



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE DESNITRIFICACIÓN EN LA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA  
INDUSTRIA ALIMENTARIA UBICADA EN EL CANTÓN  
AMBATO”**

**Trabajo de titulación**

**Tipo: Proyecto técnico**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA: LADY HELEN CARVAJAL ALDÁS**

**DIRECTOR: Dr. JOSÉ GERARDO LEÓN CHIMBOLEMA**

**RIOBAMBA - ECUADOR**

**2019**

**@ 2019, Lady Helen Carvajal Aldás**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:**

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos Técnicos, titulado: **“Evaluación del proceso de desnitrificación en la planta de tratamiento de aguas residuales de una industria alimentaria ubicada en el cantón Ambato”**, de responsabilidad de la Señorita Lady Helen Carvajal Aldás ha sido minuciosamente revisado quedando autorizada su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Dr. José Gerardo León Chimbolema  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**



28-10-2019

Msc. Carlos Alcibar Medina Serrano  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



28-10-2019

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo LADY HELEN CARVAJAL ALDÁS soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Lady Helen Carvajal Aldás

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se lo dedico con mucho cariño:

A mi padre Segundo, por su entrega y paciencia y a mi madre Lorena, por ser cómplice y amiga, y estar siempre ahí, apoyándome de manera incondicional en todos los momentos de mi vida. A mi amada hija Crisley por ser mi fuente de motivación y mi compañera. A esa persona especial que me ha brindado su apoyo y amor absoluto durante varios años.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios, por brindarme la vida y darme una maravillosa familia, por ser mi guía y fortaleza en todo momento.

A mi familia, por su apoyo y amor incondicional, por enseñarme a luchar por mis objetivos con esfuerzo y dedicación.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por acogerme y formarme como profesional y persona, y a cada uno de sus docentes que compartieron sus conocimientos a lo largo de la carrera.

A mis amigos, que sin duda hicieron de esta etapa de mi vida más placentera y divertida.

Un especial agradecimiento al Ing. Edgar Lozano, Jefe de Gestión Ambiental, por el apoyo y la ayuda prestada, principalmente por brindarme su amistad y confianza.

A los operarios de la PTAR y demás personal de la industria alimenticia, por su participación en este trabajo.

Al Director y Asesor de Tesis; Msc. Gerardo León e Ing. Carlos Medina por el asesoramiento y su valioso tiempo brindado.

A la Ing. Anita Mejía, encargada del Laboratorio de Biotecnología, por su colaboración y ayuda.

Y a cada una de las personas que de una u otra manera formaron parte de mi vida, y aportaron cuantiosamente en mi crecimiento personal y profesional, Gracias.

Lady

## TABLA DE CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>Situación Problemática</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>Justificación del proyecto</b> .....  | <b>3</b>  |
| <b>Objetivos:</b> .....  | <b>4</b>  |
| General:.....  | 4         |
| Específicos: .....   | 4         |
| <b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b> .....  | <b>5</b>  |
| <b>1.1. Antecedentes investigativos</b> .....  | <b>5</b>  |
| <b>1.2. Industria alimentaria en el Ecuador y Ambiente</b> .....                                     | <b>6</b>  |
| <b>1.3. Tratamiento de Aguas Residuales</b> .....  | <b>7</b>  |
| 1.3.1. Tratamiento físico-químico .....  | 8         |
| 1.3.2. Tratamiento biológico .....   | 8         |
| <b>1.4. El Nitrógeno</b> .....   | <b>9</b>  |
| 1.4.1. El Ciclo del Nitrógeno .....  | 9         |
| 1.4.2. Contaminación de aguas por compuestos nitrogenados .....                                      | 10        |
| <b>1.5. Eliminación Biológica de Nitrógeno (EBN) en las aguas residuales</b> .....                   | <b>11</b> |
| 1.5.1. Nitrificación biológica .....   | 12        |
| 1.5.2. Desnitrificación biológica.....   | 13        |
| 1.5.3. Variables que intervienen en el proceso de Nitrificación/Desnitrificación .....               | 14        |
| 1.5.4. Sistemas de nitrificación/desnitrificación conjunta (fango único) .....                       | 16        |
| <b>1.6. Microorganismos indicadores de fango activo</b> .....  | <b>17</b> |
| <b>2. METODOLOGÍA</b> .....  | <b>19</b> |
| <b>2.1. Planta de tratamiento de aguas residuales</b> .....  | <b>19</b> |
| 2.1.1. Tratamiento preliminar .....  | 19        |
| 2.1.2. Tratamiento físico-químico .....  | 20        |
| 2.1.3. Tratamiento biológico .....   | 21        |
| 2.1.4. Sedimentador Secundario .....   | 21        |
| 2.1.5. Manejo de lodos .....   | 22        |
| <b>2.2. Localización de los puntos de muestreo</b> .....   | <b>22</b> |
| <b>2.3. Toma de muestras</b> .....   | <b>23</b> |
| <b>2.4. Caracterización físico-química</b> .....   | <b>23</b> |
| 2.4.1. Determinación de Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> ) .....                               | 23        |
| 2.4.2. Determinación de Nitrate, High range (0 to 30.0 mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N).. ..... | 24        |
| 2.4.3. Determinación de Nitritos, High Range (0 to 150 NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) .....          | 24        |

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| 2.4.4.      | Determinación de N- amoniacal NITROGEN, AMMONIA O-50 NH <sub>3</sub> -N mg/L.....           | 24        |
| 2.4.5.      | Determinación de N-total, HR, Test N-tube. (10.0 to 150.0 mg/L N).....                      | 25        |
| 2.4.6.      | Determinación de DQO (Demanda Química de Oxígeno).....                                      | 25        |
| <b>2.5.</b> | <b>Definición de parámetros operacionales .....</b>   | <b>26</b> |
| 2.5.1.      | Determinación del caudal (m <sup>3</sup> /d) .....  | 26        |
| 2.5.2.      | Determinación del pH.....   | 26        |
| 2.5.3.      | Determinación del Oxígeno Disuelto – OD (mg/L).....   | 26        |
| 2.5.4.      | Determinación de MLSSV (Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor Mezcla) .....             | 27        |
| 2.5.5.      | Determinación del Tiempo de detención hidráulico (TDH).....                                 | 27        |
| 2.5.6.      | Determinación del Tiempo de Retención Celular (TRC o $\theta_c$ ).....                      | 28        |
| 2.5.7.      | Determinación de la Carga Másica (Relación F/M).....  | 28        |
| 2.5.8.      | Determinación del V30 (Sólidos Suspendidos mediante prueba volumétrica) (ml/L) ...          | 29        |
| 2.5.9.      | Determinación del Índice Volumétrico de Lodos (IVL) .....                                   | 29        |
| <b>2.6.</b> | <b>Determinación de la eficiencia del proceso de nitrificación y desnitrificación .....</b> | <b>29</b> |
| <b>2.7.</b> | <b>Evaluación de la población microbiana .....</b>  | <b>30</b> |
| <b>3.</b>   | <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>   | <b>31</b> |
| <b>3.1.</b> | <b>Parámetros físico-químicos de diseño y parámetros actuales .....</b>                     | <b>31</b> |
| <b>3.2.</b> | <b>Diagnóstico operacional en el proceso de nitrificación/desnitrificación .....</b>        | <b>32</b> |
| 3.2.1.      | OD (Oxígeno Disuelto) .....   | 33        |
| 3.2.2.      | Relación C:N .....  | 33        |
| 3.2.3.      | Edad del fango.....   | 34        |
| 3.2.4.      | MLSSV y IVL .....   | 34        |
| <b>3.3.</b> | <b>Modificación de parámetros operacionales .....</b>                                       | <b>35</b> |
| 3.3.1.      | Balsa de desnitrificación.....  | 37        |
| <b>3.4.</b> | <b>Evaluación microbiana.....</b>   | <b>38</b> |
|             | <b>CONCLUSIONES.....</b>  | <b>41</b> |
|             | <b>RECOMENDACIONES:.....</b>  | <b>42</b> |
|             | <b>BIBLIOGRAFÍA</b>   |           |
|             | <b>ANEXOS</b>   |           |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1-1:</b> Eficiencias de remoción de sustratos de acuerdo al tratamiento.....              | 7  |
| <b>Tabla 2-1:</b> Parámetros que intervienen en el proceso de Nitrificación/Desnitrificación ..... | 14 |
| <b>Tabla 3-1:</b> Parámetros empíricos de un sistema de Nitrificación/Desnitrificación .....       | 17 |
| <b>Tabla 1-3:</b> Parámetros de diseño y actuales de la PTAR .....                                 | 31 |
| <b>Tabla 2-3:</b> Diagnóstico operacional de la PTAR .....   | 32 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |            |
|--|------------|
| <b>Figura 1-1: Ciclo biogeoquímico del nitrógeno, procesos naturales y antropogénicos involucrados .....</b> | <b>9</b>   |
| <b>Figura 2-1: Transformación de nitrógeno en los procesos de transformación biológica .</b>                 | <b>171</b> |
| <b>Figura 3-1: Esquema típico de Nitrificación/Desnitrificación pre-anóxica .....</b>                        | <b>17</b>  |
| <b>Figura 1-2: Esquema simple de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales .....</b>                      | <b>19</b>  |
| <b>Figura 2-2: Esquema del Tratamiento preliminar .....</b>  | <b>20</b>  |
| <b>Figura 3-2: Esquema del Pre tratamiento físico químico .....</b>  | <b>20</b>  |
| <b>Figura 4-2: Esquema del Tratamiento biológico .....</b>   | <b>21</b>  |
| <b>Figura 5-2: Esquema del tratamiento biológico y sedimentador secundario .....</b>                         | <b>21</b>  |
| <b>Figura 6-2: Esquema del sistema de manejo de lodos .....</b>  | <b>22</b>  |
| <b>Figura 7-2: Localización de los puntos de muestreo .....</b>  | <b>22</b>  |
| <b>Figura 8-2: Puntos de medición de Oxígeno Disuelto (OD) .....</b>   | <b>27</b>  |
| <b>Figura 1-3: Flóculo abierto irregular y dispersión normal. ....</b>                                       | <b>38</b>  |
| <b>Figura 2-3: Microorganismos observados en el reactor biológico .....</b>                                  | <b>39</b>  |
| <b>Figura 3-3: Comparación de flóculos .....</b>   | <b>39</b>  |

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

|  |            |
|--|------------|
| <b>Gráfico 1-3: Relación C:N en la entrada y salida del reactor biológico .....</b>                  | <b>343</b> |
| <b>Gráfico 2-3: Variación del TRC del reactor.....</b>   | <b>34</b>  |
| <b>Gráfico 3-3: Relación MLLSV-IVL en el reactor.....</b>  | <b>354</b> |
| <b>Gráfico 4-3: Variación de la concentración de OD en el reactor aerobio .....</b>                  | <b>355</b> |
| <b>Gráfico 5-3: Evolución de la concentración N-NH<sub>3</sub> en la descarga del efluente .....</b> | <b>36</b>  |
| <b>Gráfico 6-3: Evolución de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la balsa de aireación.....</b>            | <b>376</b> |
| <b>Gráfico 7-3: Evolución de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> en la balsa de aireación.....</b>            | <b>37</b>  |
| <b>Gráfico 8-3: Remoción de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el tanque de desnitrificación .....</b>    | <b>387</b> |
| <b>Gráfico 9-3: Remoción de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> en el tanque de desnitrificación.....</b>     | <b>38</b>  |

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Industria Alimentaria
- ANEXO B:** Análisis de la composición físico-química y biológica
- ANEXO C:** Caracterización del efluente industrial después del proceso de cribado y el P1
- ANEXO D:** Características de LM en la balsa de desnitrificación
- ANEXO E:** Características del LM
- ANEXO F:** Características del Efluente
- ANEXO G:** Características de variables operacionales
- ANEXO H:** OD antes y después de la modificación
- ANEXO I:** Características del efluente después de aumentar la concentración de OD
- ANEXO J:** Características de la balsa de aireación después de la modificación

## ÍNDICE DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

- C:N:** Relación Carbono/Nitrógeno
- DAF:** Flotación por Aire Disuelto
- DBO<sub>5</sub>, BOD:** Demanda Bioquímica de Oxígeno
- DQO, COD:** Demanda Química de Oxígeno
- EBN:** Eliminación Biológica de Nitrógeno
- ELEA:** Edad de lodo extremadamente alta
- FBN:** Fijación Biológica de Nitrógeno
- FOG:** Fat Oil Grease/ Aceites y grasas
- GIDSA:** Gestión Integral de Desechos Sólidos de Ambato
- IVL:** Índice Volumétrico de Lodos
- LM:** Licor de Mezcla
- N<sub>t</sub>:** Nitrógeno Total
- NO<sub>2</sub><sup>-</sup>:** Nitritos
- NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:** Nitratos
- N-NH<sub>3</sub>:** Nitrógeno amoniacal
- NTK:** Nitrógeno Total Kjeldahl
- OD:** Oxígeno Disuelto
- PTAR:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- RAS:** Recirculation of Sludge/ Recirculación de Lodo
- SST:** Sólidos Suspendidos Totales
- SSV:** Sólidos Suspendidos Volátiles
- SSLM:** Sólidos Suspendidos en el Licor de Mezcla
- SSVLM:** Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor de Mezcla
- TDH:** Tiempo de detención hidráulico

**TRC,  $\theta_c$ :** Tiempo de retención celular

**WAS:** Waste of Sludge/ Desecho de lodo

## RESUMEN

Se evaluó el proceso de desnitrificación y de nitrificación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, para conocer la eficiencia en la remoción de los compuestos nitrogenados y las variables operativas que intervenían en su desarrollo. Para llevar a cabo el trabajo técnico se identificaron los parámetros que intervienen en estos procesos, se verificó la operación según los parámetros de diseño y se realizó la caracterización física, química y microbiológica del agua residual en diferentes etapas. Se determinaron los parámetros físico-químicos: Demanda química de oxígeno, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total y temperatura; y entre los operacionales se estableció la recolección de datos de: caudal, oxígeno disuelto (OD), pH, tiempo de detención hidráulico (TDH), sólidos suspendidos volátiles en el licor mezcla, relación F/M, índice volumétrico de lodos. Como resultado se reconoció que la planta actualmente está procesando un 3.4% adicional de caudal, lo que limita el TDH al disminuir 0.75 días el tiempo en el que el efluente está siendo retenido para el proceso de depuración biológica; de igual manera al verificar las variables que intervenían en el proceso se distinguió que el OD era un limitante para la transformación de nitrógeno amoniacal, los resultados ubicaron un promedio de 1.7mg/L que estaba por debajo de la referencia que establecía un rango >2mg/L. Se tuvo la oportunidad de modificar esta variable teniendo un promedio de 4.7 mg/L de OD teniendo una mejora en la eficiencia del reactor del 17.9% al 31.4%. La evaluación microbiana se lo realizó cualitativamente tomando en cuenta la aparición de ciertas especies relacionadas con fangos activos, con el aumento de OD hubo un ligero cambio en la concentración de organismos filamentosos, se obtuvo un incremento en la densidad y la presencia de este en el flóculo; en cuanto a los ciliados la presencia fue mínima.

**Palabras clave:** <INGENIERIA AMBIENTAL>, <TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES>, <NITRIFICACIÓN>, <DESNITRIFICACIÓN>, <OXÍGENO DISUELTO>, <NITRÓGENO>



## ABSTRACT

The process of denitrification and nitrification of a Wastewater Treatment Plant was evaluated. to know the efficiency in the removal of nitrogen compounds and the operational variables involved in their development. In order to carry out the technical work, the parameters involved in these processes were identified, the operation was verified according to the parameters involved in these processes, the operation was verified according to the design parameters and the physical, chemical and microbiological characterization of the process was performed. wastewater at different stages. The physical-chemical parameters were determined: Chemical demand for oxygen, nitrates, nitrites, ammoniacal nitrogen, total nitrogen and temperature; and among the operational data collection was established: flow rate, dissolved oxygen (OD), pH, hydraulic stop time (TDH), volatile suspended solids in the liquor mix, F / M ratio, sludge volumetric index. As a result, it was recognized that the plant is currently processing an additional 3.4% flow, which limits the TDH by decreasing 0.75 days the time in which the effluent is being retained for the biological purification process; Similarly, when verifying the variables involved in the process, it was distinguished that the OD was a limitation for the transformation of ammoniacal nitrogen, the results placed an average of 1.7mg / L that was below the reference that established a range > 2mgL . There was an opportunity to modify this variable having an average of 4.7 mg / L of OD having an improvement in reactor efficiency from 17.9% to 31.4%. The microbial evaluation was done qualitatively taking into account the appearance of certain species related to active sludge, with the increase in OD there was a slight change in the concentration of filamentous organisms, an increase in the density and the presence of this in the flocculation; As for the ciliates, the presence was minimal.

**Keywords:** <ENVIRONMENTAL ENGINEERING>, <WASTEWATER TREATMENT>, <NITRIFICATION>, <DENITRIFICATION>, <DISSOLVED OXYGEN>, <NITROGEN>



# INTRODUCCIÓN

## Situación Problemática

La industria alimentaria en el país representa una parte fundamental en la economía y la generación de empleos. Según el Análisis Sectorial publicado en agosto del 2012 en el INEC, del total de establecimientos que han declarado actividad económica se tiene que el 36.9% se dedica a actividades relacionadas con alimentos y bebida (Peña y Pinta, 2012, pp. 2-3). De la misma manera, según los datos de la Cámara de Industria de Tungurahua, la actividad económica que más ingresos genera en la provincia es la manufactura, dentro de esta se encuentran subsectores como la fabricación de productos textiles y curtiembres con una participación de 52.2%, por tal motivo se justifica la ubicación estratégica de la empresa, seguida de la elaboración de productos alimenticios con un total de 24.6% (La Hora, 2018).

La empresa motivo de investigación se encarga de la producción de gelatina, cumple con la llamada simbiosis industrial ya que los dos tipos de carnaza que usa son residuos de industrias; se denomina carnaza a la piel que ha estado en contacto con la carne. La primera proviene de curtiembres y mataderos locales que es denominada como carnaza fresca, ya que no contiene ningún tipo de químico para su conservación y tiene una alta carga de humedad, por otro lado, se utiliza también carnaza importada la cual es preservada mediante sales denominada carnaza seca, que es utilizada cuando el abastecimiento de carnaza fresca no es suficiente.

