

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

Diseño de tratamiento primario para agua residual de  
producción de látex concentrado

Proyecto de Investigación

Tomás Sebastián Peñaherrera Guevara

Ingeniería Química

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de  
Ingeniero Químico

Quito, 19 de mayo de 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Diseño de tratamiento primario para agua residual de producción de látex  
concentrado

Tomás Sebastián Peñaherrera Guevara

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico: Daniela Almeida, Ph.D.

Firma del profesor

---

Quito, 19 de mayo de 2017

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Tomás Sebastián Peñaherrera Guevara

Código: 00110855

Cédula de Identidad: 0502601594

Lugar y fecha: Quito, mayo de 2017

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios, por permitirme cumplir una meta más de vida y poder disfrutarla con mis seres queridos. Gracias a mis padres Tomás y Mónica, a mi hermana Betsy y a Celeste; por brindarme su amor incondicional, darme fuerzas y apoyarme a pesar de la distancia.

A mi directora, Dani, por la paciencia, ayuda y esfuerzo empleado para que este proyecto sea una realidad.

A Daniel por el apoyo incansable durante todo el proceso.

Agradezco a Diego y a toda la empresa de Adrilatex por toda la apertura y facilidades brindadas para sacar adelante este trabajo.

Finalmente a mis compañeros y profesores que siempre estuvieron ahí para ayudarme y tenderme una mano.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a Dios y mi familia. En especial a mis padres y a mi hermana. Gracias por todo, lo logramos.

## RESUMEN

Este estudio se enfoca en el tratamiento primario del agua residual de la producción de látex concentrado en Ecuador. En primer lugar se procede a caracterizar las muestras de agua, provenientes de campo y laboratorio, tomadas en catorce distintas fechas en la planta de Adrilatex. Se comparan los valores de los parámetros más influyentes y se determina que el tratamiento usado actualmente no es suficiente para cumplir con la norma ambiental de descarga a efluentes o irrigación de agua residual.

Se establece que se debe realizar un tratamiento primario en el agua residual con el objetivo mejorar su calidad y separar el látex remanente en la misma. Para la separación del látex disuelto se investiga la solubilidad del látex en función del pH, para lo cual se acidifican muestras de agua residual de laboratorio con tres diferentes ácidos: sulfúrico, clorhídrico y acético. Asimismo se investigan tres diferentes procesos de separación: filtración, centrifugación y sedimentación; con la finalidad de establecer el método de separación más apropiado. Se establece que el mejor proceso de separación se alcanza con ácido sulfúrico y posterior extracción por sedimentación. Finalmente, se varía el tiempo de retención para optimizar el proceso. Los nuevos valores de parámetros ambientales confirman que existe una disminución de hasta el 95% y se acercan más a las normas ecuatorianas. Finalmente se procede al diseño básico del tratamiento primario de agua residual de látex concentrado para una producción mensual de 17 000 L.

Palabras clave: látex concentrado, caracterización, tratamiento de aguas residuales, tratamiento primario, acidificación, diseño de planta de tratamiento.

## ABSTRACT

This study is focused on the primary treatment of concentrated latex processing wastewater in Ecuador. First, water characterization takes place with fourteen different samples originated on field and laboratory in Adrilatex processing plant. The most influent parameters were compared with the Ecuadorian Environmental Regulation and it was found that the actual treatment is not enough for water to get to irrigation or disposal levels.

It is decided that a new treatment will take place. The first experiment consists in an exploratory trial in which water is acidified using sulfuric acid. Then, samples are separated using three different methods: filtration, centrifugation and sedimentation; in order to establish which one is the most appropriate for latex processing wastewater. Another trial is made; this time, it uses three acids to lower the samples pH: sulfuric, hydrochloric and acetic. Sedimentation is proved to be the best separation method; so new tests change retention time in order to achieve maximum water removal. A new characterization shows that environmental parameters are decreasing with the treatment and that wastewater can reach several regulation values. At last, the results justify the modeling of a wastewater treatment plant specifically designed for Adrilatex production flow.

Key words: concentrated latex, characterization, wastewater treatment, primary treatment, wastewater treatment plant design.

