>(mg/L) |     | Fosfatos<br>(mg/L) |    |
|            | E                         | S    | E             | S    | E             | S    | E                  | S   | E                  | S  |
| 2          | 9450                      | 2133 | 5100          | 1067 | 3250          | 1160 | 10                 | 4   | 50                 | 25 |
| 4          | 9333                      | 1133 | 5007          | 7667 | 3273          | 943  | 10                 | 3.7 | 50                 | 21 |
| 8          | 9400                      | 803  | 4700          | 540  | 3243          | 467  | 10                 | 3   | 50                 | 17 |

Donde:

E: Entrada

S: Salida

#### 4.4. -Determinación la tasa de remoción de los diferentes parámetros fisicoquímicos controlados.

En el cuadro 6 y figura 13, se puede apreciar los valores de la eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos para DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, nitratos y fosfatos para los TRH de experimentación.

Cuadro 6. Eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos.

| TRH (h) | DQO (mg/L) | DBO <sub>5</sub> (mg/L) | SST (mg/L) | N (mg/L) | P (mg/L) |
|---------|------------|-------------------------|------------|----------|----------|
|         | % remoción |                         |            |          |          |
| 2       | 78.70      | 77.38                   | 64.31      | 60.00    | 48.67    |
| 4       | 87.86      | 84.69                   | 71.18      | 63.33    | 58.00    |
| 8       | 91.45      | 88.51                   | 85.61      | 70.00    | 65.33    |

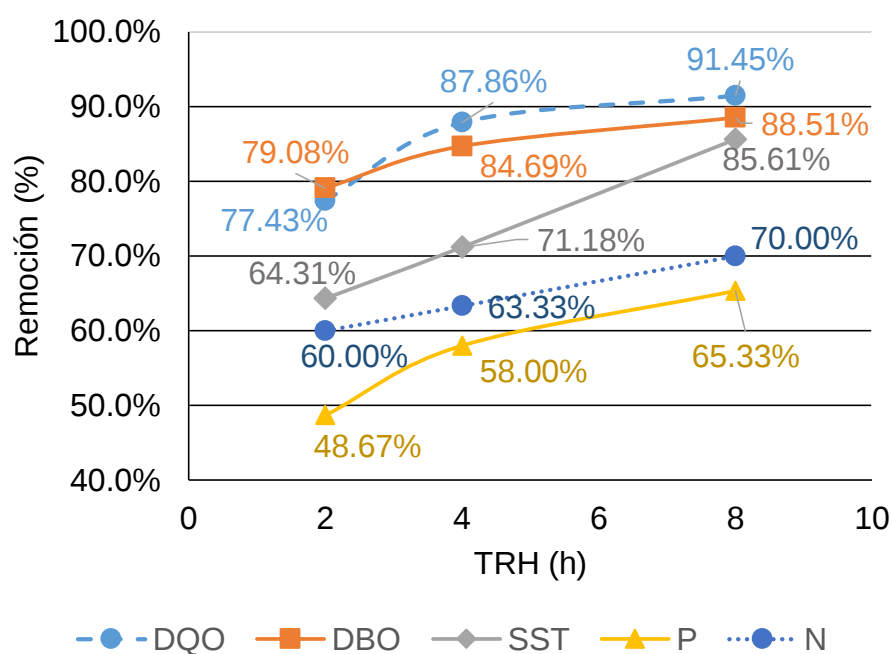


Figura 13. Porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos.

En el cuadro 7 y la figura 14, se observa la eficiencia de remoción total promedio para cada TRH, teniendo una remoción mínima de 65.90% para un TRH de 2 horas, una remoción media de 73.01% para un TRH de 4 horas y una remoción máxima de 80.18% para un TRH de 8 horas, en cuanto a los resultados hallados, se puede afirmar que a mayor TRH mayor eficiencia.

Cuadro 7. Eficiencia de remoción total para cada TRH.

| Parámetro      | TRH (horas) |       |       |
|----------------|-------------|-------|-------|
|                | 2           | 4     | 8     |
| Eficiencia (%) | 65.90       | 73.01 | 80.18 |

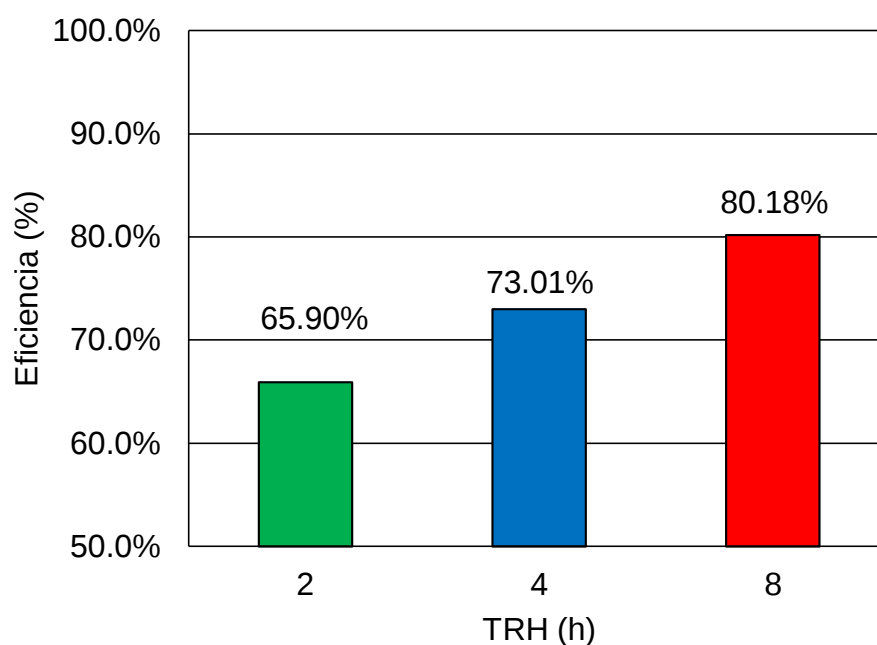


Figura 14. Eficiencia de remoción total para cada TRH.

#### 4.4.1. ANOVA para la eficiencia de remoción

En el cuadro 8, se observa el análisis de datos obteniendo un valor de  $p < 0.05$ , lo cual indica que existe efecto estadísticamente significativo por acción de los TRH, sobre la eficiencia de remoción de la DQO.

Cuadro 8. ANOVA para la eficiencia de remoción de la DQO.

| Fuente de variación | SC      | GL | MC      | Fc     | Sig.  |
|---------------------|---------|----|---------|--------|-------|
| Tiempo              | 321.038 | 2  | 160.519 | 25.601 | 0.001 |
| Error Experimental  | 37.621  | 6  | 6.270   |        |       |
| Total corregido     | 358.659 | 8  |         |        |       |

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó mediante la prueba de Tukey que la influencia de los diferentes TRH sobre la remoción de la DQO fue heterogénea solamente para el TRH de 2 horas como se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Prueba Tukey para la DQO por efecto del TRH.

| Merito | Tiempo (h) | Media DQO (%) | Grupos Homogéneos |
|--------|------------|---------------|-------------------|
| 1      | 8          | 91.4555       | a                 |
| 2      | 4          | 87.8790       | a                 |
| 3      | 2          | 78.7027       | b                 |

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 10, se observa el análisis de datos obteniendo un valor de  $p < 0.05$ , lo cual indica que existe efecto estadísticamente significativo por acción de los TRH, sobre la eficiencia de remoción de la  $\text{DBO}_5$ .

Cuadro 10. ANOVA para la eficiencia de remoción de la  $\text{DBO}_5$ .

| Fuente de variación | SC      | GL | MC     | Fc.   | Sig.  |
|---------------------|---------|----|--------|-------|-------|
| Tiempo              | 137.028 | 2  | 68.514 | 4.786 | 0.047 |
| Error Experimental  | 85.893  | 6  | 14.316 |       |       |
| Total corregido     | 222.921 | 8  |        |       |       |

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó mediante la prueba de Tukey que la influencia de los diferentes TRH sobre la remoción de la  $\text{DBO}_5$  fue heterogénea solamente para el TRH de 2 horas como se muestra en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Prueba Tukey para la  $\text{DBO}_5$  por efecto del TRH.

| Merito | Tiempo (h) | Media $\text{DBO}_5$ (%) | Grupos Homogéneos. |
|--------|------------|--------------------------|--------------------|
| 1      | 8          | 88.1949                  | a                  |
| 2      | 4          | 84.4168                  | a                  |
| 3      | 2          | 77.3821                  | b                  |

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 12, se observa el análisis de datos obteniendo un valor de  $p < 0.05$ , lo cual indica que existe efecto estadísticamente significativo por acción de los TRH, sobre la eficiencia de remoción de los SST.

Cuadro 12. ANOVA para la eficiencia de remoción de los SST.

| Fuente de variación | SC      | GL | MC      | Fc.    | Sig.  |
|---------------------|---------|----|---------|--------|-------|
| Tiempo              | 737.732 | 2  | 368.866 | 12.831 | 0.007 |
| Error Experimental  | 172.484 | 6  | 28.747  |        |       |
| Total corregido     | 910.216 | 8  |         |        |       |

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó mediante la prueba de Tukey que la influencia de los diferentes TRH sobre la remoción de la SST fue heterogénea solamente para el TRH de 8 horas como se muestra en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Prueba Tukey para los SST por efecto del TRH.

| Merito | Tiempo (h) | Media SST (%) | Grupos Homogéneos. |
|--------|------------|---------------|--------------------|
| 1      | 8          | 85.6138       | a                  |
| 2      | 4          | 70.5920       | b                  |
| 3      | 2          | 63.9741       | b                  |

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 14, se observa el análisis de datos obteniendo un valor de  $p > 0.05$ , lo cual indica que no existe efecto estadísticamente significativo por acción de los TRH, sobre la eficiencia de remoción de nitratos.

Cuadro 14. ANOVA para la eficiencia de remoción de nitratos.

| Fuente de variación | SC      | GL | MC     | Fc.   | Sig.  |
|---------------------|---------|----|--------|-------|-------|
| Tiempo              | 88.889  | 2  | 44.444 | 0.800 | 0.492 |
| Error Experimental  | 333.333 | 6  | 55.556 |       |       |
| Total corregido     | 422.222 | 8  |        |       |       |

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 15, se observa el análisis de datos obteniendo un valor de  $p < 0.05$ , lo cual indica que existe efecto estadísticamente significativo por acción de los TRH, sobre la eficiencia de remoción de los Fosfatos.

Cuadro 15. ANOVA para la eficiencia de remoción de fosfatos.

| Fuente de variación | SC      | GL | MC      | Fc.    | Sig.  |
|---------------------|---------|----|---------|--------|-------|
| Tiempo              | 418.667 | 2  | 209.333 | 27.706 | 0.001 |
| Error Experimental  | 45.333  | 6  | 7.556   |        |       |
| Total corregido     | 464.000 | 8  |         |        |       |

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó mediante la prueba de Tukey que la influencia de los diferentes TRH sobre la remoción de fosfatos fue heterogénea como se muestra en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Prueba Tukey para fosfatos por efecto del TRH.

| Merito | Tiempo (h) | Media P (%) | Sig. |
|--------|------------|-------------|------|
| 1      | 8          | 65.33       | a    |
| 2      | 4          | 58.00       | b    |
| 3      | 2          | 48.67       | c    |

Fuente: Elaboración propia.

## **V. DISCUSIÓN**

Para esta investigación se instaló 4 etapas en el reactor de biodiscos, con un total de 48 discos de poliestireno de 28 cm, distribuidos de la siguiente manera: para las dos primeras etapas un total de 15 discos, en cada etapa y para las dos siguientes un total de 9 discos, en cada etapa, y se obtuvo una remoción máxima de  $\text{DBO}_5$  de 88.5% para un TRH de 8 horas. ANTONIE (1976), señala que, al experimentar con 2 unidades de biodiscos de igual área superficial total, una dividida en 2 etapas y la otra en 4, se obtuvo una remoción del 85% de DBO para la de más etapas mientras que la otra eliminó el 75%, de esta manera se puede afirmar que el diseño elaborado lo hace más eficiente ya que en las 2 primeras etapas de 15 discos existe una remoción mayor de materia orgánica.