El proceso de producción tiene origen en el área de recepción y corte de la materia prima, siguiendo con el proceso de encalado en el cual se utilizan químicos como cal, peróxido, enzimas y otros componentes que permiten la liberación de proteína del tejido conectivo, al igual que la eliminación de grasas e impurezas que posee. El material continúa con el proceso de lavado y ablandamiento ácido, el cual da paso a una hidrólisis parcial que mejora la extracción del colágeno. Posteriormente pasa a los extractores en donde mediante agua caliente la gelatina es extraída. Al estar la mezclada con el agua de extracción es filtrada y esterilizada evitando la contaminación por agentes biológicos, para después pasar por un sistema de secado en donde se elimina toda la humedad presente en el licor de gelatina, finalizando en su almacenamiento y distribución. Para todo el proceso de producción el agua es un recurso imprescindible, el consumo aproximado es de 2387.21 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup>.

El efluente que se genera es dirigido hacia la planta de tratamiento de aguas residuales, la cual consta de un tratamiento primario y secundario. El agua pasa por un sistema de pre-tratamiento en donde se eliminan partículas mayores de 3 mm y posteriormente se tamiza a 0.1 mm. A continuación, pasa al tratamiento primario en donde se separan partículas suspendidas presentes en el agua, seguidamente el efluente se deriva a un tratamiento secundario diseñado para reducir la materia orgánica soluble al igual que el contenido de nitrógeno presente y finalmente pasa por un sistema de flotación por aire disuelto para separar la biomasa del efluente.

La empresa al hacer uso de materia orgánica genera un efluente con una alta carga contaminante: el efluente entra con una concentración de; 2387 mgL<sup>-1</sup> de DQO, 87.97 mgL<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 52.88 mgL<sup>-1</sup> de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, 270.05 mgL<sup>-1</sup> de NH<sub>3</sub>-N, y 331.72 mgL<sup>-1</sup> de N<sub>T</sub>.

La carga contaminante una vez que atraviesa los diferentes procesos de la planta de tratamiento se descarga con una concentración promedio de 129 mgL<sup>-1</sup> de DQO, 3.77 mgL<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 3.5 mgL<sup>-1</sup> de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, 227.65 mgL<sup>-1</sup> de NH<sub>3</sub>-N y 195.89 mgL<sup>-1</sup> de N<sub>T</sub>, que son factores preponderantes en los procesos de eutrofización.

## **Justificación del proyecto**

El agua es un recurso natural indispensable para la vida que posee una gran susceptibilidad a la contaminación, con el pasar del tiempo su degradación ha ido aumentando haciendo prevalecer un sinnúmero de condiciones negativas para todos los seres vivos debido al aumento de la población y consecuentemente al incremento en la demanda industrial. La industria alimentaria representa una importante fuente de contaminación debido a que la materia prima que utilizan para sus procesos productivos es mayoritariamente materia orgánica, la cual si no se controla afecta de manera negativa a los ecosistemas locales. Siendo esta industria una fuerza motriz esencial en el desarrollo económico de la provincia se debe tener especial cuidado con su administración tanto gerencial como ambiental.

Dado que la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa actualmente no realiza una adecuada remoción en el proceso de eliminación de nitrógeno, se plantea una evaluación del proceso de nitrificación/desnitrificación con el objetivo de mejorar la calidad del efluente evadiendo daños en los ecosistemas cercanos. Debido a lo minucioso y complejo del proceso, será importante tener un adecuado análisis ya que implica la toma de decisiones para la modificación de las variables de operación.

La remoción de nitrógeno en las aguas residuales se considera un proceso importante ya que mantiene la concentración de nitrógeno dentro de los niveles adecuados, evitando el deterioro de los cuerpos de agua y eludiendo problemas de toxicidad para los organismos acuáticos, además de cambios ambientales en los ecosistemas circundantes. Altos niveles de nitrógeno en sus diversas formas estimulan el desarrollo, mantenimiento y proliferación de productores primarios, contribuyendo a la eutrofización conjuntamente con la acidificación del agua.

**Objetivos:*****General:***

Evaluar el proceso de desnitrificación en la planta de tratamiento aguas residuales de una industria alimentaria ubicada en el Cantón Ambato.

***Específicos:***

- Evaluar los parámetros de operación actuales de la planta de tratamiento de aguas.
- Analizar los parámetros físico-químicos que intervienen en el proceso de desnitrificación de aguas residuales.
- Evaluar la población microbiana presente en los fangos activos responsable del proceso de desnitrificación de las aguas residuales.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1. Antecedentes investigativos

Carrera J, (2004), en su tesis doctoral establece que para lograr la nitrificación y desnitrificación es muy importante la relación DQO/N y el efecto de la temperatura sobre el crecimiento de los organismos nitrificantes es de vital importancia, de igual manera estipula que la inhibición de la nitrificación por bacterias amonio- oxidantes se da por concentraciones elevadas de amonio, nítrito y fluoruro (Carrera, 2004, pp. 3-4).

Claros J, (2012) realizó un estudio del proceso de nitrificación y desnitrificación Vía Nitrito en un reactor Sharon y estableció que la actividad máxima de las especies nitrificantes de su estudio está en  $0.32\text{mg N-NH}_3\text{ L}^{-1}$  a un pH 7 y a  $30^\circ\text{C}$ . De igual manera determina que la elevada salinidad y las concentraciones de ácido nitroso reducen la actividad de los organismos (Claros, 2012, pp. 235-236).

Moreno C, (2015) concluyen que la eficiencia de nitrificación depende de la biodegradabilidad de la materia orgánica, además de establecer que para un óptimo proceso se debe implementar sistemas por separado con el fin de asegurar la ausencia de oxígeno en la etapa de desnitrificación. Igualmente, se relata la eficiencia del biofiltro de arena ante la remoción de DQO,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  la cual brinda factibilidad para una implementación en un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales (Moreno, 2015, pp. 21-22).

En el país existen estudios sobre el diseño y la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales para reducir el problema que se da con la generación de efluentes industriales y la contaminación del agua, pero estos estudios están directamente relacionados con la disminución de la carga contaminante (DQO o  $\text{DBO}_5$ ), y no existen estudios que abarquen el tema de la eliminación de Nitrógeno, el cual es causante de algunos problemas en el ecosistema dependiendo de la forma en la que se encuentre. El desarrollo de nuevos estudios favorecerá la creación de equipos y sistemas innovadores con mayor eficiencia para la remoción de contaminantes orgánicos y así mejorar la calidad del agua de descarga.

## **1.2. Industria alimentaria en el Ecuador y Ambiente**

La producción y consumo de alimentos tiene una notable carga dentro de la producción y desempeño económico nacional (Carrillo, 2010, p.2), dentro del análisis de las principales ramas de la industria manufacturera, la elaboración de alimentos es la de mayor relevancia debido a que representa el 17.8% del total de las firmas de manufactura, entre los años 2000 y 2013 la industria manufacturera ha contribuido con el 22.9% de generación de ventas en la economía ecuatoriana, del cual la industria de elaboración de alimentos contribuye con un 31.9% del valor total. Concluyendo así que la industria alimentaria tiene un peso importante en la estructura manufacturera del Ecuador (Garzón et al., 2016, pp. 28-30).

Debido al crecimiento y la demanda del sector industrial, esta se considera una fuerza motriz para el desarrollo de la economía del país, es ahí donde recae la importancia en el aumento y evolución de la producción y por lo tanto en el estricto control, tanto para mejorar la calidad imprescindible para mantener la salud de la comunidad, como para disminuir la generación de aspectos ambientales que pueden producir cambios circunstanciales en los ecosistemas.

La expresión industria alimentaria engloba una serie de actividades encaminadas al tratamiento, transformación, preparación, conservación y envasado de productos alimenticios, esta industria depende directamente de la naturaleza que garantiza la materia prima necesaria que permita obtener una línea de productos aptos para el consumo. Debido al intensivo procesamiento de grandes volúmenes de materiales, la influencia en el ambiente es considerable (Berkowitz, 1998, p. 2).

Este tipo de industrias requieren de grandes cantidades de agua, tanto para la elaboración de sus productos, como para el mantenimiento de sus instalaciones, lo que deriva en la generación de grandes volúmenes de efluentes con un contenido extremadamente alto de materia orgánicas soluble, la cual si no es tratada puede causar problemas considerables en los cuerpos de agua receptores. En la mayoría de casos, estos efluentes pueden someterse a un tratamiento biológico con el fin de reducir la carga contaminante (Berkowitz, 1998, pp. 13-14).

La industria debe asumir la responsabilidad y dar la importancia que requiere el tratamiento de aguas residuales, este se puede considerar un punto crítico para su funcionamiento ya que puede ser causa de problemas con las autoridades de control ambiental. La normativa ambiental vigente establece que los efluentes deben ser descargados hacia un cuerpo receptor previo a un

tratamiento, evitando incorporar cargas contaminantes a los sistemas receptores las empresas deben contar con plantas de tratamiento adecuadas de acuerdo a las características del efluente que genera, evitando así sanciones económicas y legales.

### 1.3. Tratamiento de Aguas Residuales

Para el tratamiento de aguas residuales se debe tener en cuenta principalmente las características del agua que va a ser tratada, este proceso puede llevarse a cabo siguiendo diversos métodos físicos, químicos y biológicos. Debido a que los procesos secundarios tienen un elevado costo, la explotación máxima del tratamiento primario es elemental en la reducción de las cargas contaminantes.

Para alcanzar ciertos niveles en la descarga de efluentes la utilización de un tratamiento biológico continuo del primario conforma una necesidad, pues este reduce la DBO con la ayuda de una mezcla de organismos y oxígeno para facilitar una rápida oxidación y estabilización. Para el control de estos sistemas es primordial el conocimiento de la DQO y la  $DBO_{lim}$ , los cuales permiten establecer la fracción biodegradable de la materia orgánica (Ferrer y Aurora, 2015, p. 27).

Un agua residual en la que la mayoría de sus constituyentes son biodegradables tiene una relación  $DBO_5/DQO$  de 0.55 – 0.70. Esta relación es un buen indicador de la posibilidad del tratamiento biológico de un agua residual, mientras menor sea esta relación, mayor será la fracción no degradable (Menéndez y Pérez, 2007, p. 82). La selección de un tratamiento conveniente se lo realiza de acuerdo al índice de biodegradabilidad, en la Tabla 1-1 se muestra las eficiencias de tratamientos de acuerdo a los componentes del agua y su tratamiento.

**Tabla 1-1:** Eficiencias de remoción de sustratos de acuerdo al tratamiento

| Tratamiento    | Reducción |         |         |         |         |
|----------------|-----------|---------|---------|---------|---------|
|                | BOD (%)   | COD (%) | TKN (%) | TSS (%) | FOG (%) |
| Cribado        | 5-15      | 5-15    | 0       | 14-40   | 5-10    |
| Cribado+ DAF   | 30-45     | 30-45   | 5-15    | 50-80   | >90     |
| Cribado + CFF  | 70-80     | 70-80   | 50-60   | 90-95   | >95     |
| PT + Biológico | 95-99     | >90     | 85-97   | >95     | >95     |

Fuente: Vásquez, 2014

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

### 1.3.1. Tratamiento físico-químico

El tratamiento físico separa los sedimentos, la mayoría sólidos suspendidos, aceites y grasas del agua residual. Una parte muy importante de sólidos está presente en forma de coloides, cada partícula se encuentra estabilizada por una serie de cargas de igual signo, repeliéndose cada una e impidiendo que se formen flóculos y sedimenten.

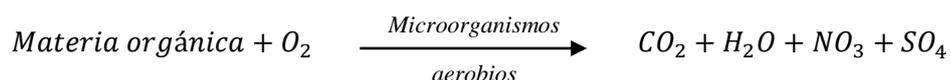
Mediante la adición de un polímero catiónico en base de aminas utilizado para la sedimentación de partículas de origen orgánico (Rivas, Menés y Rómulo, 2017, pp. 4-5), los coloides son desestabilizados permitiendo la formación de aglomerados, este es añadido mediante un sistema de dosificación automatizado, en el cual se puede controlar tanto la concentración como el tiempo de maduración del mismo.

### 1.3.2. Tratamiento biológico

Los fangos activos son flóculos de bacterias, que con la presencia de oxígeno descomponen los componentes biodegradables del agua residual, este es el principal objetivo del tratamiento biológico. El oxígeno se suministra por un sistema de aireación superficial mediante tres aireadores superficiales colocados a lo largo del tanque, los cuales ayudan a que el licor de mezcla se mantenga uniforme. Durante los periodos de aireación los contaminantes son gradualmente descompuestos (oxidados) por las bacterias en componentes más pequeños.

Los sustratos que entran al proceso son asimilados por las principales rutas metabólicas de las comunidades microbianas. En el catabolismo se da la degradación de la materia orgánica y en el anabolismo se produce la síntesis celular o producción de nuevos microorganismos.

Reacción general del catabolismo:



Reacción general del anabolismo:

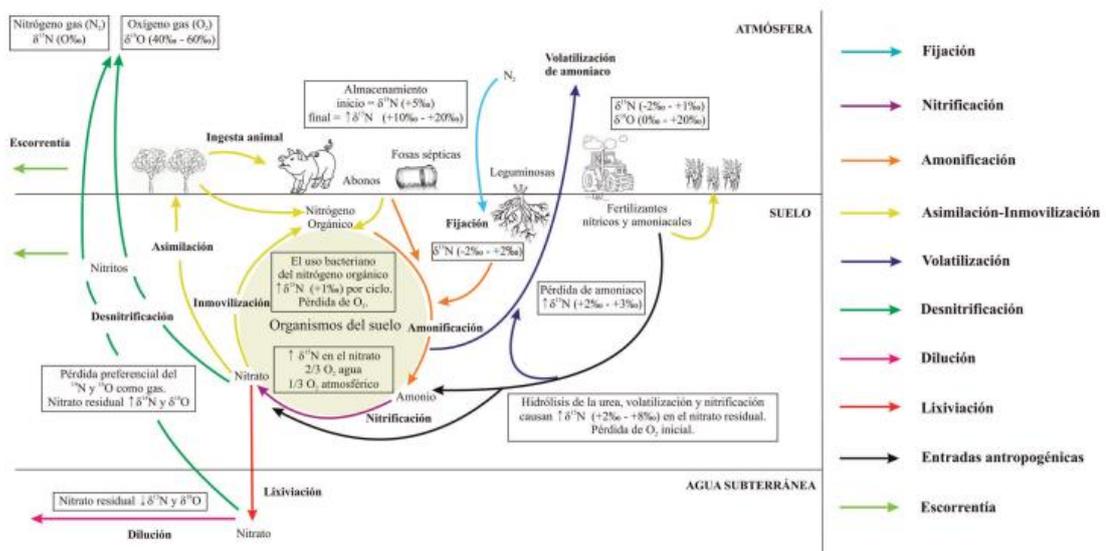


## 1.4. El Nitrógeno

El nitrógeno es un componente imprescindible para los seres vivos, está presente en los ácidos nucleicos (ADN-ARN) y las proteínas. Se encuentra de igual manera en toda la naturaleza en diferentes formas, en la atmósfera está disponible en su forma diatómica ( $N_2$ ) y representa un 78.08% (v/v) de la misma, se encuentra en estado gaseoso a temperatura y presión normal, es la única reserva de N accesible en la biosfera; se considera un nutriente limitante ya que su aprovechamiento depende de su disponibilidad, que normalmente está en una mínima cantidad lo que limita el crecimiento de organismos vivos. La presencia o aplicación de grandes cantidades de  $N_2$  es perjudicial tanto para el suelo como el agua (Baca, Soto y Pardo, 2000, p. 1).

### 1.4.1. El Ciclo del Nitrógeno

Las relaciones existentes de los compuestos nitrogenados y los cambios que ocurren en la biosfera, se ilustran en la Figura 1-1. El ciclo del nitrógeno implica principalmente los procesos de fijación, asimilación (inmovilización), mineralización (amonificación), nitrificación y la desnitrificación, todos estos realizados por microorganismos. Aunque existen otros procesos involucrados como la amonificación, volatilización del amoníaco y la lixiviación hacia aguas subterráneas (Eugercios, Álvarez y González, 2017, pp. 2-3).



**Figura 1-1: Ciclo biogeoquímico del nitrógeno, procesos naturales y antropogénicos involucrados**

Fuente: (Eugercios, 2013, p. 67)

En este, se puede observar que el nitrógeno entra en la biosfera por fijación química y biológica del nitrógeno existente en la atmósfera ( $N_2$ ) y se remueve de la misma por desnitrificación (Martín et al., 2017, pp. 1-2). Se estima que la Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN) contribuye de manera global con 180 millones de toneladas métricas de amonio por año (Tilak et al., 2005, pp. 136-137).

Los microorganismos que intervienen en la FBN cuentan con un sistema enzimático capaz para su reducción, estas rompen el triple enlace del  $N_2$  y producen amonio. Por otro lado durante las descargas eléctricas, el nitrógeno es oxidado a  $N_2O_5$ , su unión con el agua genera Ácido Nítrico ( $HNO_3$ ) el cual es transportado a la superficie de la tierra (Pacheco, Pat y Cabrera, 2002, p. 3).

El nitrógeno en el suelo está presente en su forma orgánica, derivada de la putrefacción de residuos de animales y plantas, mediante la mineralización es transformado a nitrógeno amoniacal (Claros, 2012, p. 29). La asimilación microbiana (inmovilización) es un proceso crítico que controla la disponibilidad de N para las plantas, que junto con la relación C:N en plantas y suelo, son variables claves que afectan las tasas de mineralización. Para predecir el comportamiento de mineralización de nitrógeno se puede utilizar la evaluación de fracciones de materia orgánica (Cerón y Aristizábal, 2012, pp. 288).

Los nitritos y nitratos son reducidos bajo condiciones anaerobias dando lugar al proceso de desnitrificación, este provoca una disminución significativa del nitrógeno combinado que puede perderse parcialmente si no es re-fijado (Pacheco, Pat y Cabrera, 2002, p. 6). Las emisiones a la atmósfera causadas por este proceso se han visto incrementadas por la acción antropogénica, alterando el ciclo global del nitrógeno, y causando daños significativos a los ecosistemas.