## Tabla de contenido

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>4</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>5</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>11</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1. Antecedentes</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2. Justificación</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3. Objetivos</b> .....	<b>19</b>
1.3.1. Objetivo General .....	19
1.3.2. Objetivos Específicos .....	19
<b>2. FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1. Historia del látex</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2. Obtención de látex concentrado</b> .....	<b>21</b>
<b>2.3. Tratamiento de aguas</b> .....	<b>23</b>
<b>3. MÉTODOS EXPERIMENTALES</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1. Toma de muestras del agua residual</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2. Métodos de Caracterización</b> .....	<b>28</b>
3.2.1. Análisis de pH.....	28
3.2.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	29
3.2.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) .....	29
3.2.4. Nitrógeno Total [Kjeldahl].....	30
3.2.5. Sólidos Totales.....	30
<b>3.3. Ensayos para el tratamiento del agua residual</b> .....	<b>30</b>
3.3.1. Métodos de separación .....	31
3.3.2. Acidificación .....	32
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> .....	<b>34</b>
<b>4.1. Caracterización</b> .....	<b>34</b>
<b>4.2. Tratamiento primario del agua residual de látex concentrado</b> .....	<b>40</b>
4.2.1. Investigación de los métodos de separación .....	41
4.2.2. Investigación de la acidificación .....	42
4.2.3. Comparación de los resultados .....	47
<b>4.3. Diseño del tratamiento primario</b> .....	<b>49</b>
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>56</b>
<b>6. REFERENCIAS</b> .....	<b>59</b>
<b>ANEXO 1</b> .....	<b>63</b>
<b>ANEXO 2</b> .....	<b>64</b>
<b>ANEXO 3</b> .....	<b>66</b>
<b>ANEXO 4</b> .....	<b>67</b>
<b>ANEXO 5</b> .....	<b>68</b>
<b>ANEXO 6</b> .....	<b>69</b>