Para esta investigación se trabajó con una velocidad lineal de giro del reactor de 0.18 m/s. DI PALMA y VERDONE (2008), afirman que la velocidad de rotación es un parámetro importante debido a que la transferencia del oxígeno en el agua está en función del giro. A mayor velocidad de giro se obtiene mayor oxigenación y mayores tasas de remoción, no obstante, la rotación del disco no puede exceder una velocidad lineal de 0.33 m/s porque el esfuerzo cortante del agua y la turbulencia puede provocar el desprendimiento descontrolado de la biopelícula adherida al disco (CASTILLO y VIVAS, 1996). Comparado con la

velocidad de CASTILLO y VIVAS está por debajo del límite y por ende se trabaja con total normalidad y reafirma a lo que dice DI PALMA y VERDONE (2008), que este parámetro es importante para la transferencia de oxígeno y para que de los microorganismos adheridos a los discos pueda desarrollarse y cumplir la función de remover la materia orgánica carbonosa.

Para esta investigación se optó por trabajar con 3 diferentes TRH (2, 4 y 8 horas), teniendo más porcentaje de remoción para 8 horas con 80.18% seguido para el TRH de 4 horas con 73.01% y al último el de 2 horas con 65.90%, esto prueba lo dicho por PEREZ (2010), donde afirma que hay estudios que comprueban que altos TRH mejoran la difusión del sustrato en la biopelícula y por ende aumenta la eficiencia de remoción, no obstante debe tenerse en cuenta que TRH muy bajas se obtiene bajas remociones y TRH muy altas no será económicamente viable.

Se obtuvo un promedio de pH para el TRH de 2 horas de 7.8, para 4 horas 7.1 y para 8 horas de 7.3; dónde se verifica que estos dos últimos se encuentran dentro del pH óptimo para que los microorganismos puedan desarrollarse, esto prueba lo dicho por METCALF y EDDY, (1996) donde afirma que el pH óptimo para el crecimiento bacteriano se sitúa entre 6.5 y 7.5, de esta manera que para estos TRH (4 y 8 horas) existe más remoción de la materia orgánica carbonosa.

Se trabajó con temperaturas promedio para un TRH de 2 horas de 26.93° C para 4 horas de 25.97° C y para 8 horas 26.03° C, las cuales no varían entre sí pero están por encima de los 13° C y por lo tanto existe un correcto

desempeño de remoción en el reactor según a lo dicho por PEREZ (2010), donde afirma que cuando la temperatura está por debajo de 13° C, los procesos de remoción de carbono y nitrógeno se ven muy afectados, la temperatura influye en el desempeño del reactor debido a la afectación que puede ocurrir en los procesos biológicos. Un incremento de temperatura puede aumentar la actividad microbiana y por ende aumenta la tasa de remoción de contaminantes.

Se obtuvieron promedios de oxígeno disuelto de 1.64, 1.37 y 2.71 mg/L, para los 3 diferentes TRH (2, 4 y 8 horas), respectivamente, de acuerdo a lo dicho por ROMERO (2008), donde dice que para llevar a cabo las reacciones bioquímicas es necesario garantizar una cantidad de oxígeno suficiente para los procesos aerobios, los cuales se presenta con un oxígeno disuelto mayor a 0.5 mg/L. Los cuales todos ellos sobrepasan la cantidad mínima citada por el autor, y por lo tanto se pudieron realizar sin complicaciones los procesos aerobios. El oxígeno disuelto es utilizado para la oxidación de la materia orgánica carbonosa y para la nitrificación.

Se ha observado que para la DQO mientras mayor sea el TRH existe mayor remoción de la materia orgánica carbonosa, en donde, para un TRH de 4 y 8 horas existe una remoción de 87.86% y 91.45 % (cuadro 6) respectivamente, por lo tanto, se puede afirmar que existe una mayor remoción en el reactor de biodiscos para TRH de 4 y 8 horas, de acuerdo con la prueba TUKEY (cuadro 8), presentan efecto simple similar sobre la remoción de la DQO, esto comparado a lo dicho por DÍAZ y VEGA (2013), que evaluó la remoción en un Reactor Aerobio de Flujo Ascendente (RAFA o UASB por sus siglas en inglés), donde se

obtuvo porcentajes promedio de remoción cercanos al 81,42% para la DQO, en donde ellos incrementaron la carga orgánica durante el tiempo de arranque del RAFA, en lo que al reactor de biodiscos no se realizó dicho incremento de carga orgánica.

De acuerdo a la prueba Tukey para la  $DBO_5$  existe un efecto simple similar sobre la eficiencia de remoción para los TRH de 4 horas y 8 horas, difiriendo del TRH de 2 horas, teniendo mayor efecto simple a TRH de 8 horas con 88.19 % de remoción, de acuerdo a lo dicho por ROMERO (2008) en su libro Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño, donde afirma que se necesita una gran cantidad de oxígeno para poder oxidar la materia orgánica biodegradable por parte de los microorganismos aerobios, donde se puede afirmar que en el reactor de biodiscos se obtuvo una gran eficiencia de remoción para los 3 diferentes TRH tanto para 2, 4 y 8 horas, esto se debe a que la cantidad de los discos que se encuentran en las 2 primeras etapas (15 discos cada una) permitió esta gran remoción, dado que en estas dos primeras etapas se remueve una gran cantidad de materia orgánica.

En esta tesis la remoción de SST para el TRH de 8 horas fue de 85.61 %, que fue mayor con respecto a los autores y teniendo mayor efecto simple con respecto a los demás TRH y siendo diferente ya que mediante la prueba Tukey los TRH de 2 y 4 horas tienen efecto simple similar sobre la eficiencia de remoción. SPENGEL Y DZOMBAK (1991), sostiene que más del 80% de los SST eran volátiles, provenientes de la biomasa desprendida de los discos, causado por el roce o fuerzas cortantes entre los discos y el agua

residual, esto se debe de que a mayor TRH existió una mayor sedimentación y por ende una mayor remoción de los SST, esto también es coadyuvado por el tanque de sedimentación secundario que se encuentra en la parte ultima del reactor.

En esta tesis se ha podido observar que mediante la prueba Tukey los TRH de 2 horas, 4 horas y 8 horas, presentan efecto estatísticamente similar sobre la eficiencia de remoción de nitratos (N), teniendo mayor efecto estadísticamente al TRH de 8 horas (70.00 %) y menor a tiempo de 2 horas y 4 horas con una misma media de remoción (63.33%), de acuerdo a los autores, la eficiencia de remoción de esta investigación sobrepasa a lo expuesto por ellos, ya que se ha trabajado con 4 etapas de discos y adicionalmente un sedimentador secundario que ayudó a la remoción de nitratos, con respecto a lo dicho por METCALF y EDDY (1996), donde afirma que en un proceso aerobio, 20% del Nitrógeno que entra en el agua residual es retenido en la sedimentación primaria. Posteriormente en el tratamiento secundario otro 20% se incorpora en las células para la asimilación (síntesis), la cual consiste en la incorporación del nitrógeno amoniacal dentro de la masa celular, se comprueba que aún existe una cantidad considerable de nitrógeno en el agua (30 – 40 %) de acuerdo a lo dicho por CRITES y TCHOBANOGLOUS (2000), donde dice que la remoción por asimilación se hace luego que la biomasa se retira del sistema de tratamiento de agua mediante la purga de lodos, no obstante la mayoría de aguas residuales tienen mayores contenidos de nitrógeno de lo que puede ser asimilado.

En nuestro sistema de biodiscos de acuerdo a la prueba Tukey para los TRH presentan efecto simple diferente sobre la eficiencia de remoción de los fosfatos. Para el TRH de 8 horas se tiene una mayor remoción con un 65.33 %, teniendo mayor efecto simple con respecto a los demás TRH, y con respecto a los otros autores tiene más del doble de remoción, de acuerdo a lo dicho por RAMALHO (1993); METCALF y EDDY (1996); CRITES y TCHOBANOGLOUS (2000), el fósforo sólo hace parte del componente celular en promedio un 3% y por lo tanto es poco lo que incorporan dentro de su estructura, siendo relativamente baja las eficiencias en un tratamiento biológico convencional alcanzando sólo de 10% a 30% de remoción, esta diferencia se debe a que se adecuó 4 etapas de discos en las cuales las dos primeras se remueve en su mayoría la materia orgánica carbonosa y en las dos últimas los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo.

En el presente estudio se obtuvo remociones totales promedio para 4 horas de 73.01% y para 8 horas en 80.18%, resultados inferiores obtuvo PEREZ (2010) en su tesis “Aplicación y evaluación de un reactor de Contactores Biológicos Rotativos (RBC O Biodiscos) a escala laboratorio como tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario de La Pradera”, donde obtuvo como remoción total promedio de 69% de carga orgánica a pH promedios de 5.0; estas diferencias poco significativas en la remoción de carga orgánica se debe a la influencia del pH, tal como menciona METCALF y EDDY (1996), el pH óptimo para el crecimiento bacteriano se sitúa entre 6.5 y 7.5.

## **VI. CONCLUSIÓN**

1. El diseño empleado para la construcción del reactor de biodiscos a escala de laboratorio permitió un óptimo desempeño para la remoción de DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, nitratos y fosfatos.
2. El pH promedio de 7.3 para el TRH de 8 horas fue óptimo para el desempeño de los microorganismos, la temperatura no varió significativamente en los 3 TRH y el oxígeno disuelto (OD) se ve influenciado directamente con la carga orgánica presente en el agua a tratar.
3. Las concentraciones del afluente del reactor no variaron significativamente para cada TRH, contrario a las concentraciones del efluente del reactor en las que se observa que varían significativamente para la DQO, DBO<sub>5</sub> y SST; esto debido al incremento del TRH.
4. Se logró obtener mejores resultados para TRH de 4 y 8 horas, con una tasa de remoción de los parámetros fisicoquímicos controlados de 73.01% y 80.18% respectivamente, siendo directamente proporcional por ende a mayor TRH mayor eficiencia de remoción.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda establecer un espaciamiento entre discos de 10 mm en la primera etapa (15 discos), para así evitar la sobrecarga de la biopelícula y que exista mayor oxigenación de los microorganismos.
2. Asegurar y garantizar el suministro de la fuente de energía las 24 horas al día, para evitar paradas las cuales pueden ocasionar el desprendimiento de biopelícula.
3. Se recomienda usar material de superficie rugosa en los biodiscos en ambos lados, a fin de que entre los intersticios del material se vayan depositando los microorganismos.
4. Realizar un análisis de costos para el funcionamiento y mantenimiento de los biodiscos a nivel real.
5. De acuerdo a los resultados de esta tesis se recomienda trabajar para este tipo de tratamiento, con TRH mayores o iguales a 4 horas, por su efectiva remoción de carga orgánica.
6. Comparar los resultados con los límites máximos permisibles (LPM) vigentes.

# **EFFECT OF THE HYDRIC RETENTION TIME OF A BIODISC REACTOR AT LABORATORY SCALE, IN THE DEPURATION OF THE EFFLUENT FROM THE TINGO MARIA MUNICIPAL SLAUGHTERHOUSE**

## **VIII. ABSTRACT**

In the city of Tingo Maria the liquid effluent coming from the urban and industrial waste present a high organic charge, with this in mind, the present research work had the objective of evaluating the effect of the hydric retention time (HRT; TRH in Spanish) of a biodisc reactor, at laboratory scale, in the depuration of the effluent from the Tingo Maria municipal slaughterhouse; analyzing the removal of the physicochemical parameters such as: the chemical oxygen demand (COD; DQO in Spanish), the biochemical oxygen demand (BOD; DBO<sub>5</sub> in Spanish), the total suspended solids (TSS; SST in Spanish), nitrates and phosphates, under the performance variables such as temperature (T), potential hydrogen (pH) and dissolved oxygen (DO; OD in Spanish), when evaluated at three different TRHs. A biodisc reactor was constructed, at laboratory scale, with forty eight polystyrene disks place over a stainless steel axis, divided into four stages, spinning at a velocity of 0.18 m/s, the experimental part was carried out in a water quality laboratory, the analysis of the physicochemical parameters was done in the general microbiology laboratory at the Universidad Nacional Agraria de la Selva in Tingo María, Peru. The efficiency of the total removal for the physicochemical parameters such as DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, nitrates and phosphates

was 65.90% for a TRH of two hours, 73.01% for four hours and for eight hours it was 80.18%, under the influence of the temperature (T), pH and dissolved oxygen (OD), which were measured *in situ* during each stage of the reactor.