#### ***1.4.2. Contaminación de aguas por compuestos nitrogenados***

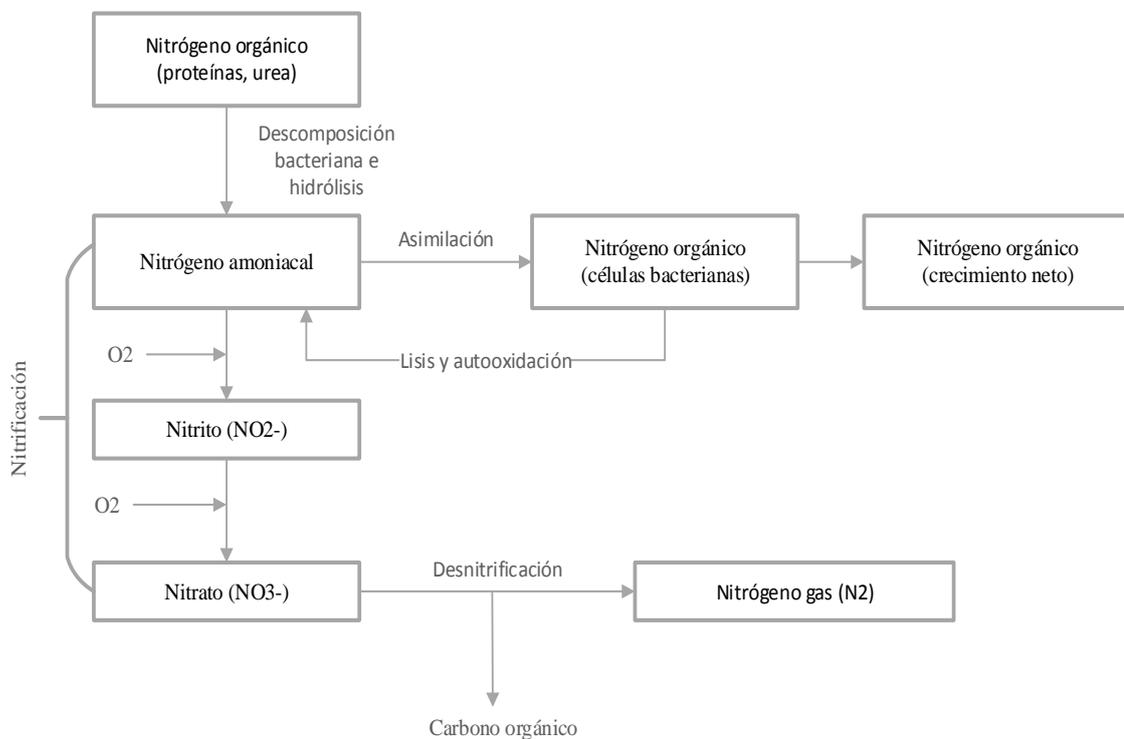
Los problemas que ocasiona el nitrógeno dependen de la forma en que este se encuentre. El nitrógeno amoniacal origina problemas de eutrofización, debido a que el crecimiento excesivo de algas es una fuente de contaminación notable, la toxicidad del amonio es otro de los problemas ya que muchas especies de la fauna acuática son muy susceptibles a este, del mismo modo, este compuesto provoca una pérdida de oxígeno, ya que su oxidación a nitrato presume una disminución de oxígeno disuelto (OD) de 4.57 g  $O_2$ / g N oxidado (Camargo y Alonso, 2007, pp. 98-100).

Por otro lado, la ingestión de nitritos o la formación de estos a partir de nitratos producen Metahemoglobinemia o “Síndrome del niño azul” en niños de corta edad, asimismo, la exposición prolongada a altas concentraciones conlleva a alteraciones de los vasos sanguíneos, de igual

manera los altos niveles de nitrato forman compuestos como nitrosaminas y nitrosamidas que son cancerígenos, en el ambiente la desnitrificación no controlada en cuerpos de agua receptoras producen óxidos de nitrógeno (NO y N<sub>2</sub>O) que aportan a la destrucción de la capa de ozono (Campos et al., 2014, pp. 2-3).

### 1.5. Eliminación Biológica de Nitrógeno (EBN) en las aguas residuales

En una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) el nitrógeno está presente en múltiples formas y las transformaciones que puede sufrir en los diferentes procesos son numerosas (Figura 2-1), permitiendo convertir el nitrógeno amoniacal en otros productos fácilmente separables del agua residual. En un sistema de tratamiento primario entre un 5-10% del nitrógeno total contenido en la corriente del efluente es eliminado como nitrógeno orgánico particulado (Claros, 2012, p. 37), el nitrógeno restante generalmente se somete a procesos biológicos de asimilación y nitrificación-desnitrificación.



**Figura 2-1: Transformaciones del nitrógeno en los procesos de tratamiento biológico**

Fuente: (Metcalf, y Eddy, 1995, pp. 513)

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

Los microorganismos presentes en el tratamiento tienden a asimilar el nitrógeno amoniacal y a incorporarlo en su masa celular, una parte de este retorna al agua residual con la lisis y muerte de las células (Metcalf, y Eddy, 1995, p. 512). Para satisfacer las necesidades nutricionales de la biomasa en un sistema de fangos activos se utiliza entre un 10-30% del nitrógeno total, por otro lado, en la biomasa formada se estima que se encuentra un contenido de nitrógeno de un 12 y 13% de su peso (Sedlak, 1991).

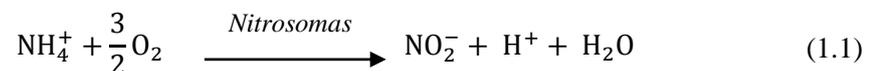
Después de ser asimilado, pasa al proceso de nitrificación-desnitrificación. En la primera etapa el amoníaco es convertido a nitrato, y en la segunda el nitrato se transforma a un producto gaseoso que es eliminado. Al ser este un proceso biológico natural y el más frecuente para el proceso de remoción de nitrógeno, se detalla a continuación.

### 1.5.1. Nitrificación biológica

La nitrificación es un proceso autótrofo, es decir, la energía que se obtiene para el metabolismo proviene de la oxidación de compuestos nitrogenados, principalmente amoníaco. Al contrario de los organismos heterótrofos, los organismos nitrificantes emplean carbono inorgánico (CO<sub>2</sub>) en lugar de carbono orgánico. La producción de masa celular nitrificante por unidad de sustrato metabolizada es menos que la producción de organismos heterótrofos (Metcalf, Y Eddy, 1995, p. 808).

La nitrificación es un proceso que ocurre en dos etapas, con la participación de dos familias de microorganismos (*Nitrosomas*, *Nitrobacter*), en la primera etapa el amonio se transforma en nitrito; en la segunda, es transformado a nitrato. El proceso se describe:

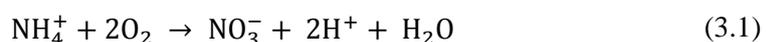
Primera etapa:



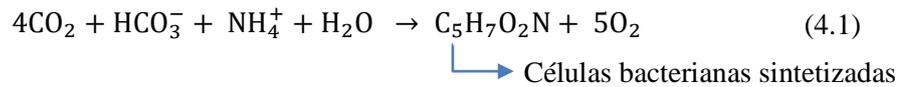
Segunda etapa:



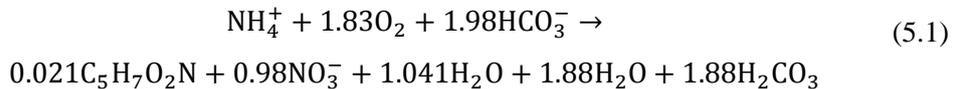
Estas son reacciones que producen energía. Los microorganismos implicados utilizan la energía desprendida para el crecimiento y mantenimiento celular. La reacción energética global se representa:



A la vez, una fracción del ión amonio, es asimilado como parte del tejido celular. La reacción de síntesis de biomasa se representa:



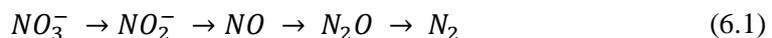
La reacción global de oxidación y síntesis se representa:



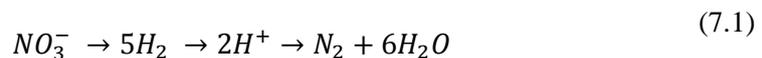
### 1.5.2. *Desnitrificación biológica*

Consiste en la reducción de  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{N}_2$  o  $\text{NO}_4^+$  y se realiza en dos pasos, el primero es obligado y el segundo depende de la ruta metabólica de los microorganismos, pudiendo ser:

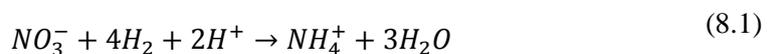
- Desnitrificación heterótrofa: el  $\text{NO}_3^-$  es reducido en un ambiente anóxico a  $\text{NO}_2^-$  catalizado por una enzima NADH- dependiente nitrito reductasa, no asociada a la membrana y metabolizada por una gran cantidad de microorganismos. La desnitrificación heterótrofa ocurre con la reducción de  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{N}_2$ , en el cual los óxidos de nitrógeno sirven como aceptores en el proceso de respiración (Sánchez y Sanabria, 2009, pp. 4-6). Los organismos que realizan este tipo de procesos son quimio heterótrofos y sigue la siguiente ecuación general:



La última etapa ocurre a menor velocidad que las anteriores, lo q genera productos intermedios como  $\text{N}_2\text{O}$ . La estequiometría completa se presenta:



- Reducción del nitrato a amonio: Se produce por acción de las bacterias nitrato amonizantes que son quimioheterótrofas facultativas, funcionan a concentraciones muy bajas de oxígeno disuelto. En este proceso, el  $\text{NO}_3^-$  es usado como aceptor final de electrones para producción de energía. La estequiometría de la reacción se presenta:



Se desarrollan en ambientes saturados y ricos en carbono, como en aguas estancadas y sedimentos. La ruta de reducción del  $NO_3^-$  esta determinada por la relación C/N, si la relación es baja favorece la acumulación de  $NO_2^-$  y la desnitrificación heterótrofa, mientras q a valores altos predomina esta reducción (Sánchez y Sanabria, 2009, pp. 4-6).

- Desnitrificación autótrofa: Incluyen organismos anammox, es decir bacterias quimiolitautótrofas que combinan amonio con nitrito en condiciones anóxicas para la fijación de  $CO_2$  dando lugar a  $N_2$  gas y una pequeña cantidad de nitrato. Las necesidades de oxígeno son 40% inferiores comparados con un sistema de nitrificación/desnitrificación convencional e igualmente producen tasas inferiores de lodos debido a la productividad reducida de biomasa autótrofa (Fernández, 2010, p. 37).

### 1.5.3. Variables que intervienen en el proceso de Nitrificación/Desnitrificación

**Tabla 2-1:** Variables que intervienen en el proceso de Nitrificación/Desnitrificación

| Parámetro        | Nitrificación  | Desnitrificación   |
|------------------|--|--|
| Temperatura      | La tasa conjunta de nitrificación decrece al disminuir la temperatura y viceversa (Metcalf y Eddy, 1995, pp. 144-146). Para conseguir la nitrificación con valores bajos de temperatura es necesario trabajar con tiempos de retención celular muy elevados (Ferrer y Aurora, 2015, p. 42). En climas cálidos, se puede conseguir mayor tasa de nitrificación aumentando el TRC medio y el aporte de aire consiguiendo la nitrificación estacional. Se considera una temperatura de 30°C como ideal para el proceso. Temperatura óptima entre 28-32°C, por debajo no hay reacción. | Afecta la tasa de remoción de nitrato en el afluente, en el estudio realizado por Carrera 2004, menciona que para un rango entre 10-25°C, el factor de temperatura es 1.06 y para un rango de 6-10°C el factor es de 1.33. |
| Oxígeno Disuelto | Afecta a la velocidad específica de crecimiento de los organismos. El $O_2$ necesario para oxidar el $NH_4^+$ a $NO_3^-$ es de 4.57 mg/L $O_2$ /mg N-  | La desnitrificación tiende a paralizarse cuando la concentración de OD alcanza 1.0 mg/L, ya que la velocidad de respiración de nitratos es mucho más   |

|             |   |   |
|-------------|---|---|
|             | <p>amoniaco, que se recomienda para los cálculos. Se obtiene a partir de la ec. (3.1) sin considerar la síntesis celular. Este parámetro puede convertirse en un factor limitante si su valor es inferior a 2 mg/L O<sub>2</sub>.</p>   | <p>lenta que la respiración aeróbica. Debe existir una ausencia de OD para favorecer la reducción de nitratos formados en la etapa de aireación.</p>  |
| pH          | <p>Este parámetro es un punto clave para el proceso, Carrera, (2004, pp. 31-48) establece un pH de 7.5 como valor óptimo para la población nitrificante y un pH que no provoque el desplazamiento del equilibrio hacia la formación de amoníaco libre que inhiba el proceso, a valores inferiores a 6.5 la velocidad de nitrificación disminuye drásticamente, este valor que está dentro del rango de 7.2-8.0 para nitrificación combinada con remoción de carbono orgánico, establecido por Orozco (2005, p. 518). El control de este parámetro provee la alcalinidad necesaria para el proceso.</p>                            | <p>El pH óptimo está alrededor del neutro. La desnitrificación aumenta la alcalinidad y como consecuencia sube el pH. Se recupera 3.57 mg/L como CaCO<sub>3</sub> por cada mg/L de N-NO<sub>3</sub> desnitrificado. Aumenta pH.</p> |
| Alcalinidad | <p>La falta de alcalinidad en el afluente puede producir los efectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las bacterias nitrificantes carecen de carbono inorgánico necesario para su metabolismo</li> <li>• El pH de los reactores desciende hasta valores inferiores a 6.</li> <li>• Produce la acumulación de nitrógeno amoniacal en los reactores nitrificantes, que es una problemática ya que el proceso se inhibe con el amonio libre (Carrera, 2004, pp. 18-19).</li> </ul> <p>Estequiométricamente se requiere 7.14 mg de alcalinidad, como CaCO<sub>3</sub> por mg de amoníaco oxidado. (Orozco, 2005, pp.</p> | <p>Aumento de la alcalinidad</p>  |

|                  |   |  |
|------------------|---|--|
|                  | 513-515), es por esto que en esta etapa existe una disminución de pH.   |  |
| Relación $DQO/N$ | Los organismos nitrificantes están presentes de forma limitada en los procesos aerobios de tratamiento biológico. El contenido de C:N del agua residual determina la competencia en el crecimiento de poblaciones de microorganismos autótrofos y heterótrofos (Cheng y Chen, 1994, pp. 131-142). La tasa de nitrificación se reduce con un aumento de concentración orgánica en el medio. (Ling y Chen, 2005; Michaud et al., 2006). Según Ahansazan et al. (2014, p. 2) el promedio de C:N:P cerca del ideal para el crecimiento de bacterias de lodos activados esta aproximadamente en 100:17:5 o 100:19:6. | La relación entre en DQO consumido y el N reducido está determinada por la estequiometría de desnitrificación y la composición de la materia orgánica. El valor estequiométrico que se necesita para el proceso de desnitrificación con el uso de etanol es 4.2 g DQO/g N.<br><br>En sistemas de lodos activos con sistemas EBN sin separación de biomasa, esta relación es aproximadamente un 40% mayor que la estequiométrica. |

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

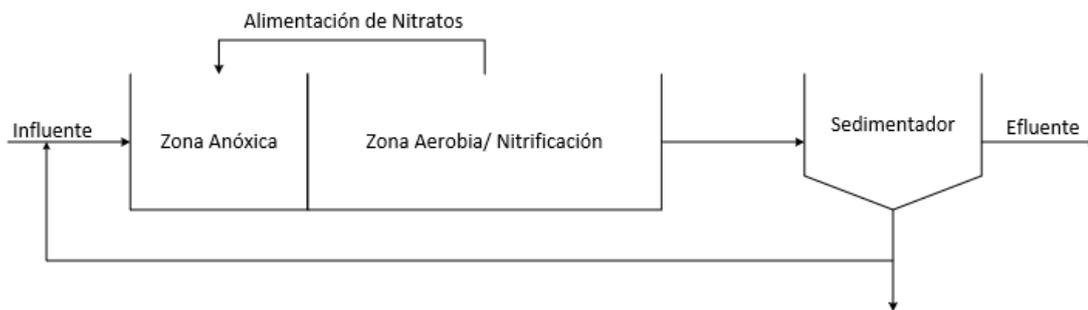
#### 1.5.4. *Sistemas de nitrificación/desnitrificación conjunta (fango único)*

Las ventajas específicas que presenta este sistema son:

- Reducción de volumen de aire necesario para conseguir la nitrificación y eliminación de  $DBO_5$
- Eliminación de la necesidad de fuentes de carbono suplementarias necesarias para la desnitrificación, ya que se emplea el carbono presente en el agua residual y el que queda en los fragmentos de tejido celular bacteriano después de la degradación endógena de los organismos.
- Eliminación de los decantadores/clarificadores intermedios y sistemas de recirculación de fangos necesarios en un sistema de nitrificación/ desnitrificación en etapas separadas.

Marais ha propuesto un esquema que permite efectuar la nitrificación-desnitrificación en un solo tanque (Figura 3-1), con compartimientos que separan la parte anóxica de la aerobia. La nitrificación puede ocurrir conjuntamente con la remoción de DBOC, esto es más probable en

climas cálidos y con una edad de lodos suficiente (mayor de cinco días), siempre que tenga el oxígeno requerido (Orozco, 2005, pp. 516-517).



**Figura 3-1: Esquema típico de Nitrificación/Desnitrificación pre-anóxica**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

En los sistemas de nitrificación/ desnitrificación biológica, el agua a desnitrificar debe tener un contenido de carbono suficiente para proporcionar la energía necesaria para que las bacterias lleven a cabo las conversiones necesarias. El carbono necesario se puede cubrir con fuentes internas (agua residual, materia celular) o fuentes externas (metanol). En la Tabla 3-1 se presentan los parámetros de control más importantes de este tipo de sistema.

**Tabla 3-1: Parámetros empíricos de un Sistema de Nitrificación/ Desnitrificación**

| PROCESO           | REACTOR                | TRC d   | SSVLM mg/L | pH        |
|-------------------|------------------------|---------|------------|-----------|
| Sistema combinado | Completamente mezclado | >5      | 3500       | 6.5 a 8.0 |
| Nitrificación     | Pistón                 | 10 a 20 | 1500       | 7.0 a 8.0 |
| Desnitrificación  | Pistón                 | 1 a 5   | 1500       | 6.5 a 7.0 |

Fuente: (Orozco, 2005, p, 520)

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

### 1.6. Microorganismos indicadores de fango activo

El conocimiento de la abundancia, diversidad y estructura de la comunidad microbiana es fundamental para la evaluación del grado de depuración y calidad del efluente, permitiendo la prevención de problemas en el funcionamiento del sistema.

Los flóculos formados nos permiten diagnosticar y prever el estado y rendimiento del proceso, mediante la concentración de bacterias filamentosas que se encuentran en este, ya que crean el entramado en el que se asientan los componentes floculares. (Rodríguez; et al., 2003, p. 21).