<b>ANEXO 7</b> .....	<b>71</b>
<b>ANEXO 8</b> .....	<b>75</b>
<b>ANEXO 9</b> .....	<b>79</b>
<b>ANEXO 10</b> .....	<b>83</b>
<b>ANEXO 11</b> .....	<b>85</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Componentes principales del látex de campo.....	22
Tabla 2: Especificaciones de la Norma Ambientales ecuatoriana para usos de agua residual	25
Tabla 3: Valores teóricos de parámetros ambientales para agua residual de látex concentrado .....	25
Tabla 4: Fechas de obtención de muestras.....	27
Tabla 5: Experimentos de acidificación a distintos niveles de pH y tiempo de sedimentación para determinar el mejor porcentaje de remoción.....	33
Tabla 6: Resultados de la caracterización de muestras.....	39
Tabla 7: Caracterización de tratamientos con ácido sulfúrico .....	47
Tabla 8: Especificaciones de equipos usados en la planta de tratamiento de agua residual de látex concentrado .....	51
Tabla 9: Precio de equipos, construcción e instalación de planta.....	53
Tabla 10: Costos operacionales de la planta de tratamiento primario .....	54
Tabla 11: Ganancia adicional por venta de látex secundario.....	54
Tabla 12: Recolección de datos de pH para muestras de agua residual.....	63
Tabla 13: Absorbancia y DQO para caracterización inicial .....	64
Tabla 14: DBO para caracterización inicial.....	66
Tabla 15: Nitrógeno Total [K] para caracterización inicial .....	67
Tabla 16: Sólidos Totales para caracterización inicial.....	68
Tabla 17: Resultados de filtrado en estudio preliminar .....	69
Tabla 18: Estudio preliminar de separación por centrifugación .....	70
Tabla 19: Resultados estudio preliminar para sedimentación.....	70
Tabla 20: Porcentaje de remoción con ácido sulfúrico durante 1 h.....	71
Tabla 21: Remoción con sedimentación a 5 h .....	71
Tabla 22: Porcentaje de remoción de ácido sulfúrico a 12 h .....	72
Tabla 23: Porcentaje de remoción de ácido sulfúrico a 24 h .....	72
Tabla 24: Porcentaje de remoción de ácido sulfúrico a 36 h .....	73
Tabla 25: Porcentaje de remoción de ácido sulfúrico a 48 h .....	73
Tabla 26: Porcentaje de remoción de ácido sulfúrico a 60 h .....	74
Tabla 27: Porcentaje de remoción con ácido clorhídrico durante 1 h.....	75
Tabla 28: Remoción con sedimentación a 5 h .....	75
Tabla 29: Porcentaje de remoción de ácido clorhídrico a 12 h.....	76
Tabla 30: Porcentaje de remoción de ácido clorhídrico a 24 h.....	76
Tabla 31: Porcentaje de remoción de ácido clorhídrico a 36 h.....	77
Tabla 32: Porcentaje de remoción de ácido clorhídrico a 48 h.....	77
Tabla 33: Porcentaje de remoción de ácido clorhídrico a 60 h.....	78
Tabla 34: Porcentaje de remoción con ácido acético durante 1 h.....	79
Tabla 35: Remoción con sedimentación a 5 h .....	79
Tabla 36: Porcentaje de remoción de ácido acético a 12 h.....	80
Tabla 37: Porcentaje de remoción de ácido acético a 24 h.....	80
Tabla 38: Porcentaje de remoción de ácido acético a 36 h.....	81
Tabla 39: Porcentaje de remoción de ácido acético a 48 h.....	81
Tabla 40: Porcentaje de remoción de ácido acético a 60 h.....	82
Tabla 41: Resultados de caracterización con ácido sulfúrico a 48 h de sedimentación.....	83
Tabla 42: Resultados de caracterización de sedimentación con ácido sulfúrico a 60 h.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización geográfica de Adrilatex.....	14
Figura 2: Terreno designado para nuevas plantas de caucho.....	15
Figura 3: Nuevos brotes de caucho en crecimiento.....	15
Figura 4: Fuente de agua de riego para nuevos brotes.....	16
Figura 5: Proceso actual usado en Adrilatex.....	17
Figura 6: Tratamiento de pozos en Adrilatex.....	18
Figura 7: Espacio designado para la planta de tratamiento de agua residual.....	18
Figura 8: Recolección de látex de campo.....	22
Figura 9: Diagrama de bloque de tratamiento tentativo.....	31
Figura 10: Sólidos Totales y pH en agua residual de látex concentrado.....	34
Figura 11: DQO y DBO de agua residual.....	36
Figura 12: Nitrógeno Total de agua residual.....	38
Figura 13: Porcentaje de remoción de agua con distintos métodos de extracción.....	41
Figura 14: Porcentaje removido con respecto al tiempo para ácido sulfúrico.....	43
Figura 15: Porcentaje removido con ácido clorhídrico.....	44
Figura 16: Porcentaje removido por ácido acético.....	45
Figura 17: Tratamiento primario de agua residual.....	49
Figura 18: P&ID de planta de tratamiento de agua residual.....	51
Figura 19: Distribución espacial de tanques en Adrilatex.....	52
Figura 20: Distribución horizontal de equipos.....	53
Figura 21: Curva de Calibración DQO.....	65
Figura 22: Catálogo de bomba centrífuga.....	85
Figura 23: Características de agitador para tanques.....	86
Figura 24: Ficha técnica de tanques para planta de tratamiento.....	87
Figura 25: Cotización de equipos para planta de tratamiento de agua residual.....	88

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Antecedentes

La producción mundial de caucho proveniente de látex se concentra en tres países principales con una participación de 30%, 29% y 9% en Tailandia, Indonesia y Malasia, respectivamente (Barlow, 2011). Las naciones asiáticas cubren una oferta mucho mayor a la del continente americano, el cual aporta con solo el 3%. La industria de fabricación de neumáticos es la que más aprovecha este recurso ya que, aproximadamente, la mitad de su materia prima proviene de la producción mundial de látex natural (Choudhry, 1997).