**Keywords:** Biodiscs, Biochemical Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand, Total Suspended Solids, Nitrates, Phosphates

## **IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AL-AHMADY, K. K. 2005. "Effect of Organic Loading on Rotating Biological Contactor Efficiency." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2(3): 9pp.
- ÁLVAREZ, A. SUÁREZ, J. H. 2006. Tratamiento biológico del lixiviado generado en el Relleno Sanitario "El Guayabal" de la ciudad de San José de Cúcuta. *Ingeniería y Desarrollo* (20): 11 p.
- ALVES, M. 2007b. Tratamento de Água e Efluentes Líquidos - Reactores de Biodiscos. Recuperado en Julio de 2009, de: <http://www.biologica.eng.uminho.pt/TAEL/downloads/200708/biodiscos.pdf>.
- ANTONIE, R. L. 1976. Design Criteria for application of the Rotating Biological Contactor to domestic and industrial wastewater treatment. *Proc. Int. Env. Colloquium, Liege, Belgium*, 16-19 p.
- APHA y AWWA. 2012. Métodos analizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid, Edición Díaz Santos S.A. 1360 p.
- ÁVILA, O. Y RAMÍREZ, W. 1989. Diseño, Construcción, Montaje y puesta en marcha de un sistema de discos biológicos rotatorios a escala de laboratorio. *Revista ACODAL*, 142, 35-50 p.
- BEHLING, E., CALDERA, Y. A., MARÍN, J. C., GUTIÉRREZ, E. C., FERNÁNDEZ, N. M. 2003a. Comportamiento de un reactor biológico

- rotativo de contacto (RBC) en el tratamiento de efluentes de una industria cárnica. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas 37(1): 14 p.
- BEHLING, E., MARÍN, J. C., GUTIÉRREZ, E., FERNÁNDEZ, N. 2003b. Tratamiento aeróbico de dos efluentes industriales utilizando reactores biológicos rotativos de contacto. Multiciencias 3(2): 12 p.
- BEHLING, E., RINCÓN, N., DÍAZ, A., MARÍN, J., COLINA, G., FERNANDEZ, N. 2008. Tratamiento biológico de aguas residuales industriales: Efluente camaronero en reactores RBC. Bol. Centro de Investigación Biológica. 42(2): 7 p.
- BORZACCONI, L., LÓPEZ, I., ARCIA, E., CARDELINO, L., CASTAGNO, Á., VIÑAS, M. 1996. Comparación de tratamientos aerobios y anaerobios aplicados a lixiviado de relleno sanitario. Recuperado en Agosto de 2008, de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01147e20.pdf>.
- CASTILLO, E., VERGARA, M., MORENO, Y. 2007. Landfill leachate treatment using a rotating biological contactor and an upward-flow anaerobic sludge bed reactor. Waste management (20): 7 p.
- CASTILLO, F., VIVAS, F. 1996. Tratamiento de Aguas Residuales, de una Empresa Papelera, con Sistema de Biodiscos. Revista Acotepac (29): 6 p.
- COLLAZOS, C. 2008. Tratamiento de Aguas Residuales - Generalidades. Recuperado el 1 de Julio de 2012, de Universidad Nacional de Colombia: ([http://www.ing.unal.edu.co/catedra/drs\\_diaz\\_collazos](http://www.ing.unal.edu.co/catedra/drs_diaz_collazos)).
- CORTEZ, S., TEIXEIRA, P., OLIVEIRA, R., MOTA, M. 2008. Rotating biological contactors: a review on main factors affecting performance. Reviews in Environmental Science and Biotechnology 7(2): 18 p.

- COSTLEY, S. C., WALLIS, F. M. 2000. Effect of flow rate on heavy metal accumulation by rotating biological contactor (RBC) biofilms. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology* 24(4): 7 p.
- CRITES, R. & TCHOBANOGLOUS, G. 2000. *Sistemas de manejo de Aguas Residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Bogotá, McGraw Hill. 701 p.
- DIAZ R., VEGA J. 2013. Efecto de la variación de la carga orgánica en el desempeño de un reactor UASB (upflow anaerobic sludge blanket) tratando efluentes de una planta extractora de aceite de palma. *Rev. Amb. Pamplona*. 4 (1). 23-32.
- DIEZ, J. F, GÓMEZ, V. J. 1999. *Diseño y Construcción de un sistema de Biodiscos para el tratamiento de Aguas Residuales*. Tesis Ing. Mecánico. Escuela de Ingenierías -Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Bolivariana, UPB. Medellín, Colombia. 158 p.
- DI PALMA L., VERDONE, N. 2008. The effect of disk rotational speed on oxygen transfer in rotating biological contactors. *Bioresource Technology*. 100(3): 4 p.
- DROPPELMANN, V., LÓPEZ, R. Y WILKES, M. 2001. Evaluación de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas en Base a Biodiscos. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental ABES. Brasil. 26 p.
- GARCÍA, Z. 2012. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de

- aguas residuales domésticas. Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería, 9-16 p.
- GRADY C. P. L. JR., DAIGGER, G. T., LIM, H. C. 1999. Biological wastewater treatment. New York, Marcel Dekker. 1076 p.
- HERNÁNDEZ M. A.; HERNÁNDEZ L. A.; GALÁN M. P. 1996. Manual de Depuración Uralita: Sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20000 habitantes. Ed. Paraninfo s.a.: Madrid. 429 p.
- KAPOOR, A., KULPER, A., BEDARD, P., GOULD, W. D. 2003. "Use of a rotating biological contactor for removal of ammonium from mining effluents." The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection 3(1): 13 p.
- MBA, D., BANNISTER, R. H., FINDLAY, G. E. 1999. Mechanical redesign of the rotating biological contactor." Water Research 33(18): 10 p.
- MBA, D. 2003. "Mechanical evolution of the rotating biological contactor into the 21st century." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Parte: Journal of Process Mechanical Engineering 217(3): 31 p.
- METCALF y EDDY. 1996. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. México D.F, McGraw Hill. 1485 p.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2002(a). Guía Ambiental para Rellenos Sanitarios. Bogotá. 200 p.
- OROZCO A. y SALAZAR A. 1987. Tratamiento biológico de las aguas residuales. Universidad de Antioquia, facultad de ingeniería. Departamento de sanitaria. CESET. Segunda edición Medellín. Colombia. 216 p.

- PATWARDHAN, A. W. 2003. Rotating Biological Contactors: A Review. Ind. Eng. Chem. Res, 42, 2035-2051 p.
- PÉREZ, J. 2010. Aplicación y evaluación de un reactor de Contactores Biológicos Rotativos (RBC O Biodiscos) a escala laboratorio como tratamiento de los lixiviados generados en el Relleno Sanitario de la Pradera. Tesis Magister en Ingeniería Urbana. Medellín, Colombia. 185 p.
- RAMALHO, R. S. 1993. Tratamiento de Aguas Residuales. Barcelona, Reverte. 705 p.
- ROMERO, J. A. 2008. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá, Escuela Colombiana de Ingeniería. 1248 p.
- SIGNORINI, M., CIVIT, S., BONILLA, M., CERVANTES, M., CALDERON, M., PEREZ, A., DEL PILAR, M., ALMANZA, C. 2006. Evaluación de riesgos de los rastros y mataderos municipales. México D.F, México. Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios. 62 p.
- SPELLMAN, F. R. 2003. Handbook of Water and Wastewater treatment plant operations. Boca Raton (Florida), Lewis Publishers. 661 p.
- WELTER, A. B., ROMERO, J. M., GRUMELLI, Y. A., SANCHEZ, J. A., ASCAR, G.I. 2004. La Biopelícula en los procesos RBC. Recuperado en Agosto de 2008, de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/argentina14/welter.pdf>.

## **X. ANEXOS**

## ANEXO 01. CUADROS COMPLEMENTARIOS

Cuadro 17. Compendio de diferentes estudios con remociones de contaminantes.

| TIPO DE AR        | Tamaño         | Remociones % |                  |      |           |         | Autor                             |
|-------------------|----------------|--------------|------------------|------|-----------|---------|-----------------------------------|
|                   |                | DQO          | DBO <sub>5</sub> | SST  | Nitrógeno | Fósforo |                                   |
| Ind. Papelera     | Pequeña escala | 85.3         | 97.5             | 88.2 |           |         | (Dautant y López, 1997)           |
| Ind. Papelera     | Escala real    | 90.0         | 96.0             |      |           |         | (Dautant y López, 1997)           |
| Lixiviado         | Pequeña escala | 70.0         |                  |      |           |         | (Castillo <i>et al.</i> , 2007)   |
| Lixiviado         | Pequeña escala | 90.0         |                  |      |           |         | (Borzacconi <i>et al.</i> , 1996) |
| Lixiviado         | Pequeña escala | 75.9         |                  |      |           |         | (Álvarez y Suárez, 2006)          |
| Lixiviado Maduro  | Escala real    | 16.0         | 86.0             |      | 85.0      |         | (Moghabghab, 1997)                |
| Industria cárnica | Pequeña escala | 92.0         |                  |      | 63.1      |         | (Behling <i>et al.</i> , 2003a)   |
| Ind. Petrolera    | Pequeña escala | 76.1         |                  |      |           |         | (Behling <i>et al.</i> , 2003b)   |
| Industria cárnica | Pequeña escala | 87.9         |                  |      |           |         | (Behling <i>et al.</i> , 2003b)   |
| Industria cárnica | Pequeña escala | 79.0         | 80.0             | 61.0 |           |         | (Oguz y Oguz, 1993)               |
| Industria minera  | Escala real    |              |                  |      | 95 - 99   |         | (Kapoor <i>et al.</i> , 2003)     |

|                  |                |      |      |      |      |      |                                     |
|------------------|----------------|------|------|------|------|------|-------------------------------------|
| Industria minera | Pequeña escala |      |      |      | 95   |      | (Kapoor <i>et al.</i> , 2003)       |
| Industria de     |                |      |      |      |      |      |                                     |
| producción de    | Pequeña escala | 87.4 | 97.8 |      | 30.5 | 25.6 | (Burrows <i>et al.</i> , 1986)      |
| explosivos       |                |      |      |      |      |      |                                     |
| ARD              | Pequeña escala | 75   |      | 80   | 40   | 41   | (Fountoulakis <i>et al.</i> , 2009) |
| ARD              | Pequeña escala | 77   |      |      | 31   |      | (Tawfik <i>et al.</i> , 2006)       |
| ARD              | Pequeña escala | 82.3 | 85.8 | 63.2 | 85   | 32.3 | (Hiras <i>et al.</i> , 2004)        |
| Ind. De enlatado |                |      |      |      |      |      |                                     |
| de comidas       | Pequeña escala |      | 96.4 |      |      |      | (Najafpour <i>et al.</i> , 2006)    |

Fuente: PEREZ (2010).