- Los protozoos son organismos unicelulares que pueden metabolizar tanto alimentos solubles como insolubles, ayudando a que el efluente sea más claro y de mejor calidad. Constituyen aproximadamente el 5% del peso seco de los SSLM. Estos microorganismos actúan eliminando el exceso de bacterias dispersas.

Son un indicador directo de toxicidad, ya que son los más sensibles a los tóxicos y a los cambios de oxígeno por lo que se utilizan como indicadores de la planta. Los grupos básicos que pueden observarse en las plantas son: Flagelados, Amebas, Ciliados nadadores libres y pedunculados. Cada uno de estos grupos desempeñan una función concreta en el sistema y su aparición y abundancia reflejan las condiciones fisicoquímicas existentes en los tanques de aireación, por lo que resulta ser un índice útil para valorar la eficacia del proceso de depuración (Salinas, 2013, pp. 40-42).

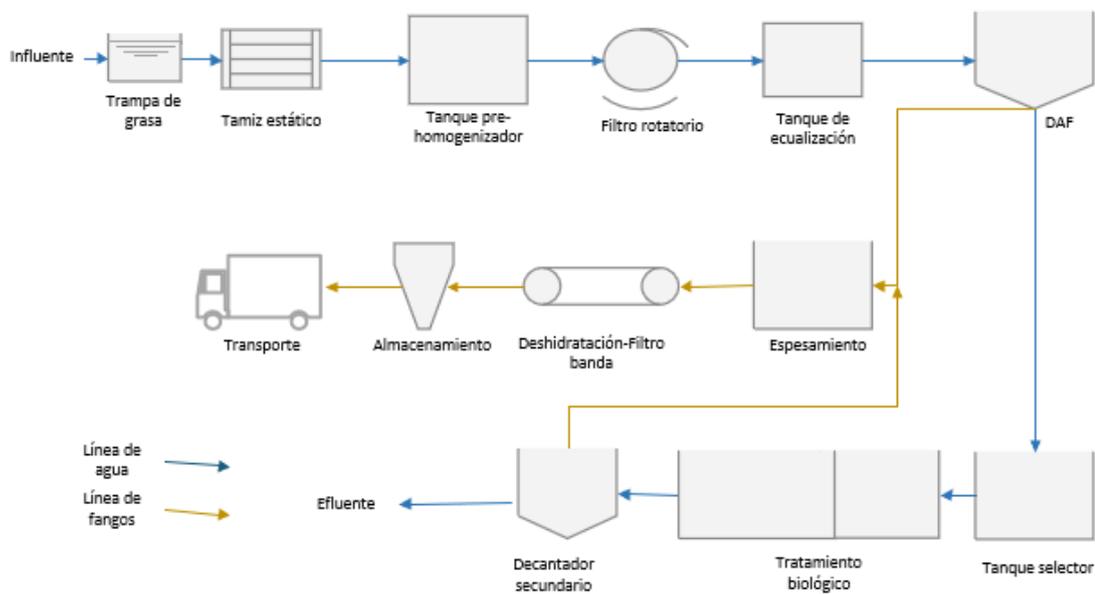
- Los metazoos son organismos con una estructura más compleja que los protozoos, la clase más representativa es la de los rotíferos que se encuentran en sistemas estabilizados con altas concentraciones de OD. Son considerados indicadores de estabilidad ya que ayudan a eliminar bacterias libres y se alimentan de materia orgánica particulada, contribuyendo a la clarificación del efluente. De igual manera contribuyen a la formación de flóculos mediante la producción de mucosidades (Morales, 2014, pp. 64-68).

## CAPÍTULO II

### 2. METODOLOGÍA

#### 2.1. Planta de tratamiento de aguas residuales

La Empresa sujeta a investigación cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales electrónicamente sistematizado; constituido de tratamientos físicos, químicos y biológicos, incluyendo el manejo de lodos hasta su disposición final, estos se detallan a continuación.

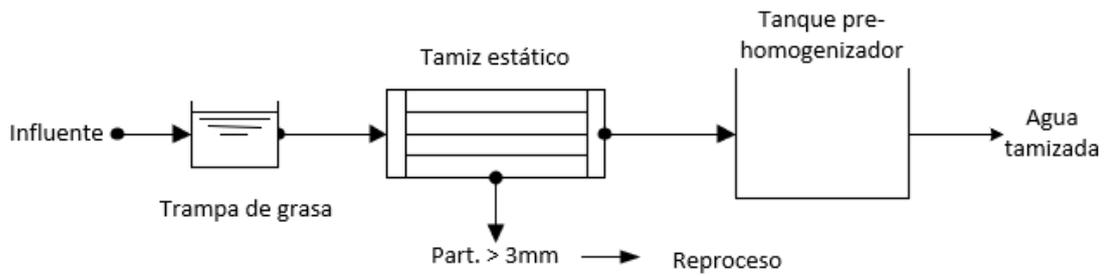


**Figura 1-2: Esquema simple de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

##### 2.1.1. Tratamiento preliminar

El efluente que se genera pasa por un sistema de tratamiento preliminar constituido por una trampa de grasa y tamices estáticos con una luz de malla de 3 mm, en donde las partículas mayores son retenidas y evacuadas con el fin de entrar a un programa de recuperación de subproductos, de este fluye a un tanque pre-homogenizador en donde se mezclan todas las descargas de las fases de producción.



**Figura 2-2: Esquema del Tratamiento preliminar**

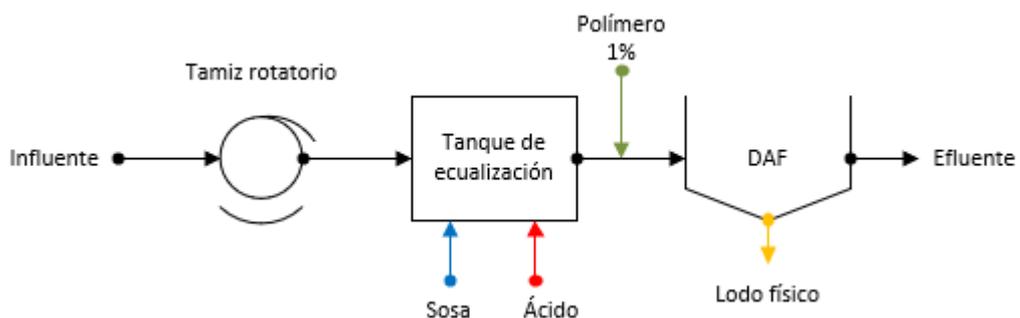
Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

### 2.1.2. Tratamiento físico-químico

El pre-tratamiento físico-químico se lo realiza mediante una Unidad de Flotación por Aire Disuelto (DAF). Para evitar daños mecánicos se requiere la separación de sólidos gruesos, por lo tanto, el efluente tamizado es bombeado hacia un filtro rotatorio de luz de malla de 0.1 mm, y posteriormente enviado a un tanque estabilizador de pH.

La unidad de flotación crea micro burbujas, normalmente entre 20–40 $\mu$ , que se unifican o adhieren a partículas de tamaño similar o mayor, incrementando la fuerza de ascensión de las mismas. La mayoría de flóculos formados por el polímero son de mayor tamaño, por tanto, las micro burbujas se pegan a ellos haciendo que las más ligeras suban rápidamente a la superficie de la unidad DAF, de donde son separadas mediante un raspador.

Los sólidos pesados no se ven afectados por las micro burbujas de aire, de manera que, se sedimentan en un mayor tiempo y se acumulan en el fondo. La eliminación de estos se da mediante un tornillo de descarga automático equipado al fondo de la unidad.

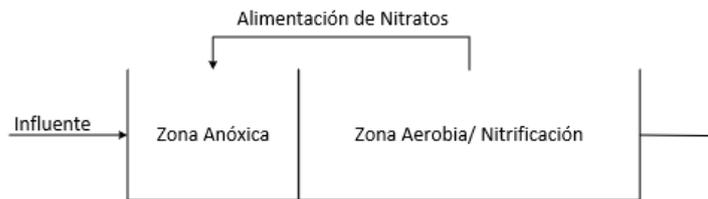


**Figura 3-2: Esquema del Pre tratamiento físico químico**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

### 2.1.3. Tratamiento biológico

Desde el pre-tratamiento, el agua residual fluye a un “tanque de contacto” o “selector” que permite limitar el desarrollo de bacterias filamentosas y estimular el crecimiento de flóculos de bacterias mediante la adaptación. Posterior a la selección, el efluente es bombeado a la etapa anóxica o de desnitrificación del reactor biológico de flujo continuo, en donde el agua residual es mezclada con el llamado “licor de mezcla”, el cual es transportado hacia la fase aeróbica mediante un impulsor.

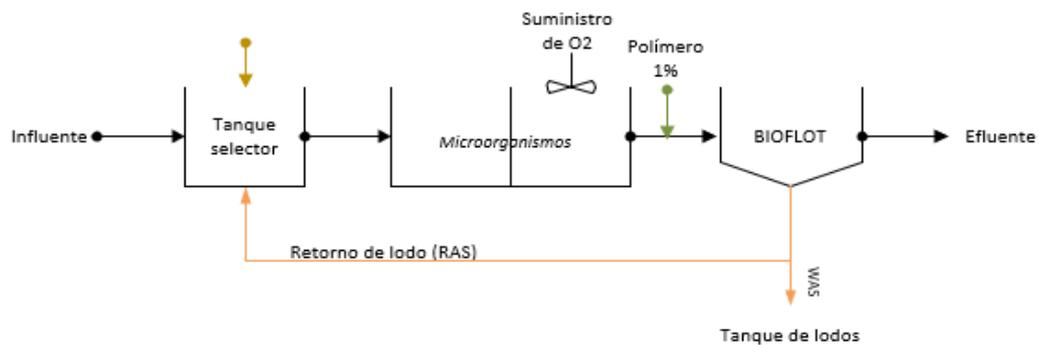


**Figura 4-2: Esquema del Tratamiento biológico**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

### 2.1.4. Sedimentador Secundario

Posteriormente el agua es dirigida a la unidad DAF denominado “Bioflot”, el cual mediante adición de un polímero catiónico se encarga de separar la biomasa del efluente. Una fracción del fango separado se recircula al sistema biológico (RAS) con el fin de mantener la cantidad de biomasa adecuada, la otra fracción de fango se retira del sistema (WAS) enviándolo al tanque de lodos. Una vez separada la biomasa del agua ésta es enviada a un tanque de nivel, en donde una parte del agua es recirculada al proceso de producción y la otra es tributada al río.

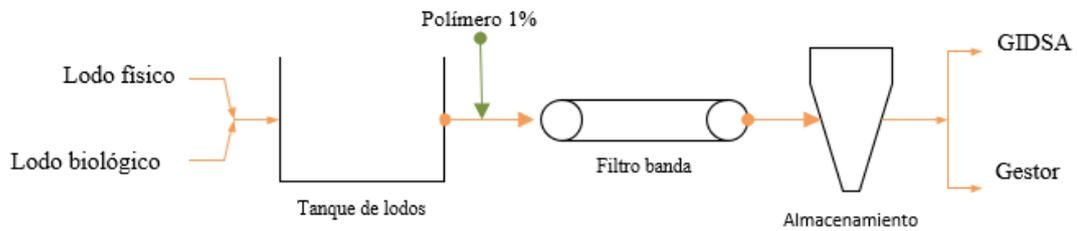


**Figura 5-2: Esquema del tratamiento biológico y sedimentador secundario**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

### 2.1.5. Manejo de lodos

Los lodos tanto químicos como biológicos son captados en un tanque espesador para seguidamente ser deshidratados mediante un filtro banda, almacenados en una tolva y posteriormente enviados al GIDSA y a un gestor de lodos que es transformado en compost debido a su característica no peligrosa.

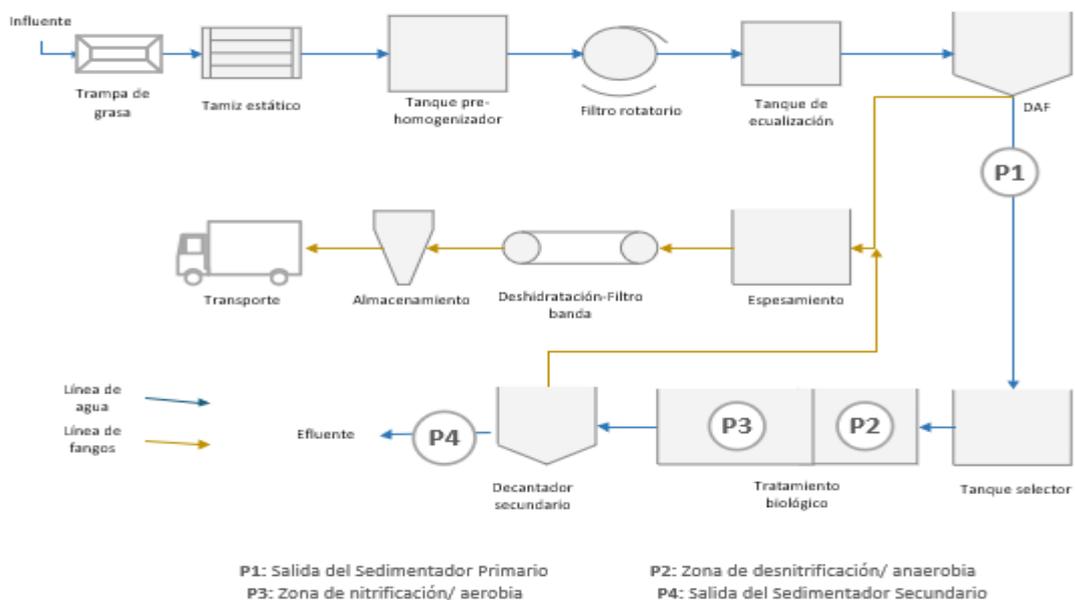


**Figura 6-2: Esquema del sistema de manejo de lodos**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

### 2.2. Localización de los puntos de muestreo

Se consideró 4 puntos de muestreo, los cuales fueron evaluados como puntos críticos para el desarrollo del proyecto, tomando en cuenta el flujo turbulento que debe poseer el lugar para la recolección. Los puntos de muestreo definidos se muestran en la Figura 7-2.



**Figura 7-2: Localización de puntos de muestreo**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

### 2.3. Toma de muestras

Las muestras del P1 fueron obtenidas cada hora durante las 24 h con el objetivo de conformar una muestra compuesta; para el P2, P3, P4 se tomaron muestras simples y de carácter puntual. Los muestreos fueron realizados durante un mes y medio, en envases de plástico previamente rotulados y de capacidad de 1L.

### 2.4. Caracterización físico-química

Las técnicas analíticas empleadas para la caracterización físico-química del efluente se realizaron mediante la ayuda del Colorímetro HACH conjuntamente con otros equipos ubicados en el laboratorio de Gestión Ambiental y Control de Calidad de la Empresa. Los métodos empleados se muestran a continuación:

#### 2.4.1. Determinación de Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )

- La determinación de la alcalinidad se lo realizó mediante titulación con ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0.2N.
- Colocar en un vaso de precipitación una alícuota de 50mL de muestra
- Titular la muestra con la bureta de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  hasta obtener un pH de 4.
- Determinar los mL gastados de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  hasta llegar al punto de equivalencia.
- Determinar la alcalinidad total de la muestra mediante:

$$\text{mg de } \frac{\text{CaCO}_3}{\text{L}} = \frac{a * b * 50000}{\text{vol. de muestra (mL)}}$$

Donde:

a= mL gastados de  $\text{H}_2\text{SO}_4$

b= Normalidad de  $\text{H}_2\text{SO}_4$

50000= Pmeq del  $\text{CaCO}_3$

**2.4.2. Determinación de Nitrate, High range (0 to 30.0 mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup> -N) Cadmium Reduction Method. Method 8039.**

- Con la ayuda de una pipeta volumétrica colocar 10 mL de muestra en la celda.
- Añadir el contenido del Reactivo NitraVer 5.
- Agitar vigorosamente la muestra 1 min y dejar reposar 5 min mientras ocurre la reacción.
- Colocar 10 mL de agua destilada en otra celda (blanco).
- Programar el Hach con el PGRM 51, encerrar y medir.

**2.4.3. Determinación de Nitritos, High Range (0 to 150 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) Ferrous Sulfate Method. METHOD 8153**

- Colocar 10 mL de muestra en una celda.
- Añadir el contenido del Reactivo NitriVer 2.
- Cerrar la celda e invertir 5-7 veces para mezclar (Se notará un color verdoso-marrón con la presencia de nitrito).
- Dejar reaccionar durante 10 min.
- Preparar el blanco con agua destilada.
- Programar el equipo con el PGRM 59, encerrar y medir.

**2.4.4. Determinación de N- amoniacal NITROGEN, AMMONIA 0-50 NH<sub>3</sub> -N mg/L. Salicylate Method. METHOD 10031**

- Tomar 2 viales del Kit y añadir 0,1 mL de la muestra a analizar en un vial y 0.1 mL de agua destilada en otro (blanco).
- Añadir el contenido de los reactivos; Salicilato de amoniaco y cianurato de amoniaco a cada vial.
- Cerrar herméticamente y agitar para disolver el polvo.
- Dejar que reaccione durante 20 min.
- Preparar el equipo con el PGRM 67, encerrar y medir.

**2.4.5. Determinación de N-total, HR, Test N-tube. (10.0 to 150.0 mg/L N) TNT Persulfate Digestion Method. METHOD 10072.**

- Encender el digestor y programarlo hasta tener una temperatura de 105°C.
- Añadir el contenido del reactivo de Persulfato de Nitrógeno Total a un vial de Hidróxido de Nitrógeno total. Añadir 0.5 mL de agua destilada (blanco), tapar y agitar vigorosamente por 30s.
- Realizar el mismo procedimiento para la muestra a analizar.
- Colocar los viales en el digestor y calentar por 30 min. Removerlos exactamente cuando el tiempo se agote para una correcta lectura y dejar enfriar hasta temperatura ambiente.
- Añadir el contenido del Reactivo A a cada vial y agitar por 15s.
- Añadir el Reactivo B a cada vial y agitar por 15 s.
- Añadir 2 mL de la muestra digestada a un Vial con el Reactivo C. Realizar el mismo procedimiento con el blanco.
- Cerrar e invertir lentamente 10 veces y dejar reaccionar por 5 min.
- Colocar en el equipo el PGRM 69, encerrar y medir.