Ecuador es un país con un aporte mínimo en este aspecto económico. La industria de látex tiene un gran potencial de mejora debido a que la demanda nacional no está siendo cubierta con la producción (aproximadamente 50%); por lo que el país se ve obligado a importar materia prima del exterior. Es necesario impulsar el crecimiento de la producción, ya que el cultivo de la planta de caucho representa un atractivo económico importante para los agricultores ecuatorianos, quienes se verían directamente beneficiados con un incremento a nivel nacional (Zamora, 2012). Otra razón que da cierto atractivo al cultivo de esta planta y la recolección del caucho proveniente de ella es que, el látex puede ser considerado como un hidrocarburo renovable. Por lo tanto, su obtención depende directamente de la capacidad de producción vegetal. Esto significa que se puede proveer una oferta continua de producto durante un largo período de tiempo.

El caucho, proveniente del látex, puede ser usado a manera de materia prima en varias industrias debido a su gran versatilidad y maleabilidad para poder formar productos de uso diario (W. Jawjit, 2015). Sin embargo, el proceso de extracción y preparación conlleva una

gran cantidad de desechos industriales que pueden ser dañinos para el ser humano y el medio ambiente (S. Jawjit, 2010). Es por ello que deben ser tratados apropiadamente antes de ser eliminados por el alcantarillado público, irrigación o en fuentes de agua dulce.

El tratamiento correcto de aguas residuales se debe dar en cuatro pasos importantes: tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario (Karia, 2006). La etapa preliminar consiste en una serie de tamices. Su finalidad es remover objetos de gran tamaño suspendidos en el agua, ya que estos pueden causar daños o averías en los equipos de tratamiento posteriores (D. G. Rao, 2012).

A continuación se realiza el tratamiento primario, el cual consiste en la sedimentación de sólidos más pequeños; usualmente con procesos de clarificación. En este paso se pueden usar distintos tipos de tecnología para poder clarificar el agua de la mejor forma, sea añadiendo ácidos o bases con la finalidad de favorecer la precipitación de ciertos compuestos (Qasim, 1999).

El tratamiento secundario consiste en la eliminación y remoción de coloides y materia orgánica disuelta presente en el agua residual. Normalmente se utilizan procesos biológicos para remover estos contaminantes; específicamente tanques de aireación, procesos de remoción de lodos activados e incluso tanques de clarificación y sedimentación adicionales a los agregados en el proceso anterior (Hammer, 1996).

Finalmente, el tratamiento terciario es aquel que se utiliza cuando los procesos previos no han sido suficientes para cumplir con las especificaciones deseadas; normalmente estándares de potabilización o descarga de agua. También se lo usa cuando existen concentraciones altas

de nitrógeno y fósforo que no cumplen con normas previamente establecidas. Para poder lograrlo se aplican técnicas de ultrafiltración, intercambio iónico o separación por membranas, como la ósmosis reversa (Kolarik, 1996).

## 1.2. Justificación

Adrilatex es una empresa ecuatoriana establecida en Quinindé, en la provincia de Esmeraldas, específicamente localizada en la Figura 1. Se dedica a la cosecha, coagulación, cremado y distribución de látex. Su negocio está respaldado por la sustentabilidad del proceso, además de la ventaja competitiva que conlleva el producir un hidrocarburo renovable de calidad.



Figura 1: Localización geográfica de Adrilatex

Esta empresa produce aproximadamente 12 000 L de látex concentrado al mes, lo que implica la remoción de 17 000 L de agua residual mensual que debe ser tratada antes de ser desechada.

Los planes de crecimiento de Adrilatex para los próximos 7 años son duplicar la producción de látex concentrado con la adición de nuevos brotes de planta de caucho. El espacio adecuado para colocarlos está siendo utilizado en cultivos frutales; pero serán habilitados cuando se inicie el proceso de siembra (Figura 2). Actualmente, las plantas de caucho se encuentran en período de crecimiento y germinación hasta llegar a su tamaño idóneo para poder ser trasplantadas al terreno designado (Figura 3).