Cuadro 18. Especificaciones técnicas del diseño del reactor de biodiscos.

| VARIABLE                                                                     | ECUACIÓN | VALORES | RESULTADO         |
|------------------------------------------------------------------------------|----------|---------|-------------------|
| <b>Especificaciones técnicas establecidas previamente (4.1. METODOLOGÍA)</b> |          |         |                   |
| Porcentaje de área inmersa de discos                                         |          |         | 40%               |
| Diámetro de los discos                                                       |          |         | 0.28 m            |
| Espesor de los discos                                                        |          |         | 2 mm              |
| Material Discos y subdivisiones de Etapas                                    |          |         | Poliestireno      |
| Material Tanque                                                              |          |         | PVC Novafort      |
| Etapas en el reactor                                                         |          |         | 4                 |
| Número de Discos                                                             |          |         | 48                |
| Espaciamientos entre discos                                                  |          |         | 6 mm              |
| Espaciamiento entre disco y división de etapa                                |          |         | 3.5 cm            |
| Velocidad de rotación de los discos (previo)                                 |          |         | 12 RPM (0.18 m/s) |
| Diámetro interno del tanque                                                  |          |         | 0.28 m            |

|                                                               |                                                             |                                                 |                                                 |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Sistema de Recirculación                                      | No posee                                                    |                                                 |                                                 |
| Material del soporte del reactor                              | Madera                                                      |                                                 |                                                 |
| <b>Especificaciones técnicas calculadas (5.1. RESULTADOS)</b> |                                                             |                                                 |                                                 |
| Área Efectiva de discos                                       |                                                             |                                                 |                                                 |
| para                                                          | $A = \frac{\pi}{2} \times n_T \times (D^2 - d^2)$           | Nt: 48, D: 0.28 m, d: 0.02 m                    | A = 5.9 m²                                      |
| tratamiento                                                   |                                                             |                                                 |                                                 |
| Longitud del reactor                                          | L = E1+E2+E3+E4                                             | E1 y E2: 18.4 cm , E3 y E4: 13.6 cm             | L = 64 cm                                       |
|                                                               |                                                             | At: 0.0296 m²                                   |                                                 |
|                                                               |                                                             | L: 0.64 m                                       |                                                 |
| Volumen efectivo del reactor                                  | $V_R = (A_t \times L) - (A_d \times P \times e \times n_T)$ | Ad: 0.0616 m²<br>P: 0.4<br>e: 0.002 m<br>nT: 48 | $V_R = 0.0165 \text{ m}^3 \cong 16.5 \text{ L}$ |
| Caudal                                                        | Q = V_R X TRH                                               |                                                 |                                                 |

|                                                               |                                                                                 |                                                           |                                                           |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Volumen del sedimentador                                      | $V_{sed} = (TRH \times Q)$                                                      | TRH: 8 h<br>Q:                                            | $V_{sed} = 4.44 \text{ L}$<br>$\cong 0.00444 \text{ m}^3$ |
| Longitud del sedimentador                                     | $L_{sed} = \frac{V_{sed}}{A_t}$                                                 | Vsed: 0.00444 m <sup>3</sup><br>At: 0.0296 m <sup>2</sup> | $L_{sed} = 0.15 \text{ m}$                                |
| Diámetro Eje                                                  |                                                                                 |                                                           | $\frac{3}{4}$ pulgadas                                    |
| Material Eje                                                  |                                                                                 |                                                           | Acero inoxidable                                          |
| Motor (Potencia)                                              |                                                                                 |                                                           | 1/8 hp                                                    |
| RPM externas del motor                                        |                                                                                 |                                                           | 60 RPM                                                    |
| Elementos de transmisión de potencia                          |                                                                                 |                                                           | Transmisión mediante<br>poleas y correa                   |
| Diámetro escogido para la polea del motorreductor             |                                                                                 |                                                           | 0,0508 m (2 in)                                           |
| Diámetro para la polea del<br>eje calculado y<br>seleccionado | $W_m \times \left(\frac{D_m}{2}\right) = W_e \times \left(\frac{D_e}{2}\right)$ | Wm: 60 RPM<br>Dm: 0.0508 M<br>We: 12 RPM                  | $D_e = 0.254 \text{ m} \cong 10 \text{ pulg}$             |
| Material de las poleas                                        |                                                                                 |                                                           | Aluminio                                                  |

|                                        |                            |                      |                                          |
|----------------------------------------|----------------------------|----------------------|------------------------------------------|
| Tipo de correa                         |                            | Perfil Tipo A        |                                          |
| Rango para la distancia                | $D_e < C_e < 3(D_m + D_e)$ | De: 0.0508 m         | $0.254 \text{ m} < C_e < 0.90 \text{ m}$ |
| entre centros de poleas                |                            | Dm: 0.254 m          |                                          |
| Distancia entre centros (seleccionada) |                            | Ce=0.32 m≅12.6 pulg. |                                          |

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo 04 (cuadros 27, 28 y 29) se listan todas las variables, unidades y abreviaturas organizadas en orden alfabético para facilitar la búsqueda de los significados.

### Determinación de los valores de pH, temperatura y oxígeno disuelto

A continuación, se muestran los cuadros con los valores de pH, temperatura y oxígeno disuelto determinados en cada etapa del reactor de biodiscos para el tratamiento de aguas residuales del Matadero Municipal de Tingo María.

Cuadro 19. Determinación de los valores de pH, en cada etapa, para los TRH de 2, 4 y 8 horas, con sus repeticiones.

| TRH (h) |     | pH por etapa |     |     |     |
|---------|-----|--------------|-----|-----|-----|
|         |     | 1            | 2   | 3   | 4   |
| 2       | I   | 8.4          | 8.1 | 8.3 | 8.4 |
|         | II  | 7.9          | 7.7 | 7.7 | 7.5 |
|         | III | 7.7          | 7.6 | 7.2 | 6.9 |
| 4       | I   | 6.7          | 6.9 | 6.5 | 6.8 |
|         | II  | 7.7          | 7.6 | 7.5 | 7.1 |
|         | III | 7.1          | 6.8 | 7.2 | 7.1 |
| 8       | I   | 6.4          | 7.3 | 7.2 | 7.8 |
|         | II  | 6.8          | 7.1 | 7.7 | 7.5 |
|         | III | 7            | 7.7 | 7.5 | 7.3 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 20. Determinación de los valores de temperatura ( $T^{\circ}$ ), en cada etapa, para los TRH de 2, 4 y 8 horas, con sus repeticiones.

| TRH (h) |     | T° por etapa (°C) |      |      |      |
|---------|-----|-------------------|------|------|------|
|         |     | 1                 | 2    | 3    | 4    |
| 2       | I   | 28.9              | 27.1 | 27.1 | 26.3 |
|         | II  | 27.3              | 27.5 | 27   | 26.2 |
|         | III | 26.7              | 26.8 | 26.6 | 25.7 |
| 4       | I   | 25.8              | 25.5 | 25.3 | 26   |
|         | II  | 26.3              | 26.1 | 25.8 | 24.9 |
|         | III | 27.3              | 26.8 | 26.1 | 25.7 |
| 8       | I   | 27.1              | 27   | 27.5 | 25.6 |
|         | II  | 27.3              | 26.8 | 24.3 | 25.5 |
|         | III | 25.8              | 24.3 | 25.6 | 25.6 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 21. Determinación de los valores de oxígeno disuelto (OD), en cada etapa, para los TRH de 2, 4 y 8 horas, con sus repeticiones.

| TRH (h) |     | OD por etapa (mg/L) |      |      |      |
|---------|-----|---------------------|------|------|------|
|         |     | 1                   | 2    | 3    | 4    |
| 2       | I   | 1.3                 | 0.97 | 2.3  | 3.1  |
|         | II  | 0.61                | 1.57 | 1.5  | 1.4  |
|         | III | 1.04                | 1.25 | 2.1  | 2.51 |
| 4       | I   | 0.85                | 0.6  | 1.1  | 1.3  |
|         | II  | 0.95                | 1.4  | 0.99 | 1.89 |

|   |     |      |      |      |     |
|---|-----|------|------|------|-----|
|   | III | 1.3  | 1.85 | 1.95 | 2.2 |
|   | I   | 1.45 | 1.95 | 2.9  | 4.2 |
| 8 | II  | 1.35 | 1.8  | 3.35 | 5.1 |
|   | III | 1.2  | 1.75 | 3.65 | 3.8 |

Fuente: Elaboración propia.

### Determinación de concentraciones Fisicoquímicas.

A continuación, se muestran los cuadros de las concentraciones de DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, nitratos y fosfatos que fueron analizados a la entrada y salida del agua residual en el reactor biodiscos

Cuadro 22. Determinación de la concentración de DQO, a la entrada y salida del reactor, para los TRH de 2, 4 y 8 horas con sus repeticiones.

| TRH (h) | Repeticiones | DQO (mg/L) |      |
|---------|--------------|------------|------|
|         |              | E          | S    |
| 2       | I            | 9200       | 2500 |
|         | II           | 9350       | 1800 |
|         | III          | 9800       | 2100 |
| 4       | I            | 9650       | 1300 |
|         | II           | 9200       | 1000 |
|         | III          | 9150       | 1100 |
| 8       | I            | 9000       | 780  |
|         | II           | 9500       | 750  |
|         | III          | 9700       | 880  |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 23. Determinación de la concentración de DBO<sub>5</sub>, a la entrada y salida del reactor, para los TRH de 2, 4 y 8 horas con sus repeticiones.

| TRH (h) | Repeticiones | DBO (mg/L) |      |
|---------|--------------|------------|------|
|         |              | E          | S    |
| 2       | I            | 4500       | 2500 |
|         | II           | 5600       | 1800 |
|         | III          | 5200       | 2100 |
| 4       | I            | 4120       | 1300 |
|         | II           | 5800       | 1000 |
|         | III          | 5100       | 1100 |
| 8       | I            | 4300       | 780  |
|         | II           | 4200       | 750  |
|         | III          | 5600       | 880  |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 24. Determinación de la concentración de SST, a la entrada y salida del reactor, para los TRH de 2, 4 y 8 horas con sus repeticiones.

| TRH (h) | Repeticiones | SST (mg/L) |      |
|---------|--------------|------------|------|
|         |              | E          | S    |
| 2       | I            | 3580       | 1200 |
|         | II           | 3230       | 980  |
|         | III          | 2940       | 1300 |
| 4       | I            | 3870       | 950  |
|         | II           | 3150       | 880  |

|   |     |      |      |
|---|-----|------|------|
|   | III | 2798 | 1000 |
|   | I   | 2980 | 420  |
| 8 | II  | 3300 | 500  |
|   | III | 3450 | 480  |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 25. Determinación de la concentración de nitratos, a la entrada y salida del reactor, para los TRH de 2, 4 y 8 horas con sus repeticiones.

| TRH (h) | Repeticiones | Nitratos (mg/L) |   |
|---------|--------------|-----------------|---|
|         |              | E               | S |
| 2       | I            | 10              | 4 |
|         | II           | 10              | 4 |
|         | III          | 10              | 3 |
| 4       | I            | 10              | 4 |
|         | II           | 10              | 4 |
|         | III          | 10              | 3 |
| 8       | I            | 10              | 2 |
|         | II           | 10              | 4 |
|         | III          | 10              | 3 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 26. Determinación de la concentración de fosfatos, a la entrada y salida del reactor, para los TRH de 2, 4 y 8 horas con sus repeticiones.

| TRH (h) | Repeticiones | Fosfatos (mg/L) |   |
|---------|--------------|-----------------|---|
|         |              | E               | S |

|   |     |    |    |
|---|-----|----|----|
|   | I   | 50 | 25 |
| 2 | II  | 50 | 28 |
|   | III | 50 | 24 |
|   | I   | 50 | 22 |
| 4 | II  | 50 | 21 |
|   | III | 50 | 20 |
|   | I   | 50 | 17 |
| 8 | II  | 50 | 18 |
|   | III | 50 | 17 |

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 02. FIGURAS COMPLEMENTARIAS.