**2.4.6. Determinación de DQO (Demanda Química de Oxígeno)**

- Colocar 2.5 ml de Acondicionador (Sulfato de Plata) y 1.5mL de Dicromato de Potasio
- Colocar 2.5 mL de muestra (agua destilada o agua cruda)
- Digestar por 2 horas a 150°C
- Enfriar a temperatura ambiente
- Colocar una gota de ferroína (indicador)
- Titular con FAS (Sulfato ferroso Amonical) 0.1N

**Fórmula para el cálculo**

$$DQO \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(a - b) * c * 8000}{2.5}$$

Donde:

a= mL consumidos de FAS en el blanco

b= mL consumido de FAS en la muestra

c= Normalidad del FAS

## 2.5. Definición de parámetros operacionales

Al ser un sistema de nitrificación/desnitrificación conjunta de fango único los parámetros operacionales que se determinaron fueron:

### 2.5.1. Determinación del caudal ( $m^3/d$ )

El caudal fue tomado en la jornada matutina con la ayuda de un flujómetro establecido en la salida del sedimentador secundario. Al tomar una medida acumulada la estimación del caudal se realizó mediante la fórmula:

$$Q \left( \frac{m^3}{d} \right) = Q_{ac} - Q_{dis}$$

Donde:

$Q_{ac}$  = Q acumulado

$Q_{dis}$  = Caudal de diseño  $\left( 2417 \frac{m^3}{d} \right)$

### 2.5.2. Determinación del pH

Con la ayuda del PH-metro del Laboratorio de efluentes, previamente calibrado se tomaron los datos de pH de las muestras obtenidas y homogenizadas.

### 2.5.3. Determinación del Oxígeno Disuelto – OD ( $mg/L$ )

Al inicio del estudio los datos fueron obtenidos con la ayuda de un sensor en línea situado en la parte media del reactor (P2), y posteriormente se tomaron datos con un sensor móvil HACH en los distintos compartimentos estimando un promedio de OD.



**Figura 8-2: Puntos de medición de Oxígeno Disuelto (OD)**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

#### **2.5.4. Determinación de MLSSV (Sólidos Suspendedos Volátiles en el Licor Mezcla)**

- Colocar 2.5 ml de Acondicionador (Sulfato de Plata) y 1.5mL de Dicromato de Potasio en 2 viales.
- Añadir 2.5 mL de muestra (agua destilada o agua cruda). Agitar bien hasta que las muestras se homogenicen.
- Digestar por 2 horas a 150°C. Retirarlos del digestor y enfriar a temperatura ambiente.
- Colocar una gota de ferroína (indicador) a cada vial digerado.
- Titular con FAS (Sulfato ferroso Amonical) 0.1N.

#### **2.5.5. Determinación del Tiempo de detención hidráulico (TDH)**

Tiempo promedio que un volumen de agua residual permanece en un tanque, desde la entrada hasta la salida. Define el tiempo promedio durante el cual el sustrato orgánico está sometido a tratamiento. Es del orden 4 a 36 horas para lodos activados y hasta 0.5 horas para condiciones ELEA (Edad de Lodos Extremadamente Alta). Se lo determina mediante:

$$t_d = \frac{V}{Q}$$

Donde:

V: Volumen útil del tanque o reactor (L o m<sup>3</sup>)

Q: Caudal del AR (L/s o m<sup>3</sup>/s)

### 2.5.6. Determinación del Tiempo de Retención Celular (TRC o $\theta_c$ )

Tiempo promedio que las partículas de biomasa permanecen en el reactor antes de ser desechadas. El  $\theta_c$  es de 3-30 d para lodos activados.

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_r + (Q - Q_w) X_e}$$

Donde:

X: Concentración de biomasa en el reactor (mg/L de SSVLM)

$X_e$ : Concentración de biomasa en el efluente del sedimentador secundario (mg/L de SSV)

$Q_w$ : Caudal de lodos de exceso del reactor (L/s o m<sup>3</sup>/s)

$X_r$ : SSV en el retorno

### 2.5.7. Determinación de la Carga Másica (Relación F/M)

Cantidad de comida por unidad de biomasa que reciben diariamente los microorganismos. Normalmente, esta entre 0.05 y 1.5 de kgDQO/ kgSSVLM.día, se utiliza en reactores aerobios en medio suspendido.

$$\frac{F}{M} = \frac{\text{Carga de DQO/día}}{\text{Masa de microorg.}}$$

$$\frac{F}{M} = \frac{DQO * Q}{SSVLM * V} = \frac{S * Q}{X * V} = \frac{S}{X * t_d}$$

Donde:

S: Sustrato orgánico, mg/L de DQO

X: Concentración de biomasa, mg/L de SSVLM

V: Volumen del reactor, L o m<sup>3</sup>

### 2.5.8. *Determinación del V30 (Sólidos Suspendedos mediante prueba volumétrica) (ml/L)*

- Llenar el cono Imhoff a la marca de un litro de una muestra bien homogenizada del licor de mezcla
- Dejar reposar por 30 min y leer.

### 2.5.9. *Determinación del Índice Volumétrico de Lodos (IVL)*

Indica la asentabilidad de los lodos, es decir la capacidad de separación de la biomasa y el licor mixto. Lodos con buena asentabilidad deben tener un  $IVL < 100$ .

$$IVL = 1000 \frac{V_a}{SSLM}$$

Donde:

$V_a$ : Volumen asentado en mL

### 2.6. **Determinación de la eficiencia del proceso de nitrificación y desnitrificación**

Se tomó en cuenta las diferentes formas de los compuestos nitrogenados como;  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$  y  $N-NH_3$  presentes de acuerdo a los puntos de muestreo establecidos. La determinación de la eficiencia se dio mediante la fórmula:

$$\%NO_2^- = \frac{(NO_{2e}^- - NO_{2s}^-)}{NO_{2e}^-} * 100$$

Donde:

$\%NO_2^-$  = Eficiencia de remoción de los  $NO_2^-$  (%)

$NO_{2e}^-$  = Nitritos en la entrada al reactor (mg/L)

$NO_{2s}^-$  = Nitritos a la salida del reactor (mg/L). Se realizó el mismo procedimiento para cada uno de los compuestos establecidos.

## 2.7. Evaluación de la población microbiana

El análisis de la población microbiana se lo realizó mediante la observación en el microscopio óptico del Laboratorio de Biotecnología. La técnica microscópica utilizada fue la de campo claro, que nos permitió la visualización de los flóculos y microorganismos presentes.

Se trabajó con microscopía del flóculo depositando una gota de muestra perfectamente homogenizada del licor de mezcla en un porta objetos, cubrir con el cubre objetos de manera que la muestra no rebose y no se formen burbujas de aire dentro. La forma se clasificó en dos criterios:

- Regular: Si la mayoría de flóculos presentan una morfología más o menos redonda o alargada
- Irregular: Si difieren de la forma regular.

La estructura del flóculo se identificó contando 3 clasificaciones: Compacto, Medio y Abierto. Mientras una estructura compacta del floc es indicio de un lodo en buenas condiciones, y una media o abierta puede indicar un lodo demasiado joven, la presencia de material tóxico, aireación mecánica excesiva, un periodo demasiado largo a niveles de OD bajo o la presencia abundante de organismos filamentosos que provoca disgregación (Zorzona, 2014, pp. 7-9).

La identificación de organismos depuradores (protozoos - metazoos) se realizó con la ayuda de la Guía metodológica para la elaboración de análisis microbiológicos de fangos activos de E.D.A.R.s propuesta por Grupo de Bioindicación de Sevilla (Rodríguez; et al., 2003) y Microbiología de lodos activados (Moeller; y Ortíz, 2007).

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. Parámetros físico-químicos de diseño y parámetros actuales

Dentro del diagnóstico inicial de la PTAR se revisaron los parámetros de diseño para establecer un comparativo con los resultados físico-químicos e hidráulicos del efluente que actualmente está siendo tratado. En la Tabla 1-3 se muestran las variaciones existentes.

**Tabla 1-3:** Parámetros de diseño y actuales de la PTAR

| <b>PARÁMETROS FÍSICOS</b>                                      |               |                 |
|--|---------------|-----------------|
| <b>Parámetros</b>  | <b>Diseño</b> | <b>Actuales</b> |
| <b>Caudal diario, m<sup>3</sup>/d</b>                          | 2417          | 2499            |
| <b>Caudal horario promedio, m<sup>3</sup>/h</b>                | 100           | 104             |
| <b>Caudal horario máx. (máx. 2h continuo), m<sup>3</sup>/h</b> | 125           | 125             |
| <b>TDH, d</b>  | 2.5           | 1.75            |
| <b>PARÁMETROS QUÍMICOS</b>                                     |               |                 |
| <b>Parámetros</b>  | <b>Diseño</b> | <b>Actuales</b> |
| <b>DQO (mg/L)</b>  | 2726          | 2335            |
| <b>NTK (mg/L)</b>  | 132           | 369             |
| <b>N-NH<sub>3</sub> (mg/L)</b>                                 | <50           | 88              |
| <b>Fósforo total (mg/L)</b>                                    | <3            | 21              |
| <b>Temperatura</b>   | 19-25         | 18,74           |
| <b>pH</b>  | 2,5-8,0       | 5,07            |

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

La variabilidad físico-química e hidráulica del efluente que actualmente llega a la PTAR, se debe principalmente a los porcentajes de participación de materia prima entre carnaza seca y carnaza fresca, en el primer caso se requiere un proceso de remojo, el cual, junto con el aumento de producción, ha determinado que el caudal del efluente que ingresa al tratamiento se incremente en 82 m<sup>3</sup>/d aproximadamente, lo que representa un 3.4% adicional del caudal de diseño. Esto

limita de igual manera el TDH del efluente teniendo una disminución de 0.75 d en que este retenido en el reactor.

En cuanto a la caracterización físico-química la concentración actual de NTK en el efluente representa un aumento de 237 mg/L, y con respecto a la concentración de N-NH<sub>3</sub> existe una diferencia de 38 mg/L con relación a la concentración de diseño, estas variaciones permiten establecer preliminarmente que existe una disminución en la eficiencia de remoción de NTK y N-NH<sub>3</sub> que es objeto del estudio.

### 3.2. Diagnóstico operacional en el proceso de nitrificación/desnitrificación

Dentro del diagnóstico operacional de la PTAR en la cual se realiza el estudio, se desarrolló una revisión bibliográfica para definir las variables operacionales de directa injerencia en el proceso de nitrificación/desnitrificación y contrastarlas con los valores de operación actual. Los resultados se presentan en la Tabla 2-3.

**Tabla 2-3:** Diagnóstico operacional de la PTAR

| Parámetro               | Bibliografía  |                  | Operación     |                  |
|-------------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|
|                         | Nitrificación | Desnitrificación | Nitrificación | Desnitrificación |
| OD (mg/L)               | >2            | <1               | 1,7           | 0,3              |
| Temperatura (°C)        | 28-32         | 25-35            | 19,45         | 19,06            |
| pH                      | 6,8-8,0       | 7,0-8,0          | 7,58          | 7,44             |
| Relación C:N            | ---           | 2,86             | 0,68          | 4,51             |
| Edad del fango (d)      |               | >5               |               | 6,45             |
| MLSSV (mg/L)            |               | 3500             |               | 4400             |
| F/M (kgDQO/kgSSVLM.día) |               | 0,05-1,5         |               | 0,23             |
| IVL (ml/g)              |               | <100             |               | 54,60            |

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

Como se muestra en los resultados existen parámetros que difieren de las referencias bibliográficas. Sin embargo, se procedió a evaluar si estas diferencias son sustentables con relación al comportamiento real de la PTAR, motivo del estudio.

Dentro de las variables operacionales que difieren se tienen las siguientes:

1. OD (Oxígeno Disuelto)
2. Relación C:N
3. Edad del fango

4. MLSSV
5. TDH

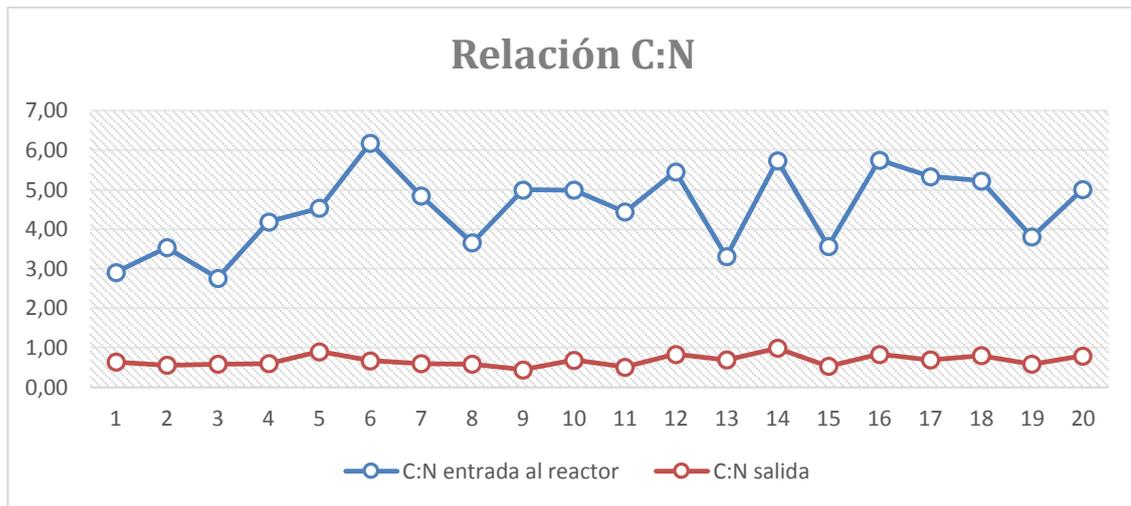
### **3.2.1. OD (Oxígeno Disuelto)**

Dentro de esta variable operacional se puede observar que, en la etapa de nitrificación, existe una menor concentración con respecto al valor referencial, considerando que la reacción de nitrificación es un proceso de oxidación es de trascendental importancia incrementar la concentración de OD para evaluar su efecto en la disminución de  $N-NH_3$ .

La modificación de esta variable es posible mediante el aumento de la aireación en el reactor biológico, consecuentemente esta modificación implicará un costo económico adicional al que actualmente tiene la operación de la PTAR. Con respecto a la etapa de desnitrificación, existe una concentración que está por debajo de lo referencial, el cual inicialmente no representaría inconvenientes, sin embargo, este proceso se encuentra limitado por el efecto del OD en la etapa de nitrificación.

### **3.2.2. Relación C:N**

La relación C:N del agua que entra al tanque anóxico nos da un resultado de 4.51, valor superior a 2.86 necesario para la desnitrificación, que establece Mallia et al., 2012, sin embargo no se tiene problemas en los análisis del efluente de descarga en cuanto a la DQO, lo que significaría que el C restante del proceso de desnitrificación es utilizado por las bacterias autótrofas responsables de la nitrificación. Esta variable no está sujeta a modificación ya que son concentraciones que provienen del efluente tratado.

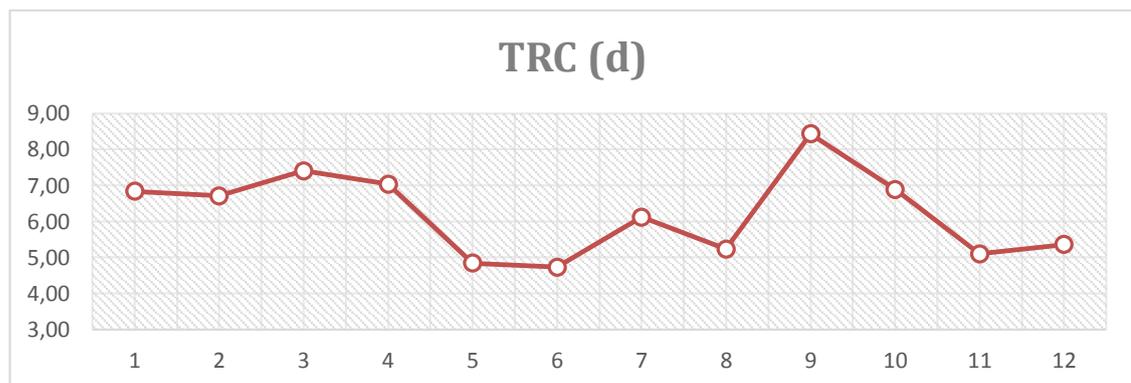


**Gráfico 1-3: Relación C:N en la entrada y salida del reactor biológico**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

### 3.2.3. Edad del fango

En cuanto al valor de la edad de fango tenemos que supera la referencia. La modificación de esta variable es viable, pero al ser consistente con la bibliografía se mantiene el criterio de operación, sin necesidad de adicionar purgado de lodos.

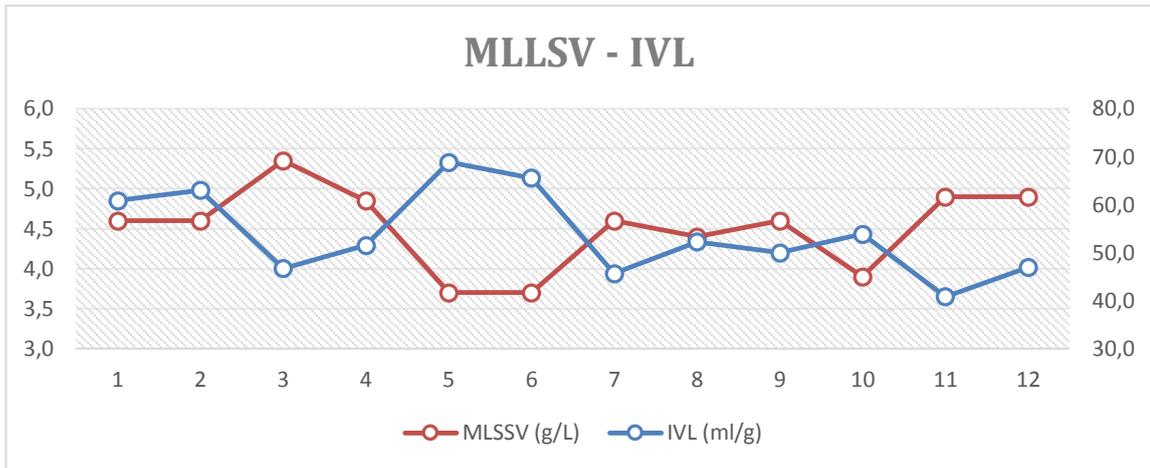


**Gráfico 2-3: Variación del TRC del reactor**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

### 3.2.4. MLSSV y IVL

El valor de MLSSV se mantiene constante en todo el reactor, es por ello que se ha tomado como único valor los 4400 mg/L, no se tiene el mismo valor que bibliografía ya que al momento de la operación con MLSSV de 3500 mg/L genera una concentración elevada de DQO a la descarga. Al depender el IVL del SV30 y los MLSSV se tiene un valor promedio de  $54.6 < 100$ , por lo nos indica una buena sedimentabilidad de lodos.

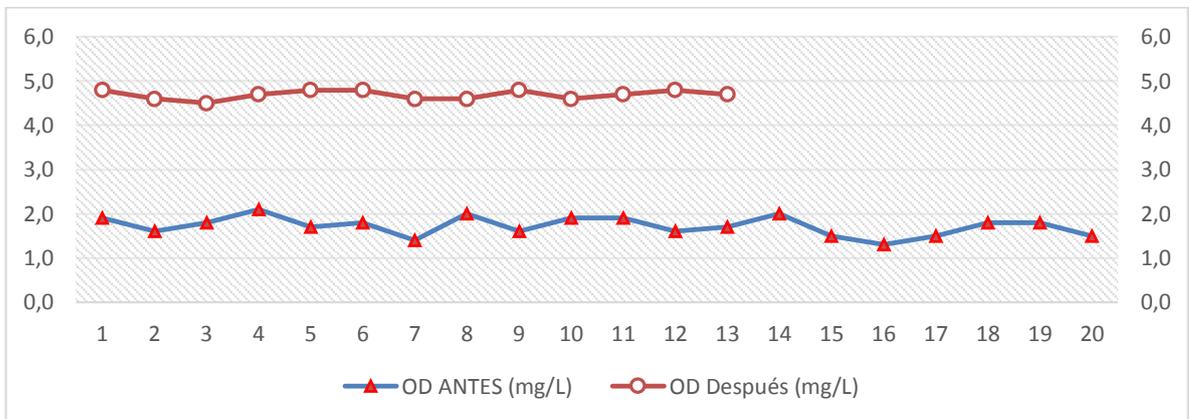


**Gráfico 3-3: Relación MLLSV-IVL en el reactor**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

### 3.3. Modificación de parámetros operacionales

Mediante el análisis de los parámetros que influyen en la nitrificación/desnitrificación se propone una modificación de la concentración de OD considerado como factor limitante en la balsa de aireación, con el objetivo de promover una remoción más efectiva del  $N-NH_3$ , obteniendo un promedio de 4.7 mg/L OD en el reactor aerobio. Para esto se ha dispuesto mantener encendido los aireadores 1 y 2, y el aireador 3 encenderlo 15 min en intervalos de 120 min durante un periodo de 15 días. En cuanto a las demás variables operacionales se han tratado de mantener uniformes de acuerdo al caudal tratado diario. La evolución en la concentración de OD se muestra en la Gráfico 4-3.

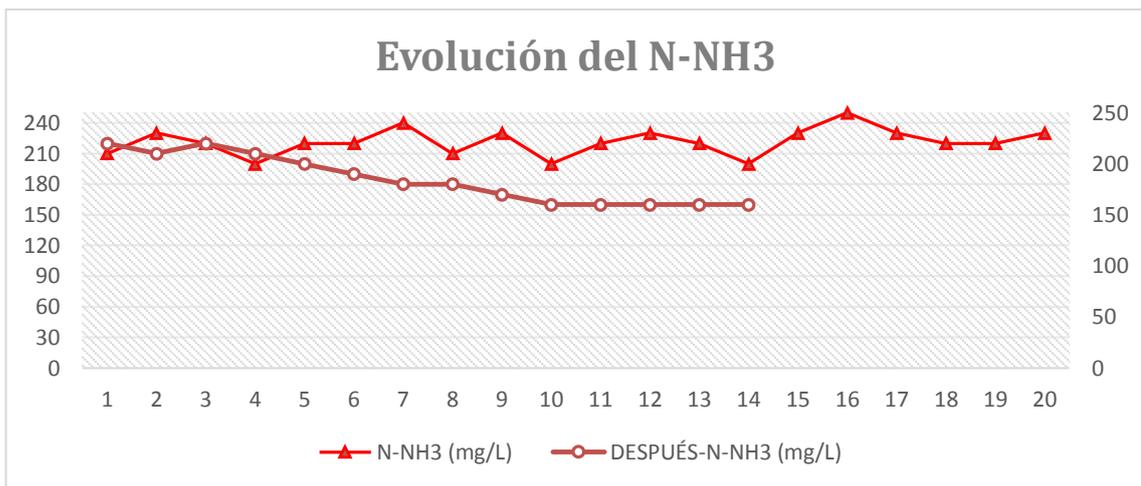


**Gráfico 4-3: Variación de la concentración de OD en el reactor aerobio**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

Con esta modificación se obtuvieron datos de los compuestos nitrogenados,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y principalmente  $\text{N-NH}_3$ , en los diferentes puntos propuestos, para observar la evolución de los mismos.

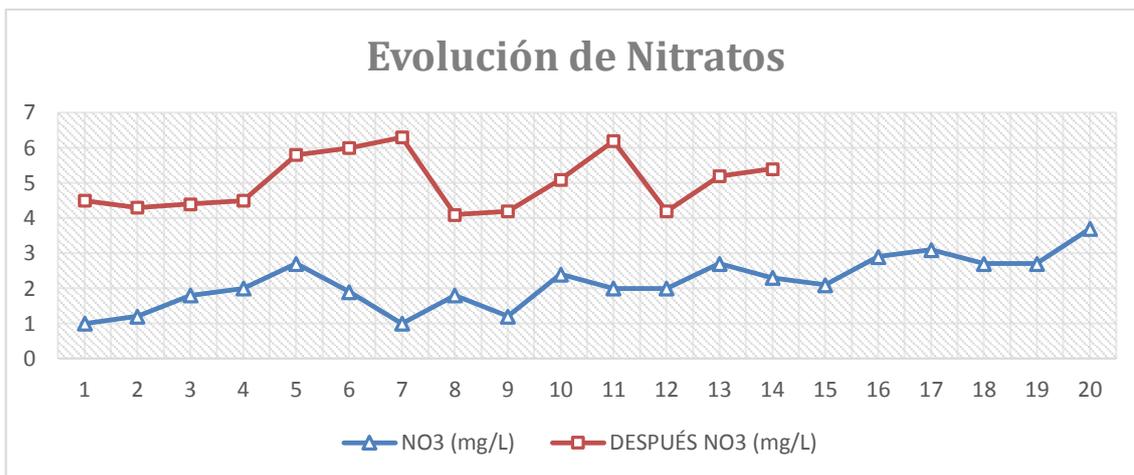
A lo que se refiere con  $\text{N-NH}_3$  con una concentración de OD de 1.7 mg/L en el reactor se logra una eficiencia promedio del 17.9%, con una concentración de descarga de 221 mg/L; con la modificación en la aireación y por lo tanto en la concentración de OD se logra una eficiencia de remoción del 31.4% aumentando la eficiencia con la que normalmente se opera en 13.5%, alcanzando una concentración de descarga de 160 mg/L de  $\text{N-NH}_3$  al final del estudio, la evolución de  $\text{N-NH}_3$  se muestra en la Figura 5-3:



**Gráfico 5-3: Evolución de la concentración N-NH3 en la descarga del efluente**

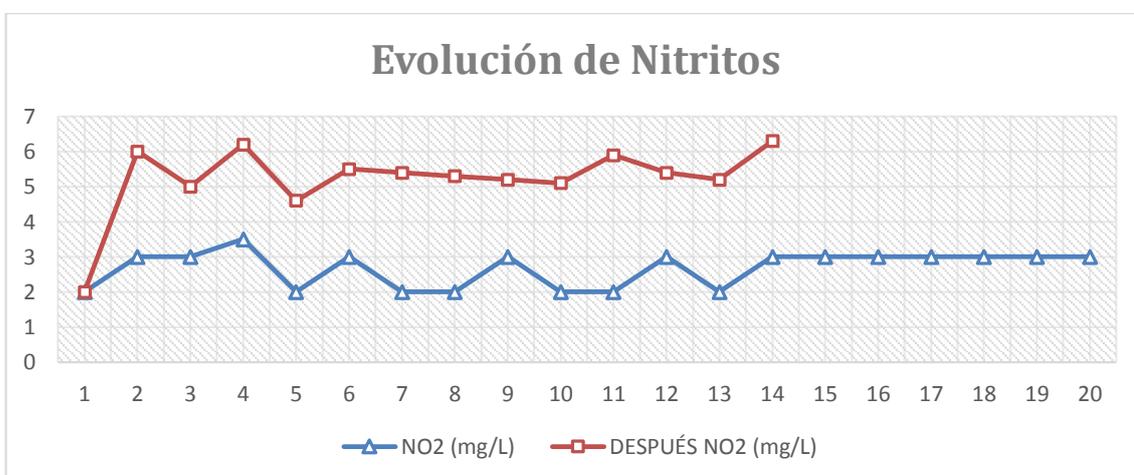
Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

Con la modificación en la aireación se observó un aumento en las concentraciones de  $\text{NO}_2^-$ , y  $\text{NO}_3^-$  en el reactor, que constituye un incremento de 2.85 mg/L de  $\text{NO}_3^-$  y de 2.55 mg/L de  $\text{NO}_2^-$  en la concentración de la descarga, como se muestra en la Figuras 6-3 y 7-3, esto se le atribuye a la oxidación de  $\text{N-NH}_3$  que ocurre en la balsa de aireación.



**Gráfico 6-3: Evolución de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la balsa de aireación**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

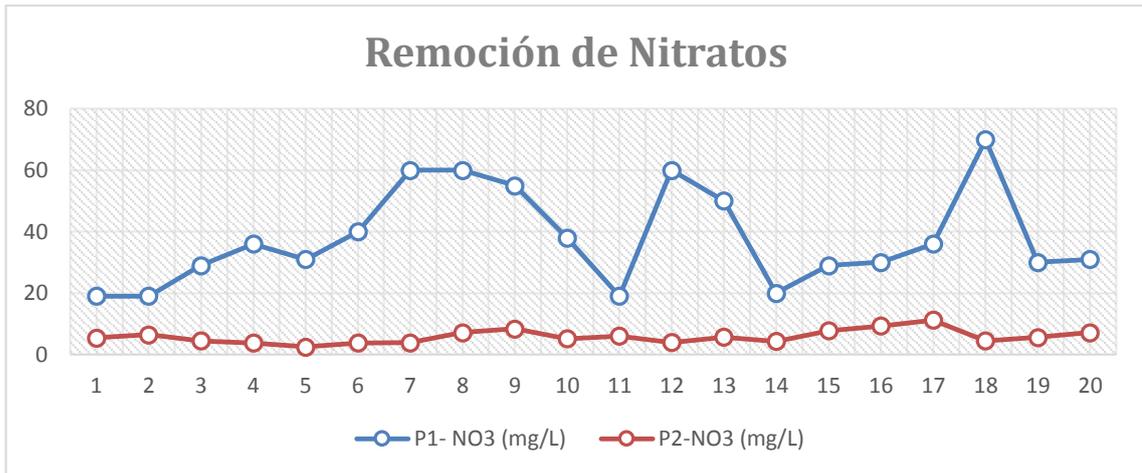


**Gráfico 7-3: Evolución de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> en la balsa de aireación**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

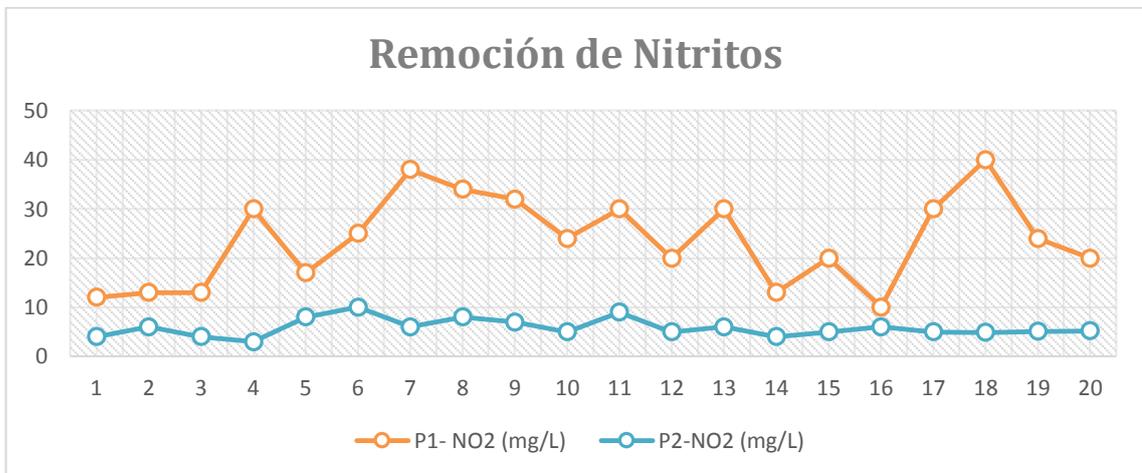
### 3.3.1. Balsa de desnitrificación

En cuanto a la concentración de OD en la zona de desnitrificación, no se encontraron cambios, ya que se mantuvieron concentraciones entre 0.2-0.3 mg/L durante el estudio, prevaleciendo las condiciones anóxicas para el consumo de O<sub>2</sub> provenientes de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> – NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. La eficiencia en la remoción en esta zona se mantiene en 85% en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y en 75% de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, aclarando que la eficiencia es calculada con los NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de la alimentación, mas no se compara con las concentraciones del LM presente en el reactor aerobio. En los gráficos se muestran los datos analizados en el P1 y P2 de estos compuestos, respectivamente.



**Gráfico 8-3: Remoción de  $\text{NO}_3^-$  en el tanque de desnitrificación**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

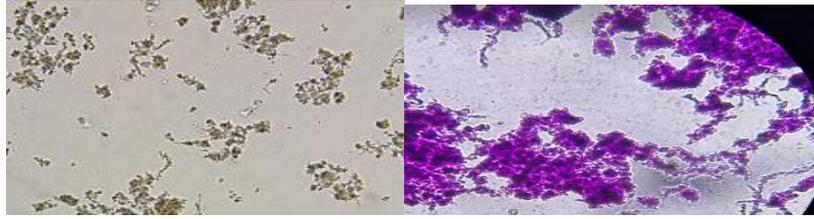


**Gráfico 9-3: Remoción de  $\text{NO}_2^-$  en el tanque de desnitrificación**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

### 3.4. Evaluación microbiana

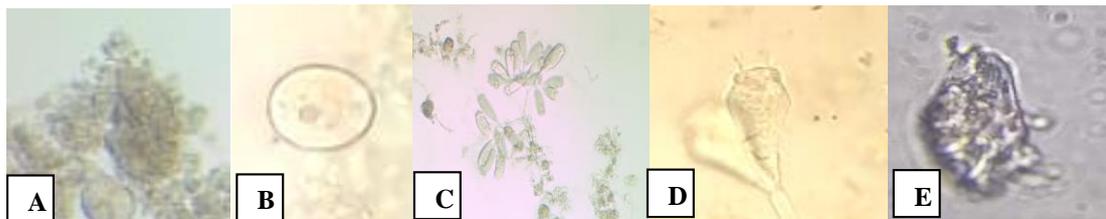
La observación microscópica reveló una forma abierta irregular del flóculo y una dispersión normal. La dispersión normal es indicio de un lodo en buenas condiciones, la forma irregular abierta muestra la presencia de organismos filamentosos que provocan la disgregación, frecuentemente se observan este tipo de estructuras cuando el lodo se encuentra con niveles bajos de concentración de oxígeno disuelto (Figura 1-3). En el floc se observan filamentos cortos debido a la presencia de la especie *Nocardia sp.*, este organismo está asociada a edades de fango altas (alrededor de 10 días).



**Figura 1-3: Flóculo abierto irregular y dispersión normal.**

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

En cuanto a la diversidad de microorganismos se encontraron la presencia de ciertas especies indicadoras de remoción de materia orgánica, los cuales son presentados en la Figura 2-3.



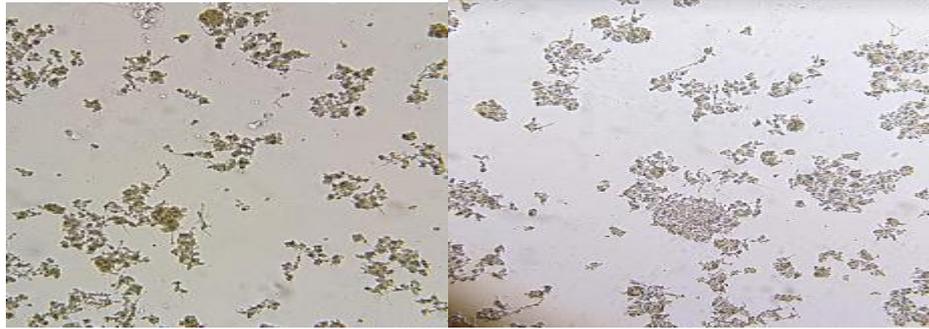
**Figura 2-3: Microorganismos observados en el reactor biológico A) *Arcella hemisphaérica* D) Ciliado móvil C)-D) Ciliados fijos E) *Naegleria aqualitis***

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

En la Figura 2-3 se encontró la presencia de *Arcella hemisphaérica* (A) que es una amiba la cual se desarrolla de forma masiva en medios donde se producen procesos de nitrificación. Alrededor del flóculo, nadando libremente se observó la presencia de ciliados libres y móviles (B) lo que indica una buena calidad del lodo y del efluente. Asimismo, adheridos al flóculo se encontraron ciliados pedunculados como *Vorticella sp.* y *Opercularia sp.* (C-D) Estos organismos están presentes cuando la calidad del efluente es alta, además son frecuentes cuando el tratamiento funciona correctamente, ya que su capacidad de fijación supone una ventaja adaptativa en el sistema, mantienen un equilibrio ya que son depredadores de ciliados libres y bacterias no floculadas, además de alimentarse de materia orgánica, igual que *Naegleria aqualitis* (E). Los cilios vacíos de *Vorticella sp.*, se encuentran en medios bajos de OD o presencia de sustancias tóxicas, de igual manera la presencia alta de *Opercularia sp.*, puede ocasionar una sobrecarga de materia orgánica, su aumento puede ocasionar una falla en la sedimentabilidad del flóculo.

Con el aumento de aireación se estableciendo diferencias en cuanto a la forma y estructura del flóculo y se encontró un ligero cambio en el estos, en la Figura 3-3 se puede observar que el flóculo se presentó de una forma más regular y en ciertos flóculos la estructura ya no fue tan dispersa. Se obtuvo el incremento de organismos filamentosos que fomentaban la unión de

bacterias depuradoras, esto se relaciona con el aumento de la nitrificación según (Pérez-Uz et al., 2009, pp. 2) en su estudio, como se muestra en la Figura 3-3.