### Variación del pH.

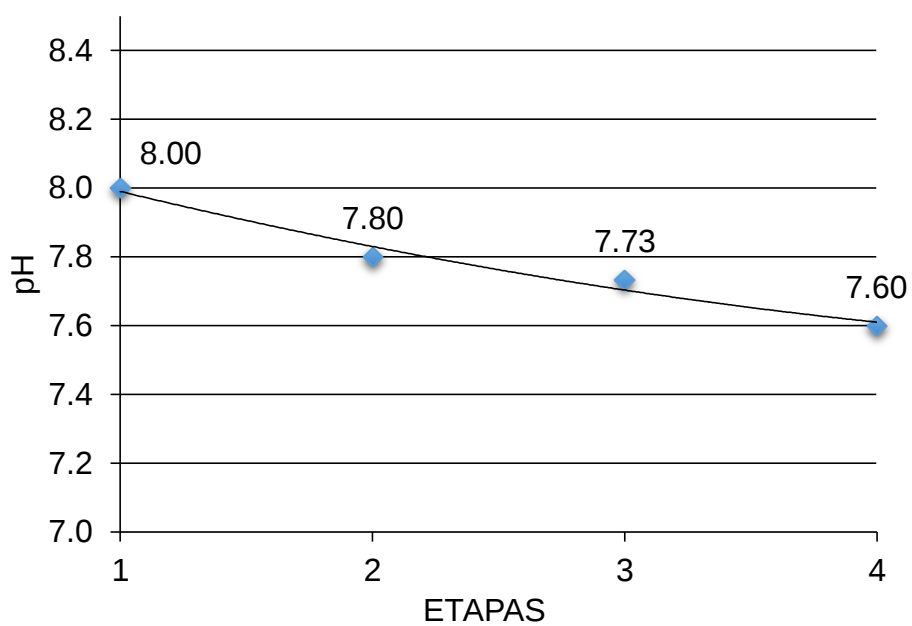


Figura 15. Variación del pH con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 2 horas.

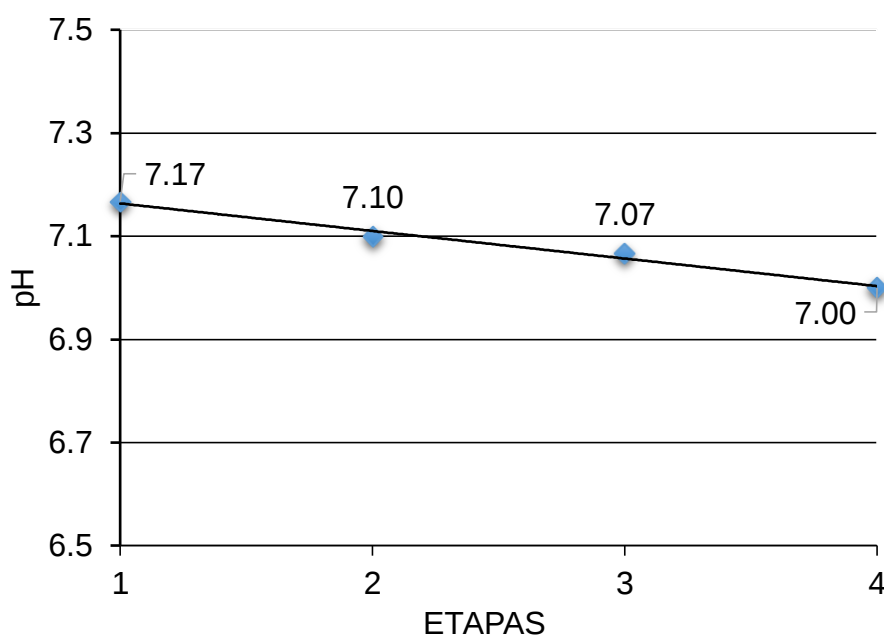


Figura 16. Variación del pH con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 4 horas.

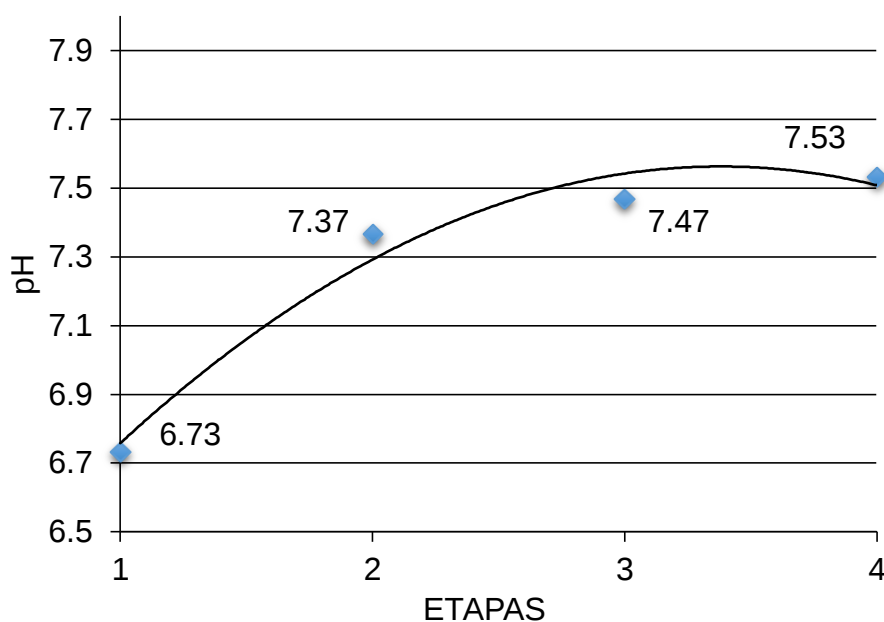


Figura 17. Variación del pH con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 8 horas.

### Comportamiento de la Temperatura

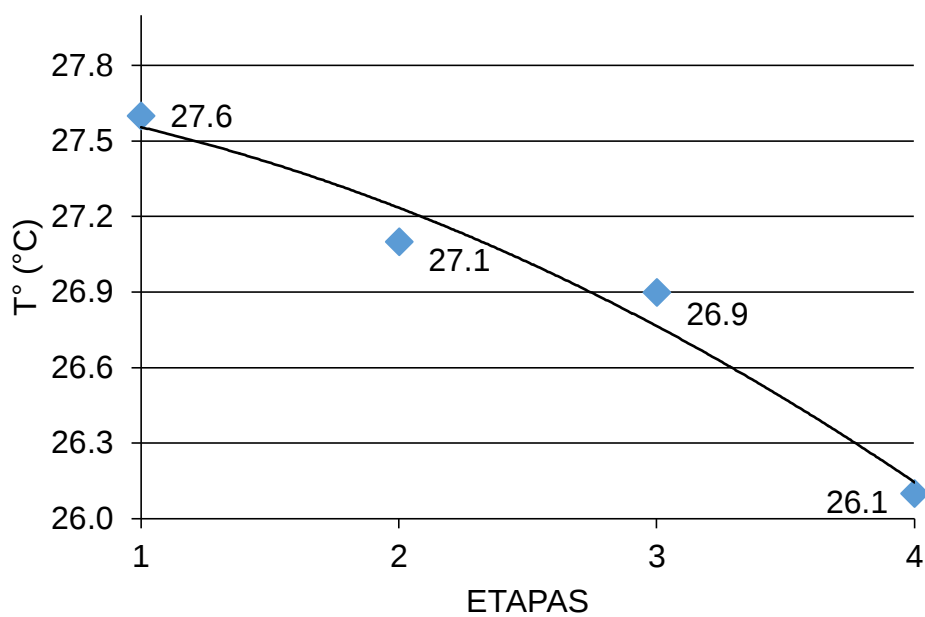


Figura 18. Variación de la temperatura con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 2 horas

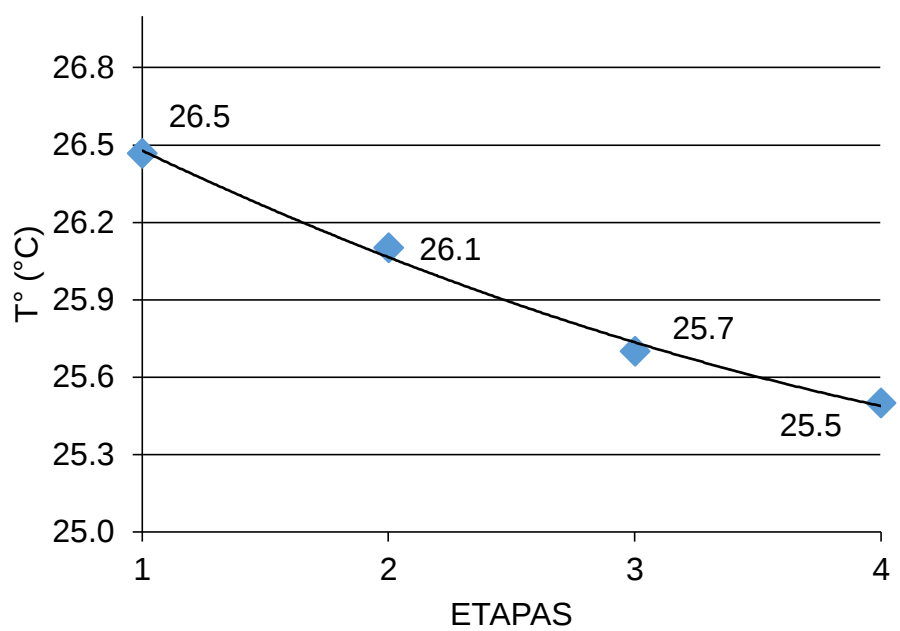


Figura 19. Variación de la temperatura con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 4 horas.

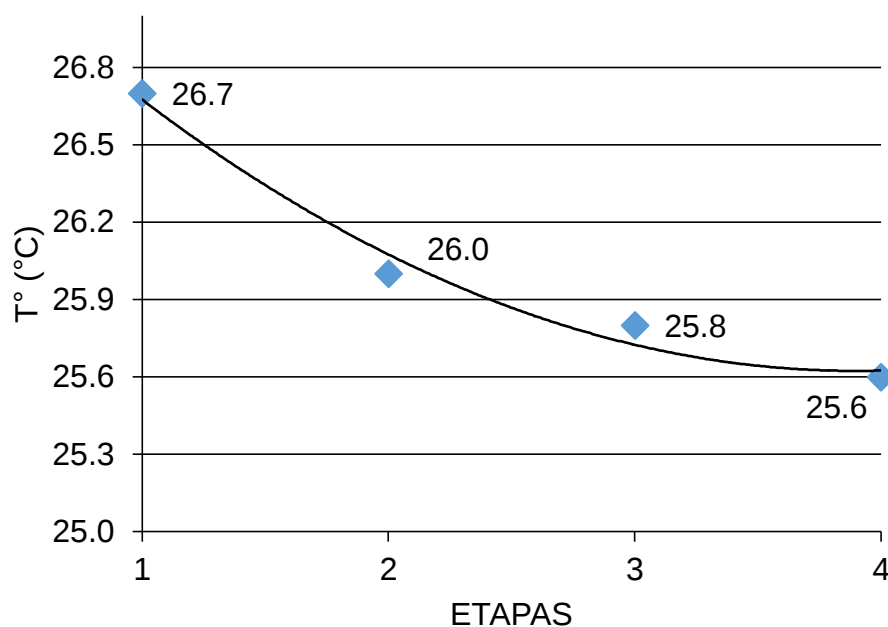


Figura 20. Variación de la temperatura con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 8 horas.

#### Variación del Oxígeno Disuelto.

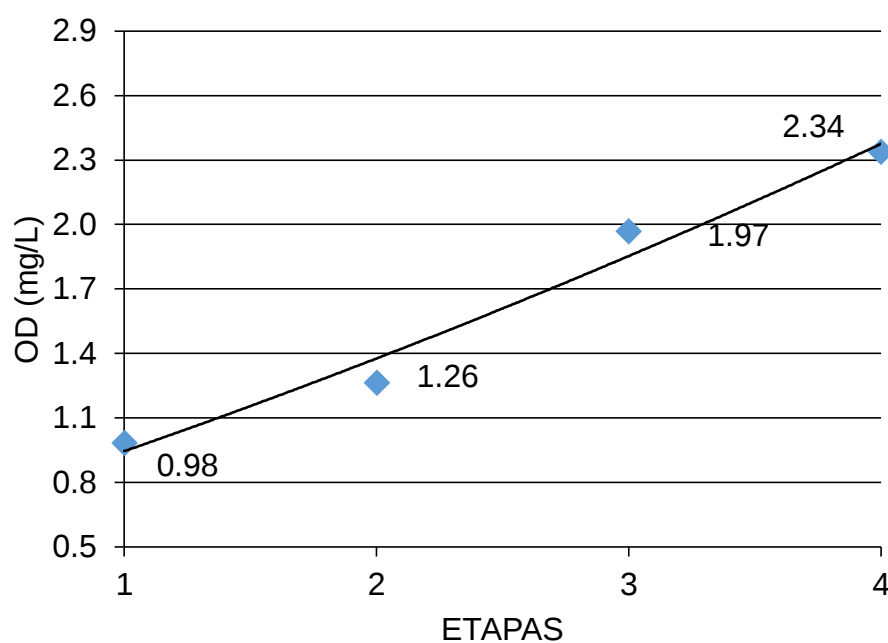


Figura 21. Variación del oxígeno disuelto (OD) con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 2 horas.