**Figura 3-3: Comparación de flóculos**

**Realizado por:** CARVAJAL Lady, 2019

En cuanto a los ciliados se observó una presencia mínima de estos en las muestras tomadas, según mostraron que ha mayor eficiencia de eliminación de compuestos orgánicos y nitrogenados hay una disminución en cuanto a la presencia de ciliados en las muestras, en nuestro análisis se pudo presenciar una aparición mínima de estos antes y después de la modificación del OD.

Los factores que regulan la aparición de un organismo en particular, necesitan de una investigación histórica. Por lo que se debe tener una visión extensa del sistema, analizando todos los factores que pueden provocar cambios. Además de tener en cuenta que se trabaja con organismos y que el tiempo de respuesta no es inmediato. Si aplicamos una modificación operacional, debemos permitir la aclimatación de los organismos para valorar un cambio.

## CONCLUSIONES

- Evaluando los parámetros físico- químicos e hidráulicos actuales de la PTAR con los parámetros con los que fueron diseñados se obtuvo como resultado un incremento del caudal como de las concentraciones de carga contaminante carbonácea y nitrogenada, siendo una de las causas de las bajas eficiencias de remoción principalmente de compuestos nitrogenados.
- Con el análisis de los parámetros físico-químicos que intervienen en el proceso de desnitrificación de aguas residuales, se tuvo como resultados que los parámetros de OD, temperatura y MLSSV no estaban dentro del rango que se tomaron como referencias; siendo la concentración de OD el factor limitante en el desarrollo del proceso de nitrificación y desnitrificación, se consideró su análisis con el aumento del 1.7mg/L al 4.7 mg/L, obteniéndose mejoras en cuanto a la eficiencia de remoción de N-NH<sub>3</sub> en la balsa de aireación como también en el efluente de descarga, no obstante este aumento no tuvo ningún impacto en la reactor anóxico ya que las concentraciones de OD no variaron de 0.2-0.3 mg/L que son consideradas como adecuadas para el proceso de desnitrificación.
- Con la evaluación de la población microbiana responsable del proceso de nitrificación/desnitrificación de las aguas residuales mediante una observación microscópica cualitativa, se logró diferenciar a organismos que participaban en la eliminación de materia orgánica del efluente, siendo este un indicador de un fango estable, sin embargo solo se encontró a un protozario que indica directamente si el proceso de nitrificación/desnitrificación está ocurriendo en el reactor, y su presencia fue mínima; con el aumento de las concentraciones de OD se pudo observar que el flóculo formado poseía un mayor número de filamentos y de densidad, esto de acuerdo a bibliografía se puede considerar como un aumento en el rendimiento del proceso de depuración.

## **RECOMENDACIONES:**

- Se debe considerar una mejora en el método de aireación, invirtiendo en el cambio de dispositivos por difusores de aire, siendo estos más económicos y posiblemente dando mejores resultados en la remoción de nitrógeno.
- Se recomienda realizar un estudio más profundo sobre el comportamiento cinético de nitrificación/desnitrificación en este tipo de sistemas combinados.
- Se recomienda análisis comparativos del microbiota de fangos activos de distintas Plantas de tratamiento, para así establecer mejoras en cuanto a la operación de estos, fomentando el mejoramiento en la operación del mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **AHANSAZAN, B.; et al.** Activated Sludge Process Overview. *International Journal of Environmental Science and Development* [en línea], vol. 5, no. 1, pp. 5. 2014. [Consulta: 15 mayo 2019]. DOI 10.7763/IJESD.2014.V5.455. Disponible en: <http://ijesd.org/papers/455-P20003.pdf>.
2. **BACA, B.E., SOTO, L. y PARDO, M.P.** Fijación biológica de nitrógeno. *Elementos. Revista de Ciencia y Cultura* [en línea], 2000, vol. 7, no. 38, pp. 43. [Consulta: 12 abril 2019]. Disponible en: <https://elementos.buap.mx/num38/hm/43.htm>.
3. **BERKOWITZ, D.**, Industria Alimentaria. *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo* [en línea]. 1998. Cuarta. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. ISBN 8621510871. Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Enciclopedia OIT/tomo3/67.pdf>.
4. **CAMARGO, J.A. y ALONSO, A.** Contaminacion por Nitrogeno. , vol. 16, no. 2, 2007, pp. 98-110.
5. **CAMPOS, J.L; et al.** Procesos avanzados de eliminación de nitrógeno : nitrificación parcial , Anammox , desnitrificación autótrofa. [en línea], pp. 3-4, 2014. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/250051345/Procesos-Avanzados-de-Eliminacion-de-Nitrogeno-Campos-Libro>.
6. **CARRERA, J.M.** *Estudio De Los Parámetros Del Proceso Y Diseño De Una Depuradora Industrial* [en línea]. 2004. S.l.: Universidad Autónoma de Barcelona. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/13277798.pdf>.
7. **CARRILLO, D.** Sustitución Estratégica de Importaciones para Ecuador. [en línea], pp. 14, 2010. [Consulta: 2 abril 2019]. Disponible en: <http://www.uasb.edu.ec/UserFiles/381/File/ALIMENTOS.pdf>.
8. **CERÓN, L. y ARISTIZÁBAL, F.** Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos Nitrogen and phosphorus cycles dynamics in soils. *Rev. Colomb. Biotecnol* [en línea], 2012, no. 1, pp. 285-295. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v14n1/v14n1a26.pdf>.
9. **CHENG, S.S. y CHEN, W.C.** Department of environmental engineering, national cheng kung university, t. (Taiwan), Organic carbon supplement influencing performance of biological nitrification in a fluidized bed reactor. *Water Science and Technology (United Kingdom)* [en línea], 1994, pp. 131-142. [Consulta: 7 mayo 2019]. Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=GB9622177>.
10. **CLAROS, J.A.** Estudio del Proceso de Nitrificacion y Desnitrificacion Via Nitrito para el Tratamiento Biologico de Corrientes de agua Residualcon alta carga de Nitrogeno

- Amomiactal. [en línea]. (tesis) (Maestría) 2012.Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17653/tesisUPV3951.pdf?sequence=1>.
11. **EUGERCIOS, A.** *Interacciones acuífero-lago y biogeoquímica del nitrógeno en ambientes kársticos* [en línea]. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Geológicas, 2013. [Consulta: 15 mayo 2019]. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/21579/1/T34492.pdf>.
  12. **EUGERCIOS, S., ÁLVAREZ, C. y GONZÁLEZ, M.** Impactos del nitrógeno agrícola en los ecosistemas acuáticos. *Ecosistemas* [en línea], 2017, vol. 26, no. 1, pp. 37-44. [Consulta: 14 mayo 2019]. DOI 10.7818/ECOS.2017.26-1.06. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54050575006>.
  13. **FERNÁNDEZ, I.** Towards the improvement of start-up and operation of Anammox reactors. *Santiago, Spain: University of Santiago de Compostela* [en línea], 2010, pp. 244. Disponible en: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Towards+the+improvement+of+start-up+and+operation+of+Anammox+reactors#1>.
  14. **FERRER, J. y AURORA, S.** *Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales* [en línea]. 2015, Primera Ed. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 978-84-9048-641-2. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/263993496/Tratamiento-biologico-de-residuales-Ferrer-y-Secco>.
  15. **GARZÓN, N; et al.** Evolución sector manufacturero. *Cuaderno de Trabajo* [en línea], 2016, pp. 88. [Consulta: 2 abril 2019]. Disponible en: <http://www.ecuadrencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/SECTOR MANUFACTURERO.pdf>.
  16. **LA HORA,** Textiles, cuero y alimentos los pilares en la economía de Tungurahua : Noticias Tungurahua : La Hora Noticias de Ecuador, sus provincias y el mundo. [en línea]. 2018. [Consulta: 5 abril 2019]. Disponible en: <https://www.lahora.com.ec/tungurahua/noticia/1102167817/textiles-cuero-y-alimentos-los-pilares-en-la-economia-de-tungurahua>.
  17. **LING, J. y CHEN, S.** Impact of organic carbon on nitrification performance of different biofilters. *Aquacultural Engineering* [en línea], 2005, vol. 33, no. 2, pp. 150-162. [Consulta: 7 mayo 2019]. ISSN 0144-8609. DOI 10.1016/J.AQUAENG.2004.12.002. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860904001189>.
  18. **MALLIA, A., R; D., NIÑO, Z. y SIERA, A.** Evaluation of the denitrification process in bioactivated rds type pilot scale reactors , with nutrient removal. *Ingeniería y Sociedad*, vol. 7, no. 1, 2012, pp. 35-42.
  19. **MARTÍN, G; et al.** Cuantificación de la fijación biológica de Nitrógeno en Canavalia

ensiformis crecida en un suelo pardo mullido carbonatado mediante los métodos de abundancia natural de N y diferencia de N total. *Cultivos Tropicales. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas* [en línea], 2017, vol. 38, no. 1, pp. 122-130. [Consulta: 14 mayo 2019]. Disponible en: <http://ediciones.inca.edu.cu>.

20. **MENÉNDEZ, C. y PÉREZ, J.** Oxidación Biológica Nitrificación. En: D. RELOVA (ed.), *Procesos para el Tratamiento Biológico de Aguas Residuales Industriales*. 2007, primera edición. S.l.: Félix Varela, pp. 298. ISBN 9789590703393.
21. **METCALF;EDDY**, *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. Tercera Ed. Madrid: McGraw-Hill. ISBN 84-481-1612-7. 1995. pp. 368
22. **MICHAUD, L; et al.** Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters. *Aquacultural Engineering* [en línea], 2006, vol. 34, no. 3, pp. 224-233. [Consulta: 7 mayo 2019]. ISSN 0144-8609. DOI 10.1016/J.AQUAENG.2005.07.005. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860905000907>.
23. **MOELLER;, G. y ORTÍZ, A.C.T.** Microbiología De Lodos Activados. [en línea] 2007. Colombia: Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloII/5Microbiologiadelodosactivados.pdf>.
24. **MORALES, G.** *Evaluación de la Estabilidad de un sistema de Lodos Activados mediante Indicadores Fisicoquímicos y Biológicos*, Universidad de Concepción, 2014.
25. **MORENO, C.** *Tratamiento de agua residual de la extracción del aceite crudo de palma para su reutilización como agua de proceso mediante un biofiltro de arena* [en línea] (tesis) Universidad San Francisco de Quito. 2015. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5625/1/122845.pdf>.
26. **OROZCO, A.** Bioingeniería en aguas resiales. [en línea]. Primera ed. Colombia, Acodal: s.n. 2005. pp. 493-500. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/315904971/1-Orozco-bioingenieria-de-Aguas-Residuales>.
27. **PACHECO, J., PAT, R. y CABRERA, A.,** *Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos*. [en línea]. Universidad Autónoma de Yucatán, 2002. [Consulta: 14 abril 2019]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/html/467/46760308/>.
28. **PEÑA, A. y PINTA, A.** Análisis Sectoriales. *Infoeconomía* [en línea], 2012, pp. 2-3. [Consulta: 2 abril 2019]. Disponible en: <http://www.inec.gob.ec/cenec/index>.
29. **PÉREZ-UZ, B; et al.** Parámetros biológicos relacionados con la eliminación de nitrógeno en fangos activos. Análisis multivariante en el desarrollo de un índice biológico en estos. *VI Jornadas de Transferencia de Tecnología sobre Microbiología del Fango*

- Activo* [en línea], 2009. pp. 6. Disponible en: [http://www.researchgate.net/publication/234651319\\_Parametros\\_biolgicos\\_relacionados\\_con\\_la Eliminacin\\_de\\_nutrientes\\_en\\_fangos\\_activos.\\_Anlisis\\_multivariante\\_en\\_el\\_de\\_sarrollo\\_de\\_unndice\\_biolgico\\_en\\_estos\\_sistemas/file/d912f50fedf0768c70.pdf](http://www.researchgate.net/publication/234651319_Parametros_biolgicos_relacionados_con_la Eliminacin_de_nutrientes_en_fangos_activos._Anlisis_multivariante_en_el_de_sarrollo_de_unndice_biolgico_en_estos_sistemas/file/d912f50fedf0768c70.pdf).
30. **RIVAS, S., MENÉS, G. y RÓMULO, A.** Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara. *Tecnología Química* [en línea], 2017, vol. XXXVII, no. 2, pp. 195-205. [Consulta: 14 mayo 2019]. ISSN 0041-8420. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445551175003>.
  31. **RODRIGUEZ, E; et al.** *Guía metodológica para la elaboración de análisis microbiológicos de fangos activos de estaciones depuradoras de aguas residuales*. Primera. Sevilla, 2003, p.145.
  32. **SALINAS, G.,.** *Control preventivo y correctivo del Bulking filamentoso y espumas suerficiales en el tratamiento biológico de aguas servidas*. Pontificia Universidad Católica del Valparaíso. 2013, p. 125
  33. **SÁNCHEZ, J. y SANABRIA, J.,.** Metabolismos microbianos involucrados en procesos avanzados para la remoción de Nitrógeno, una revisión prospectiva Microbial metabolisms over advanced processes for Nitrogen removal, a prospective review. *Rev. Colomb. Biotecnol*, 2009, vol. XI, no. 1, pp. 114-124.
  34. **SEDLAK, R.,** *Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater : principles and practice*. Segunda Edición. New York: Lewis Publishers, 1991, p. 28.
  35. **TILAK, K; et al.** Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. [en línea]. India. 2005. [Consulta: 16 abril 2019]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/345a/779e00266360d055e69787586e1edf473c4b.pdf>.
  36. **VÁSQUEZ, J.** Training AQUA. 2014 , pp. 121.
  37. **ZORZONA, A.** Análisis rápido macroscópico y microscópico para fangos activos. Un enfoque práctico en el control de EDAR. *ResearchGate*, 2014. p. 14.

## ANEXOS

### ANEXO A: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Industria Alimentaria

| FOTOGRAFÍA   | DESCRIPCIÓN                         |
|--|-------------------------------------|
|    | Etapa preliminar de tamizado a 3 mm |
|   | Tanque pre-homogenizador            |
|  | Filtro rotatorio de malla 0.1 mm    |
|  | Tanque de Ecuación                  |



Unidad DAF  
utilizado en el  
pretratamiento  
físico-químico



Tanque Selector

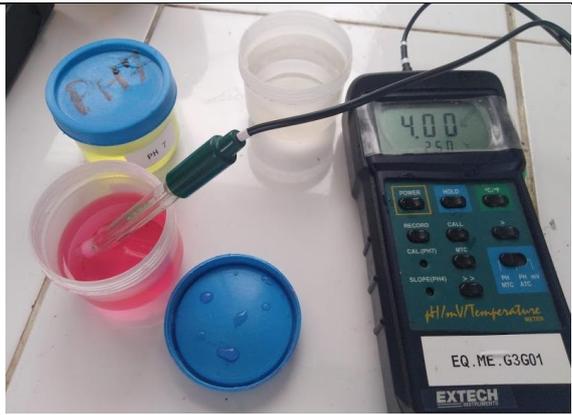


Reactor biológico

|  |  |
|--|--|
|    | <p>Salida del efluente<br/>"BIOFLOT"</p> |
|   | <p>Tanque de lodos</p>                   |
|  | <p>Filtro Banda</p>                      |
|  | <p>Almacenamiento<br/>de Lodos</p>       |

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

**ANEXO B: Análisis de la composición físico-química y biológica**

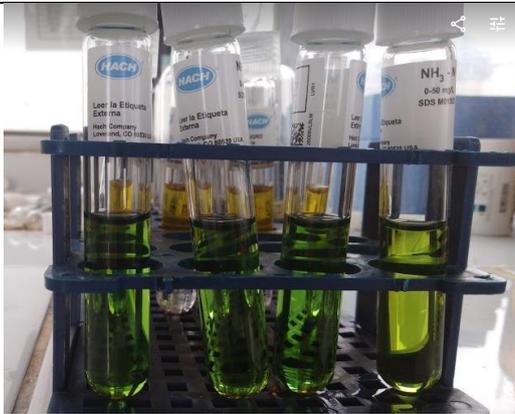
| <b>FOTOGRAFÍA</b>   | <b>ANÁLISIS</b>                       |
|---|---------------------------------------|
|    | <p>Toma de muestras</p>               |
|   | <p>Calibración de pH-metro</p>        |
|  | <p>Preparación de viales para DQO</p> |