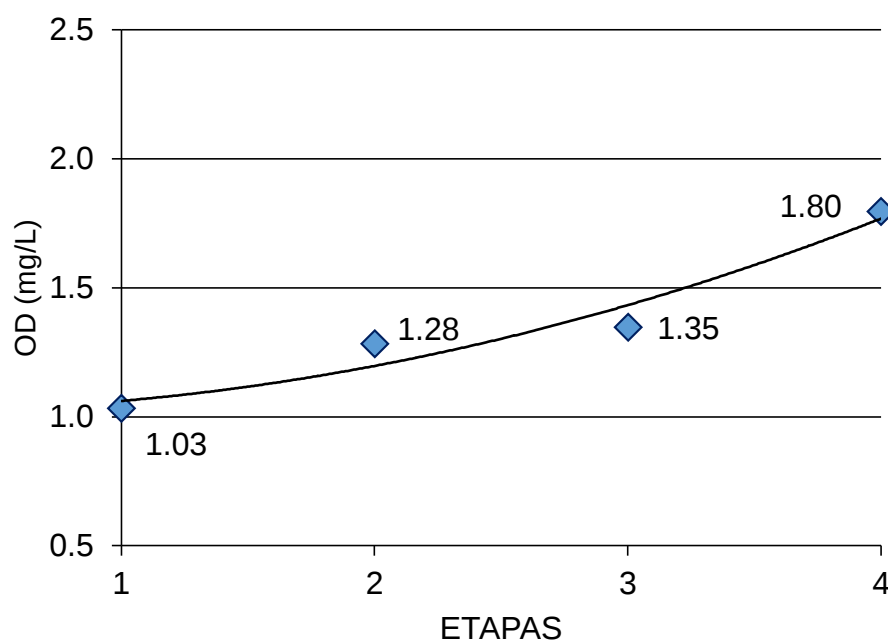


Figura 22. Variación del oxígeno disuelto (OD) con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 4 horas.

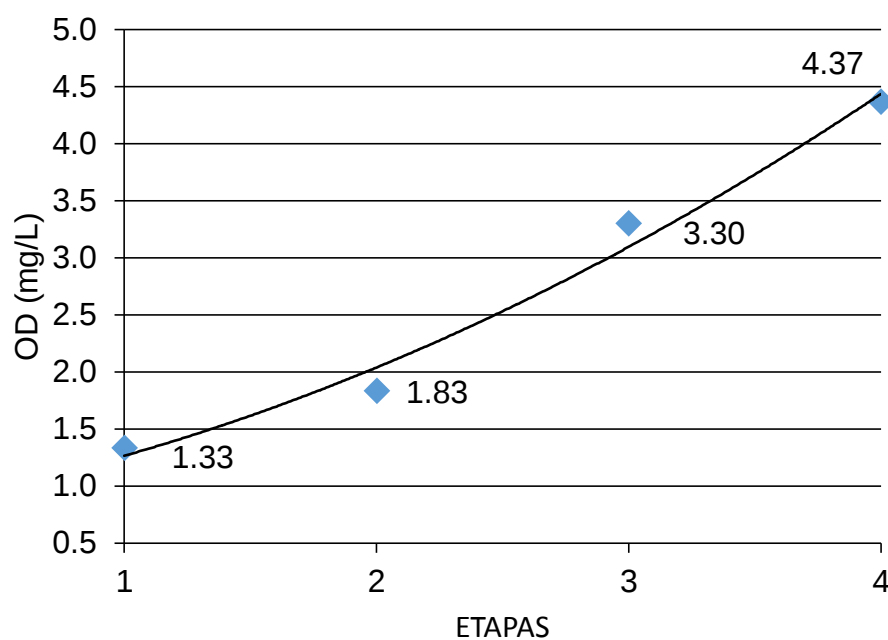


Figura 23. Variación del OD con respecto a las 4 etapas del reactor, para un TRH de 8 horas.

### ANEXO 03. FÓRMULAS.

#### a) Determinación de la velocidad lineal

- Frecuencia: 12 RPM
- Velocidad Angular:  $\omega$
- Número de vueltas:  $\theta$
- Tiempo:  $t$

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

$$\theta = \text{RPM} \times 2\pi\text{rad}$$

$$\theta = 12 \times 2\pi\text{rad}$$

$$\theta = 24\pi\text{rad}$$

$$w = \frac{24\pi\text{rad}}{1 \text{ min}}$$

$$w = \frac{24\pi\text{rad}}{1 \text{ min}} = \frac{24\pi\text{rad}}{60 \text{ s}}$$

$$w = \frac{2\pi\text{rad}}{5 \text{ s}}$$

- Velocidad lineal:  $V_{\text{el}}$
- Radio:  $r$

$$V = \omega \times r$$

$$V_{\text{el}} = \frac{2\pi\text{rad}}{5 \text{ s}} \times 14 \text{ cm}$$

$$\text{Vel} = \frac{28\pi}{5 \text{ s}} \text{ cm}$$

$$\text{Vel} = \frac{17.6 \text{ cm}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

$$\text{Vel} = \frac{0.176 \text{ m}}{\text{s}} \cong 0.18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

## ANEXO 04. NOMENCLATURAS

Cuadro 27. Simbología de unidades utilizadas

| UNIDADES       | SIGNIFICADO             |
|----------------|-------------------------|
| cm             | Centímetro              |
| d              | día                     |
| g              | Gramo                   |
| h              | Hora                    |
| in             | Pulgada                 |
| L              | Litro                   |
| m              | Metro                   |
| m <sup>2</sup> | Metro cuadrado          |
| m <sup>3</sup> | Metro cúbico            |
| mg             | Miligramo               |
| min            | Minuto                  |
| ml             | Mililitro               |
| mm             | Milímetro               |
| RPM            | Revoluciones por minuto |
| s              | Segundo                 |

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 28. Simbología de abreviaciones utilizadas

| <b>ABREVIATURAS</b> | <b>SIGNIFICADO</b>                        |
|---------------------|-------------------------------------------|
| ANOVA               | Análisis de Varianza                      |
| ARI                 | Agua Residual Industrial                  |
| DBO                 | Demanda Bioquímica de Oxígeno             |
| DQO                 | Demanda Química de Oxígeno                |
| N                   | Nitratos                                  |
| OD                  | Oxígeno Disuelto                          |
| P                   | Fosfatos                                  |
| pH                  | Potencial de Hidrógeno                    |
| RBC                 | Rotating Biological Contactor (Biodiscos) |
| SST                 | Sólidos Suspendidos Totales               |
| T                   | Temperatura                               |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 29. Simbología de variables utilizadas

| <b>VARIABLE</b> | <b>SIGNIFICADO</b>                           |
|-----------------|----------------------------------------------|
| A               | Área efectiva de los discos para tratamiento |
| a               | Distancia entre discos                       |
| A <sub>d</sub>  | Área sumergida de cada disco                 |
| A <sub>t</sub>  | Área transversal de agua en el tanque        |
| b               | Distancia entre disco-etapas                 |
| C.H.            | Carga Hidráulica                             |
| C.O.            | Carga Orgánica                               |

---

|           |                                        |
|-----------|----------------------------------------|
| $C_e$     | Distancia entre centros                |
| $D$       | Diámetro del disco                     |
| $d$       | Diámetro de superficie no sumergida    |
| $D_e$     | Diámetro de la polea del eje           |
| $D_m$     | Diámetro de la polea del motorreductor |
| $e$       | Espesor de los discos                  |
| $E_x$     | Longitud de cada etapa                 |
| $L$       | Longitud del reactor                   |
| $L_{sed}$ | Longitud del sedimentador              |
| $n$       | Número de discos por etapa             |
| $N$       | Número de etapas en el reactor         |
| $n_T$     | Número de discos en el reactor         |
| $\theta$  | Número de vueltas                      |
| $P$       | Proporción de área sumergida del disco |
| $Q$       | Caudal                                 |
| $r$       | Radio                                  |
| $TRH$     | Tiempo de Retención Hidráulica         |
| $V_R$     | Volumen efectivo del reactor           |
| $V_{SED}$ | Volumen del sedimentador               |
| $W_e$     | Velocidad angular del eje              |
| $W_m$     | Velocidad angular del motorreductor    |
| $Vel$     | Velocidad lineal                       |

---

## ANEXO 05. PANEL FOTOGRÁFICO.



Figura 24. Recolección de efluentes del matadero de Tingo María.



Figura 25. Tamizado del agua a tratar mediante mallas.



Figura 26. Almacenamiento del agua a tratar.



Figura 27. Reactor de Biodiscos con el agua a tratar.



Figura 28. Formación de flocks en cada etapa.



Figura 29. Formación de biopelícula en la superficie de los discos.



Figura 30. Análisis de nitratos y fosfatos.

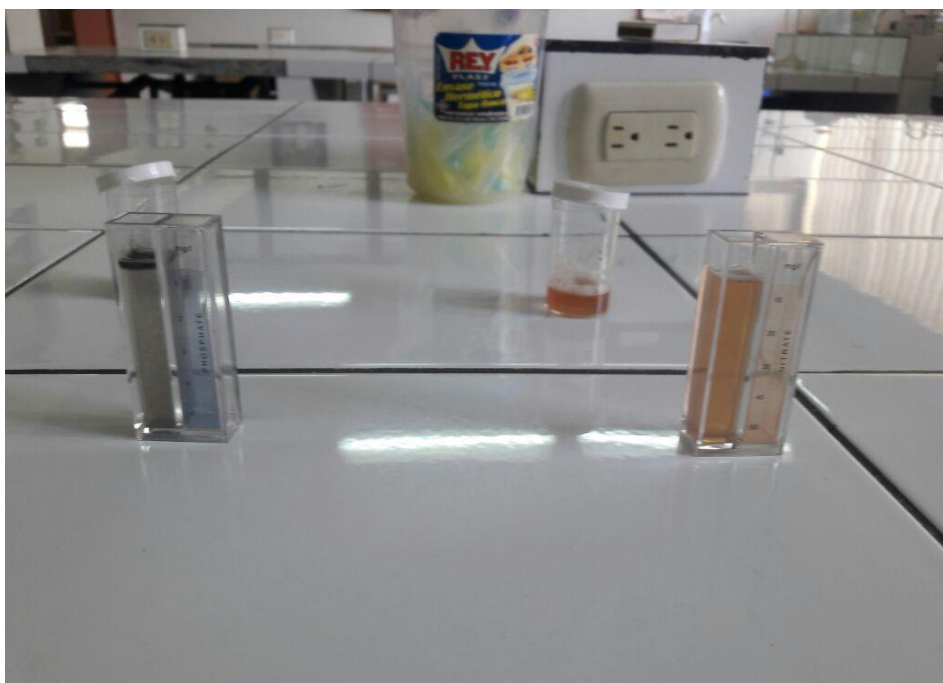


Figura 31. Observación de las muestras de nitratos y fosfatos.



Figura 32. Determinación de sólidos suspendidos totales.



Figura 33. Filtración de la muestra para la determinación de SST.



Figura 34. Reactor Biodiscos a los 7 días de aclimatación.



Figura 35. Separadores de discos.



Figura 36. Discos de poliestireno de diseño arabesco.



Figura 37. Varilla de acero inoxidable de  $\frac{3}{4}$ ".



Figura 38. Chumaceras de  $\frac{3}{4}$ ".



Figura 39. Polea de aluminio de 10" de diámetro.