Digestión de viales para la Determinación de DQO



Digestión de viales para determinación de  $N_t$



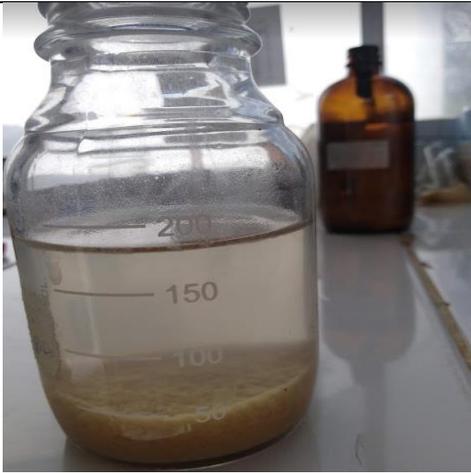
Determinación de  $N-NH_3$



Determinación de MLSSV



Determinación de SV30



Recolección de muestras para análisis  
microscópico

Realizado por: CARVAJAL Lady, 2019

**ANEXO C:** Caracterización del efluente industrial después del proceso de cribado y el P1

| FECHA     | HORA    | DESPUÉS DEL P-T |            | P1             |                |                     |                |       |                |                |            |
|-----------|---------|-----------------|------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|-------|----------------|----------------|------------|
|           |         | TP-DQO (mg/L)   | SST (mg/L) | P1- NO3 (mg/L) | P1- NO2 (mg/L) | N- Amoniacal (mg/L) | N-total (mg/L) | pH    | Temperatura °C | Fósforo (mg/L) | DQO (mg/L) |
| 6/5/2019  | 8:20:00 | 1920            | 468,0      | 19             | 12             | 274                 | 385            | 4,87  | 18,5           | 15             | 1120       |
| 7/5/2019  | 8:40:00 | 2560            | 372,0      | 19             | 13             | 283                 | 326            | 4,41  | 17,6           | 18             | 1152       |
| 8/5/2019  | 8:20:00 | 2650            | 396,0      | 29             | 13             | 268                 | 427            | 5,96  | 13,2           | 24             | 1180       |
| 9/5/2019  | 8:30:00 | 2560            | 991,0      | 36             | 30             | 284                 | 420            | 4,1   | 17,2           | 34             | 1760       |
| 10/5/2019 | 8:15:00 | 2464            | 330,0      | 31             | 17             | 272                 | 395            | 6,3   | 16,9           | 32             | 1792       |
| 13/5/2019 | 9:30:00 | 2400            | 338,0      | 40             | 25             | 258                 | 300            | 4,89  | 22,2           | 25             | 1856       |
| 14/5/2019 | 8:40:00 | 1920            | 429,0      | 60             | 38             | 263                 | 386            | 5,6   | 20,1           | 20             | 1870       |
| 15/5/2019 | 8:40:00 | 2250            | 328,0      | 60             | 34             | 259                 | 350            | 4,5   | 19,3           | 16             | 1280       |
| 16/5/2019 | 8:30:00 | 2880            | 420,0      | 55             | 32             | 264                 | 352            | 4,6   | 19,6           | 14             | 1760       |
| 17/5/2019 | 8:40:00 | 2080            | 722,0      | 38             | 24             | 273                 | 378            | 3,5   | 20,2           | 18             | 1888       |
| 20/5/2019 | 8:30:00 | 2240            | 259,0      | 19             | 30             | 265                 | 410            | 6,1   | 21,6           | 19             | 1820       |
| 21/5/2019 | 8:40:00 | 2240            | 278,0      | 60             | 20             | 271                 | 352            | 3,4   | 20,1           | 18             | 1920       |
| 22/5/2019 | 8:20:00 | 2225            | 404,0      | 50             | 30             | 268                 | 375            | 3,43  | 19             | 15             | 1240       |
| 23/5/2019 | 8:15:00 | 2080            | 420,0      | 20             | 13             | 254                 | 340            | 6,05  | 18,8           | 22             | 1952       |
| 24/5/2019 | 8:20:00 | 1760            | 380,0      | 29             | 20             | 274                 | 403            | 5,5   | 16             | 28             | 1440       |
| 27/5/2019 | 8:15:00 | 3040            | 313,0      | 30             | 10             | 286                 | 409            | 5,68  | 23,7           | 24             | 2354       |
| 28/5/2019 | 8:20:00 | 1600            | 354,0      | 36             | 30             | 271                 | 300            | 4,74  | 15,6           | 22             | 1600       |
| 29/5/2019 | 8:30:00 | 2240            | 588,0      | 70             | 40             | 263                 | 312            | 5,54  | 17,4           | 19             | 1632       |
| 30/5/2019 | 8:25:00 | 1728            | 322,0      | 30             | 24             | 276                 | 395            | 5,96  | 16,4           | 17             | 1504       |
| 31/5/2019 | 8:10:00 | 2208            | 382,0      | 31             | 20             | 275                 | 364            | 6,33  | 21,3           | 23             | 1824       |
| PROMEDIO  |         | 2252,25         | 424,7      | 38,1           | 23,75          | 270,05              | 368,95         | 5,073 | 18,735         | 21,15          | 1647,2     |

**ANEXO D:** Características de LM en la balsa de desnitrificación

| <b>BALSA DE DESNITRIFICACIÓN</b> |                          |                                   |                |             |                               |
|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------|-------------------------------|
| <b>P2-NO3<br/>(mg/L)</b>         | <b>P2-NO2<br/>(mg/L)</b> | <b>N<br/>Amoniacal<br/>(mg/L)</b> | <b>N-total</b> | <b>PH</b>   | <b>Alcalinidad<br/>(mg/L)</b> |
| 5,4                              | 4                        | <b>210</b>                        | <b>200</b>     | <b>7,32</b> | <b>540</b>                    |
| 6,5                              | 6                        | 230                               | 270            | 7,52        | 550                           |
| 4,5                              | 4                        | 220                               | 240            | 7,44        | 560                           |
| 3,8                              | 3                        | 210                               | 280            | 7,47        | 540                           |
| 2,5                              | 8                        | 220                               | 260            | 7,28        | 500                           |
| 3,8                              | 10                       | 230                               | 210            | 7,43        | 560                           |
| 3,9                              | 6                        | 210                               | 220            | 7,09        | 490                           |
| 7,2                              | 8                        | 220                               | 232            | 7,52        | 500                           |
| 8,4                              | 7                        | 240                               | 210            | 7,59        | 500                           |
| 5,2                              | 5                        | 220                               | 200            | 7,58        | 500                           |
| 6                                | 9                        | 220                               | 200            | 7,44        | 560                           |
| 4                                | 5                        | 240                               | 250            | 7,59        | 560                           |
| 5,7                              | 6                        | 230                               | 230            | 7,44        | 560                           |
| 4,3                              | 4                        | 210                               | 300            | 7,52        | 560                           |
| 7,8                              | 5                        | 240                               | 235            | 7,34        | 540                           |
| 9,3                              | 6                        | 250                               | 250            | 7,28        | 540                           |
| 11,2                             | 5                        | 240                               | 268            | 7,32        | 540                           |
| 4,5                              | 4,9                      | 210                               | 291            | 7,54        | 570                           |
| 5,6                              | 5,1                      | 220                               | 285            | 7,46        | 560                           |
| 7,2                              | 5,2                      | 230                               | 254            | 7,52        | 560                           |
| <b>5,84</b>                      | <b>5,81</b>              | <b>225</b>                        | <b>244,25</b>  | <b>7,43</b> | <b>539,50</b>                 |

**ANEXO E: Características del LM**

| <b>LICOR DE MEZCLA</b> |                    |                        |                        |                           |                |                           |
|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|----------------|---------------------------|
| <b>pH</b>              | <b>Temperatura</b> | <b>Nitratos (mg/L)</b> | <b>Nitritos (mg/L)</b> | <b>N Amoniacal (mg/L)</b> | <b>N-total</b> | <b>Alcalinidad (mg/L)</b> |
| 7,60                   | 18,4               | 32                     | 17                     | 200                       | 170            | 570                       |
| 7,60                   | 16,6               | 25,3                   | 18                     | 230                       | 240            | 580                       |
| 7,62                   | 16,2               | 4,3                    | 4                      | 220                       | 220            | 570                       |
| 7,65                   | 20,0               | 4,1                    | 4                      | 210                       | 210            | 560                       |
| 7,58                   | 19,5               | 13,3                   | 9                      | 220                       | 220            | 560                       |
| 7,58                   | 20,2               | 14,6                   | 12                     | 230                       | 210            | 540                       |
| 7,56                   | 20,0               | 4,5                    | 7                      | 240                       | 190            | P2                        |
| 7,60                   | 19,4               | 7,4                    | 10                     | 220                       | 210            | 560                       |
| 7,58                   | 20,4               | 9                      | 8,1                    | 240                       | 195            | 570                       |
| 7,56                   | 20,8               | 7,2                    | 5,4                    | 210                       | 210            | 560                       |
| 7,64                   | 19,8               | 6,1                    | 5                      | 220                       | 200            | 560                       |
| 7,47                   | 19,0               | 7                      | 6                      | 230                       | 230            | 550                       |
| 7,58                   | 19,8               | 6,4                    | 5                      | 230                       | 220            | 550                       |
| 7,56                   | 18,9               | 23,6                   | 15                     | 200                       | 280            | 550                       |
| 7,58                   | 19,1               | 6,4                    | 5                      | 240                       | 230            | 560                       |
| 7,58                   | 22,9               | 7,3                    | 7                      | 250                       | 234            | 560                       |
| 7,53                   | 18,9               | 9,8                    | 5                      | 230                       | 256            | 540                       |
| 7,56                   | 18,3               | 5,8                    | 5                      | 220                       | 279            | 560                       |
| 7,58                   | 19,4               | 6,2                    | 6                      | 230                       | 194            | 560                       |
| 7,58                   | 21,3               | 7,4                    | 6                      | 230                       | 268            | 540                       |
| 7,58                   | 19,45              | 10,39                  | 7,98                   | 225,00                    | 223,30         | 557,89                    |

**ANEXO F: Características del Efluente**

| EFLUENTE   |            |              |            |             |             |                   |            |               |
|------------|------------|--------------|------------|-------------|-------------|-------------------|------------|---------------|
| NO3 (mg/L) | NO2 (mg/L) | N-NH3 (mg/L) | N-total    | PH          | Temperatura | Alcalinidad, mg/L | DQO, mg/L  | Fósforo, mg/L |
| <b>1</b>   | <b>2</b>   | <b>210</b>   | <b>130</b> | <b>7,56</b> | <b>17,8</b> | <b>580</b>        | <b>128</b> | <b>0,0</b>    |
| 1,2        | 3          | 230          | 220        | 7,52        | 17,2        | 560               | 128        | 1,2           |
| 1,8        | 3          | 220          | 210        | 7,43        | 16,2        | 460               | 128        | 2,5           |
| 2          | 3,5        | 200          | 200        | 7,8         | 16,0        | 520               | 126        | 1,7           |
| 2,7        | 2          | 220          | 200        | 7,63        | 19,5        | 560               | 198        | 0,0           |
| 1,9        | 3          | 220          | 190        | 7           | 19,2        | 540               | 154        | 0,0           |
| 1          | 2          | 240          | 180        | 7,62        | 19,0        | 560               | 144        | 0,0           |
| 1,8        | 2          | 210          | 190        | 7,6         | 18,6        | 480               | 128        | 1,0           |
| 1,2        | 3          | 230          | 190        | 7,8         | 18,4        | 560               | 106        | 1,1           |
| 2,4        | 2          | 200          | 200        | 7,7         | 18,0        | 540               | 144        | 0,0           |
| 2          | 2          | 220          | 190        | 7,65        | 18,2        | 470               | 112        | 0,0           |
| 2          | 3          | 230          | 210        | 7,7         | 17,8        | 440               | 192        | 0,0           |
| 2,7        | 2          | 220          | 190        | 7,71        | 17,9        | 440               | 160        | 1,3           |
| 2,3        | 3          | 200          | 230        | 7,71        | 18,0        | 400               | 198        | 0,0           |
| 2,1        | 3          | 230          | 200        | 7,51        | 17,9        | 460               | 128        | 1,1           |
| 2,9        | 3          | 250          | 200        | 7,71        | 19,0        | 440               | 208        | 0,0           |
| 3,1        | 3          | 230          | 210        | 7,58        | 18,0        | 460               | 160        | 0,0           |
| 2,7        | 3          | 220          | 215        | 7,65        | 17,4        | 460               | 176        | 2,2           |
| 2,7        | 3          | 220          | 186        | 7,78        | 18,3        | 480               | 134        | 2,0           |
| 3,7        | 3          | 230          | 200        | 7,73        | 19,6        | 480               | 182        | 0,5           |
| 2,16       | 2,68       | 221,50       | 197,05     | 7,62        | 18,10       | 494,50            | 151,70     | 0,73          |

**ANEXO G: Características de variables operacionales**

| FECHA     | CAUDAL<br>(m3/d) | NIVEL | TDH   | OD ANTES<br>(mg/L) | Relación<br>F/M (kg/kg<br>DS.d) | SV <sub>30</sub> (ml/L) | MLSSV<br>(g/L) | IVL (ml/g) | TRC (d) |
|-----------|------------------|-------|-------|--------------------|---------------------------------|-------------------------|----------------|------------|---------|
| 6/5/2019  | 2371,0           | 73,0  | 1,812 | 1,9                | 0,13                            | 280,0                   | 4,6            | 60,9       | 6,83    |
| 7/5/2019  | 2290,0           | 73,0  | 1,876 | 1,6                | --                              | 300,0                   | --             | --         | --      |
| 8/5/2019  | 2287,0           | 71,0  | 1,827 | 1,8                | 0,14                            | 290,0                   | 4,6            | 63,0       | 6,71    |
| 9/5/2019  | 2486,0           | 73,0  | 1,728 | 2,1                | --                              | 250,0                   | --             | --         | --      |
| 10/5/2019 | 2.411,0          | 74,0  | 1,806 | 1,7                | 0,19                            | 250,0                   | 5,4            | 46,7       | 7,40    |
| 13/5/2019 | 2.387,0          | 82,0  | 2,022 | 1,8                | 0,19                            | 250,0                   | 4,9            | 51,5       | 7,03    |
| 14/5/2019 | 2.702,0          | 79,0  | 1,721 | 1,4                | --                              | 230,0                   | --             | --         | --      |
| 15/5/2019 | 2.610,0          | 79,0  | 1,781 | 2,0                | 0,24                            | 210,0                   | 3,7            | 68,9       | 4,84    |
| 16/5/2019 | 2.288,0          | 72,0  | 1,852 | 1,6                | --                              | 270,0                   | --             | --         | --      |
| 17/5/2019 | 2.597,0          | 77,0  | 1,745 | 1,9                | 0,35                            | 200,0                   | 3,7            | 65,6       | 4,72    |
| 20/5/2019 | 2.752,0          | 77,0  | 1,647 | 1,9                | 0,27                            | 210,0                   | 4,6            | 45,7       | 6,11    |
| 21/5/2019 | 2.670,0          | 75,0  | 1,653 | 1,6                | --                              | 230,0                   | --             | --         | --      |
| 22/5/2019 | 2.669,0          | 75,0  | 1,654 | 1,7                | 0,17                            | 230,0                   | 4,4            | 52,3       | 5,23    |
| 23/5/2019 | 2.380,0          | 75,0  | 1,855 | 2,0                | --                              | 230,0                   | --             | --         | --      |
| 24/5/2019 | 2.197,0          | 75,0  | 2,009 | 1,5                | 0,16                            | 230,0                   | 4,6            | 50,0       | 8,43    |
| 27/5/2019 | 2.955,0          | 80,0  | 1,593 | 1,3                | 0,44                            | 210,0                   | 3,9            | 53,8       | 6,88    |
| 28/5/2019 | 3.061,0          | 80,0  | 1,538 | 1,5                | --                              | 200,0                   | --             | --         | --      |
| 29/5/2019 | 3.137,0          | 76,0  | 1,426 | 1,8                | 0,23                            | 200,0                   | 4,9            | 40,8       | 5,10    |
| 30/5/2019 | 2.516,0          | 75,0  | 1,754 | 1,8                | --                              | 230,0                   | --             | --         | --      |
| 31/5/2019 | 2.612,0          | 73,0  | 1,645 | 1,5                | 0,23                            | 230,0                   | 4,9            | 46,9       | 5,35    |

**ANEXO H: OD antes y después de la modificación**

| <b>ANTES<br/>OD<br/>(mg/L)</b> | <b>DESPUÉS<br/>OD (mg/L)</b> |
|--------------------------------|------------------------------|
| 1,9                            | 4,8                          |
| 1,6                            | 4,6                          |
| 1,8                            | 4,5                          |
| 2,1                            | 4,7                          |
| 1,7                            | 4,8                          |
| 1,8                            | 4,8                          |
| 1,4                            | 4,6                          |
| 2,0                            | 4,6                          |
| 1,6                            | 4,8                          |
| 1,9                            | 4,6                          |
| 1,9                            | 4,7                          |
| 1,6                            | 4,8                          |
| 1,7                            | 4,7                          |
| 2,0                            |                              |
| 1,5                            |                              |
| 1,3                            |                              |
| 1,5                            |                              |
| 1,8                            |                              |
| 1,8                            |                              |
| 1,5                            |                              |

**ANEXO I:** Características del efluente después de aumentar la concentración de OD

| <b>EFLUENTE</b>           |                           |                             |                       |             |                    |
|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------|--------------------|
| <b>DESPUÉS NO3 (mg/L)</b> | <b>DESPUÉS NO2 (mg/L)</b> | <b>DESPUÉS-N-NH3 (mg/L)</b> | <b>N-total (mg/L)</b> | <b>pH</b>   | <b>Temperatura</b> |
| 4,5                       | 2                         | 220                         | 170                   | 8,07        | 13                 |
| 4,3                       | 6                         | 210                         | 170                   | 7,92        | 14,2               |
| 4,4                       | 5                         | 220                         | 180                   | 7,94        | 14,2               |
| 4,5                       | 6,2                       | 210                         | 180                   | 7,96        | 14,6               |
| 5,8                       | 4,6                       | 200                         | 170                   | 7,95        | 16,4               |
| 6                         | 5,5                       | 190                         | 170                   | 7,89        | 18,1               |
| 6,3                       | 5,4                       | 180                         | 180                   | 7,95        | 17,4               |
| 4,1                       | 5,3                       | 180                         | 170                   | 7,93        | 16,8               |
| 4,2                       | 5,2                       | 170                         | 180                   | 7,95        | 16,8               |
| 5,1                       | 5,1                       | 160                         | 180                   | 7,9         | 16,4               |
| 6,2                       | 5,9                       | 160                         | 170                   | 8,01        | 16,3               |
| 4,2                       | 5,4                       | 160                         | 180                   | 7,98        | 17,2               |
| 5,2                       | 5,2                       | 160                         | 170                   | 7,96        | 16,4               |
| 5,4                       | 6,3                       | 160                         | 170                   | 8,02        | 17,5               |
| <b>5,01</b>               | <b>5,22</b>               | <b>184,29</b>               | <b>174,29</b>         | <b>7,96</b> | <b>16,09</b>       |

**ANEXO J:** Características de la balsa de aireación después de la modificación

| <b>DESPUÉS LM pH</b> | <b>Temperatura</b> | <b>Nitratos (mg/L)</b> | <b>Nitritos (mg/L)</b> | <b>N Amoniacal (mg/L)</b> |
|----------------------|--------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|
| 7,95                 | 14,3               | 4,8                    | 5                      | 220                       |
| 7,8                  | 14,4               | 5,8                    | 5                      | 220                       |
| 7,86                 | 14,9               | 4,6                    | 5                      | 220                       |
| 7,79                 | 15,3               | 5,2                    | 6,1                    | 215                       |
| 7,7                  | 17                 | 6,3                    | 6                      | 200                       |
| 7,86                 | 18,1               | 6,5                    | 5,8                    | 190                       |
| 7,92                 | 17,6               | 7,1                    | 7                      | 180                       |
| 7,97                 | 16,5               | 8,4                    | 8                      | 180                       |
| 7,95                 | 16,8               | 8,6                    | 8,4                    | 175                       |
| 7,9                  | 16,4               | 10,4                   | 8,9                    | 170                       |
| 8,01                 | 16,3               | 12,2                   | 9,4                    | 170                       |
| 7,98                 | 17,2               | 14,3                   | 8,9                    | 160                       |
| 7,96                 | 16,4               | 15,3                   | 10,6                   | 165                       |
| 8,02                 | 17,5               | 16,4                   | 12,3                   | 160                       |
| <b>7,91</b>          | <b>16,34</b>       | <b>8,99</b>            | <b>7,60</b>            | <b>187,50</b>             |