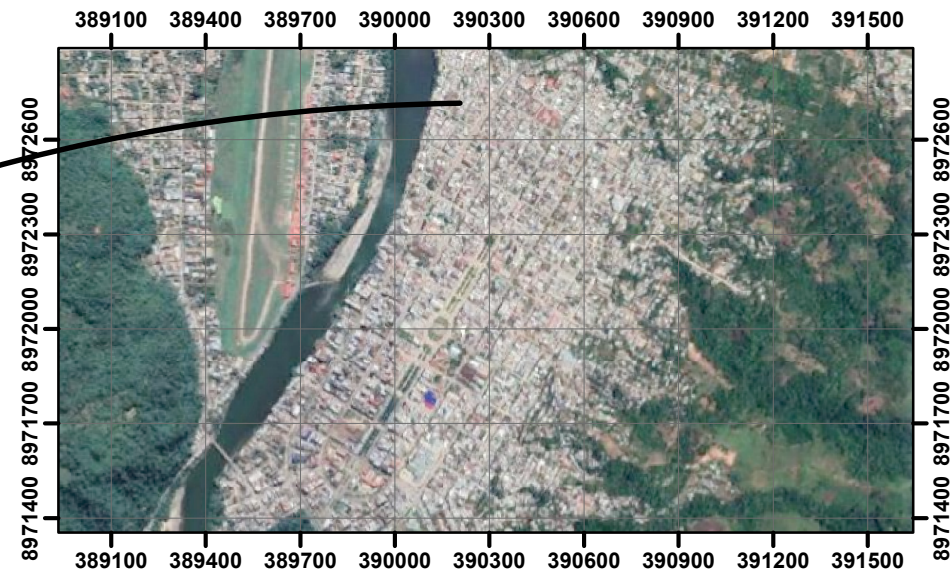


Figura 40. Tanque con etapas.



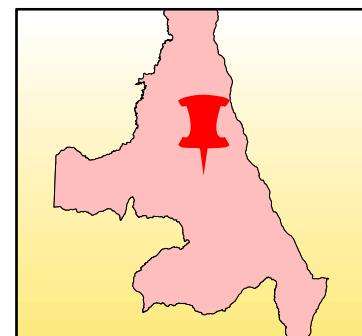
Figura 41. Soporte del reactor.

## **ANEXO 06. MAPAS Y PLANOS**

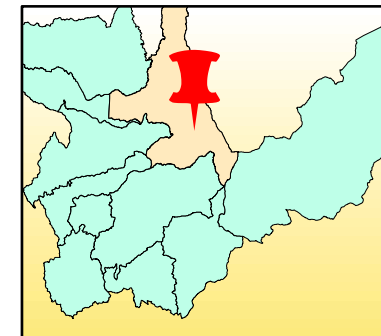


**ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN**

ESCALA: 1/24000

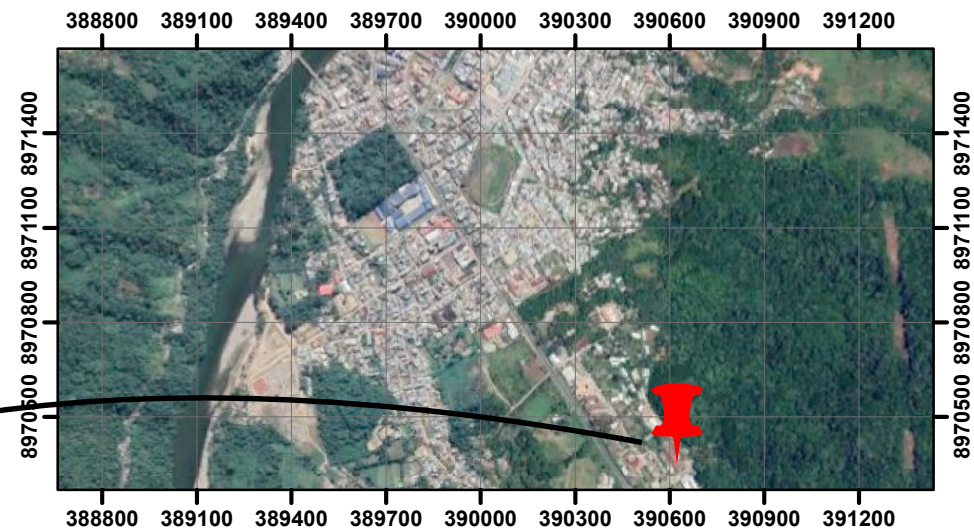


**LEONCIO PRADO**

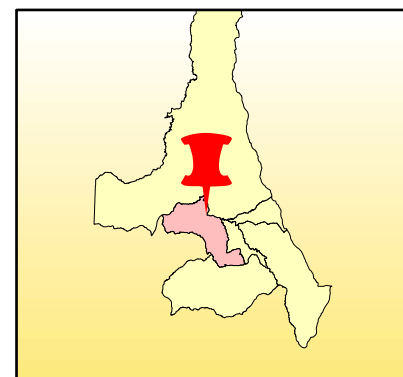


**HUANUCO**

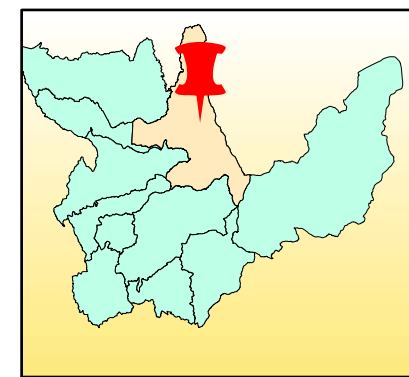
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                              |                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
|  <b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA</b><br><b>FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA AMBIENTAL</b>  |                                                                                                                                                                              |                  |
| <b>MAPA DE UBICACION DEL MATADERO MUNICIPAL - TINGO MARÍA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                              |                  |
| DEPARTAMENTO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | TÍTULO                                                                                                                                                                       | ZONA:            |
| <b>HUANUCO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | EFFECTO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN UN REACTOR DE BIODISCOS A ESCALA DE LABORATORIO, EN LA DEPURACIÓN DE EFLUENTES DEL MATADERO MUNICIPAL DE TINGO MARÍA - HUÁNUCO | <b>18L</b>       |
| PROVINCIA:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ELABORADO                                                                                                                                                                    | DATUM HORIZONTAL |
| <b>LEONCIO PRADO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Br. Eduardo Junior Céliz Molina                                                                                                                                              | <b>WGS84</b>     |
| DISRITO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | APROBADO                                                                                                                                                                     | <b>MAPA</b>      |
| <b>RUPA RUPA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Ing. Msc. José Luis Paredes Salazar                                                                                                                                          |                  |
| ESCALA: 1/1500                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                              | <b>N° 01</b>     |



ESCALA: 1/24000

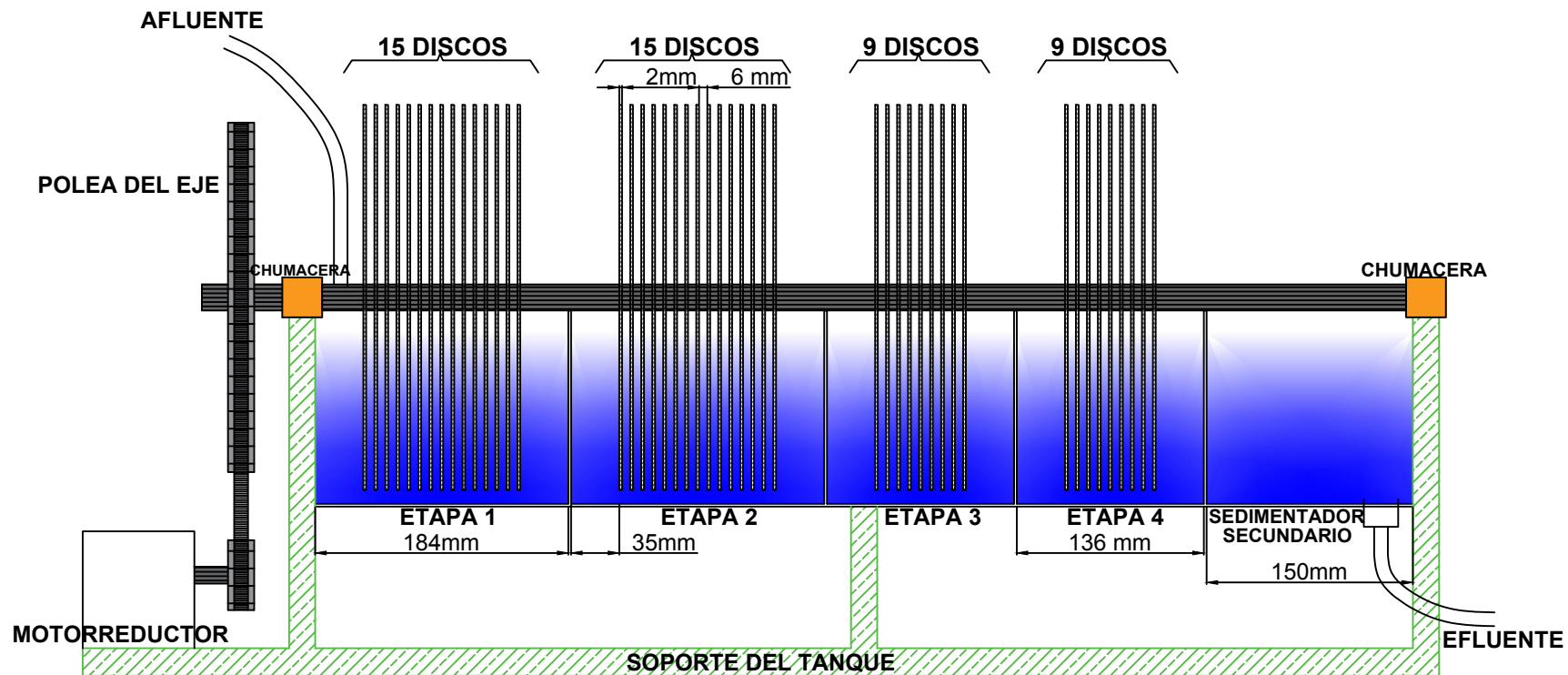


LEONCIO PRADO

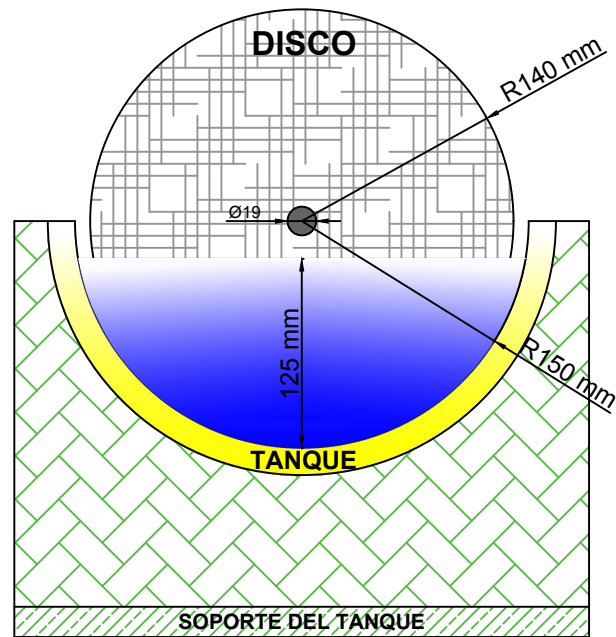


HUANUCO

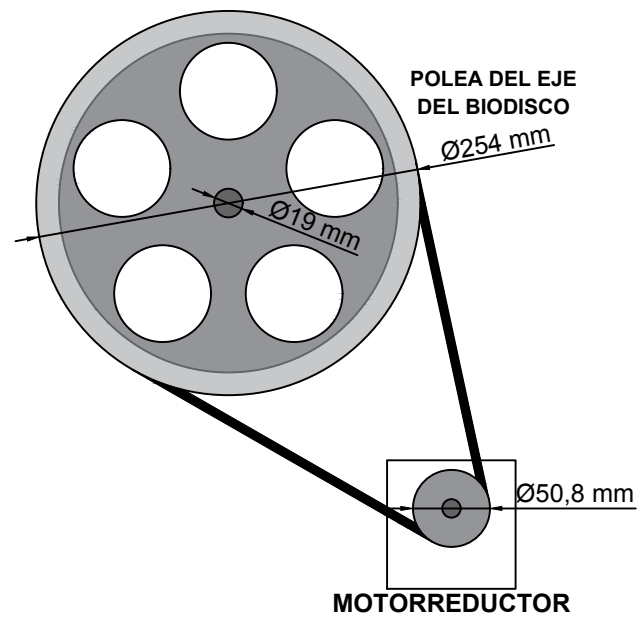
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                              |                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
|  <b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA</b><br><b>FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL</b>  |                                                                                                                                                                              |                  |
| <b>MAPA DE UBICACION DEL LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                              |                  |
| DEPARTAMENTO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | TÍTULO                                                                                                                                                                       | ZONA:            |
| HUANUCO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | EFFECTO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN UN REACTOR DE BIODISCOS A ESCALA DE LABORATORIO, EN LA DEPURACIÓN DE EFLUENTES DEL MATADERO MUNICIPAL DE TINGO MARÍA - HUÁNUCO | 18L              |
| PROVINCIA:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ELABORADO                                                                                                                                                                    | DATUM HORIZONTAL |
| LEONCIO PRADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Br. Eduardo Junior Céliz Molina                                                                                                                                              | WGS84            |
| DISRITO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | APROBADO                                                                                                                                                                     | MAPA             |
| RUPA RUPA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Ing. Msc. José Luis Paredes Salazar                                                                                                                                          | N° 02            |
| ESCALA: 1/1500                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                              |                  |



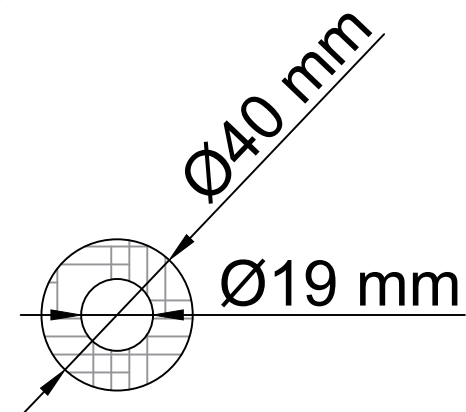
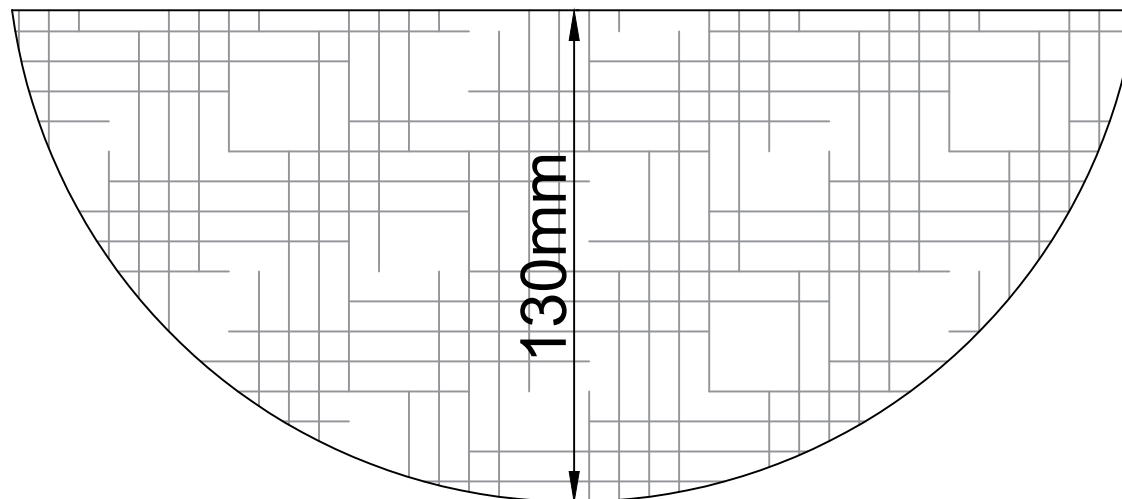
|                                                                                       |  |                                                                                                                                                                          |  |                                                                                       |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA</b><br><b>FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b>                |  |  |  |
| <b>REACTOR DE BIODISCOS A ESCALA DE LABORATORIO</b>                                   |  |                                                                                                                                                                          |  |                                                                                       |  |
| <b>ELABORADO:</b>                                                                     |  | Br. Eduardo Junior Céliz Molina                                                                                                                                          |  | <b>ESCALA:</b><br><br>1/5                                                             |  |
| <b>APROBADO:</b>                                                                      |  | Ing. Msc. José Luis Paredes Salazar                                                                                                                                      |  |                                                                                       |  |
| <b>TÍTULO:</b>                                                                        |  | EFECTO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN UN REACTOR DE BIODISCOS A ESCALA LABORATORIO, EN LA DEPURACIÓN DE EFLUENTES DEL MATADERO MUNICIPAL DE TINGO MARÍA - HUÁNUCO |  |                                                                                       |  |
| <b>VISTA LATERAL</b>                                                                  |  |                                                                                                                                                                          |  | <b>PLANO: N° 1</b>                                                                    |  |



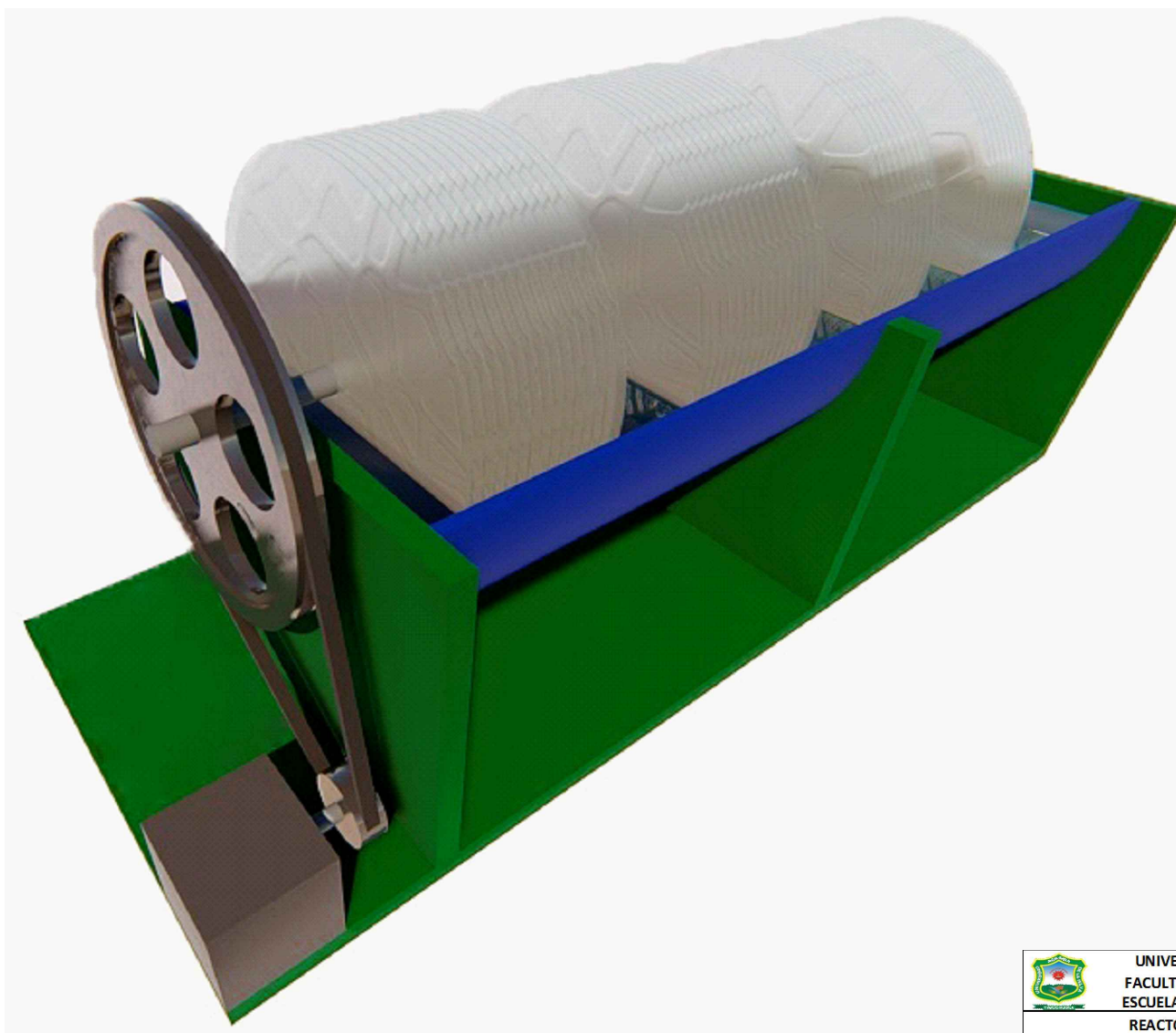
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                          |             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----|
| <div>  <div>           UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA<br/>           FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES<br/>           ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL<br/>           REACTOR DE BIODISCOS A ESCALA LABORATORIO         </div>  </div> |                                                                                                                                                                          |             |     |
| ELABORADO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Br. Eduardo Junior Céliz Molina                                                                                                                                          | ESCALA:     | 1/5 |
| APROBADO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Ing. Msc. José Luis Paredes Salazar                                                                                                                                      |             |     |
| TÍTULO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | EFECTO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN UN REACTOR DE BIODISCOS A ESCALA LABORATORIO, EN LA DEPURACIÓN DE EFLUENTES DEL MATADERO MUNICIPAL DE TINGO MARÍA - HUÁNUCO |             |     |
| VISTA FRONTAL SIN SISTEMA DE TRANSMISION                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                          | PLANO: N° 2 |     |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                          |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|  <b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA</b><br><b>FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b><br><b>REACTOR DE BIODISCOS A ESCALA LABORATORIO</b>  |                                                                                                                                                                          |             |
| ELABORADO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Br. Eduardo Junior Céliz Molina                                                                                                                                          | ESCALA: 1/5 |
| APROBADO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Ing. Msc. José Luis Paredes Salazar                                                                                                                                      |             |
| TÍTULO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | EFECTO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN UN REACTOR DE BIODISCOS A ESCALA LABORATORIO, EN LA DEPURACIÓN DE EFLUENTES DEL MATADERO MUNICIPAL DE TINGO MARÍA - HUÁNUCO |             |
| MOTORREDUCTOR - POLEAS - CORREA - EJE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                          | PLANO: N° 3 |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                          |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|  <b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA</b><br><b>FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b><br><b>REACTOR DE BIODISCOS A ESCALA LABORATORIO</b>  |                                                                                                                                                                          |             |
| ELABORADO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Br. Eduardo Junior Céliz Molina                                                                                                                                          | ESCALA: 1/2 |
| APROBADO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Ing. Msc. José Luis Paredes Salazar                                                                                                                                      |             |
| TÍTULO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | EFECTO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN UN REACTOR DE BIODISCOS A ESCALA LABORATORIO, EN LA DEPURACIÓN DE EFLUENTES DEL MATADERO MUNICIPAL DE TINGO MARÍA - HUÁNUCO |             |
| SEPARADORES DE ETAPAS, SEPARADORES DE DISCOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                          | PLANO: N° 4 |



|                                                                                       |  |                                                                                                                                                                                                               |                    |                                                                                       |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA</b><br><b>FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL</b><br><b>REACTOR DE BIODISCOS A ESCALA LABORATORIO</b> |                    |  |  |
| <b>ELABORADO:</b>                                                                     |  | Br. Eduardo Junior Céliz Molina                                                                                                                                                                               |                    |                                                                                       |  |
| <b>APROBADO:</b>                                                                      |  | Ing. Msc. José Luis Paredes Salazar                                                                                                                                                                           |                    |                                                                                       |  |
| <b>TÍTULO:</b>                                                                        |  | EFECTO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN UN REACTOR DE BIODISCOS A ESCALA LABORATORIO, EN LA DEPURACIÓN DE EFLUENTES DEL MATADERO MUNICIPAL DE TINGO MARÍA - HUÁNUCO                                      |                    |                                                                                       |  |
| <b>VISTA TRIDIMENSIONAL</b>                                                           |  |                                                                                                                                                                                                               | <b>PLANO: N° 5</b> |                                                                                       |  |