**Figura 2: Terreno designado para nuevas plantas de caucho**



**Figura 3: Nuevos brotes de caucho en crecimiento**

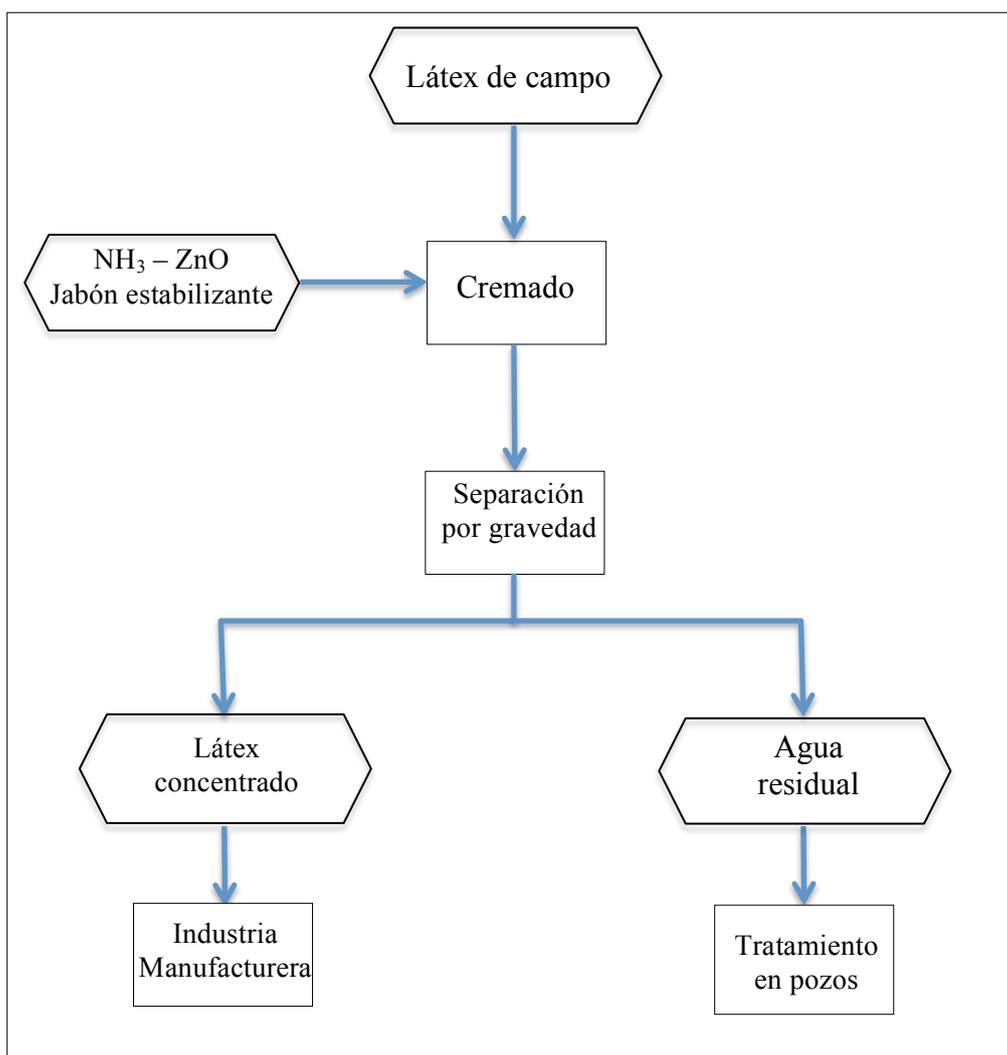
La fuente de agua que se usa para regar estos nuevos cultivos se encuentra aledaña a la planta de recolección y separación de látex. Esto implica que es imperativo desarrollar un tratamiento residual adecuado con la finalidad de evitar posible contaminación que pueda comprometer el correcto crecimiento del caucho (Figura 4). Este trabajo de investigación se enfoca en cuidar el embalse de agua dulce cercana y en general el ecosistema dependiente de las actividades de Adrilatex. Se pretende lograr esta meta mediante el diseño básico del tratamiento primario del agua de desecho de la producción de látex concentrado, ya que un tratamiento inapropiado puede ser el causante de grandes desastres ecológicos, debido a varios contaminantes presentes en el látex y los aditivos usados en el proceso de concentración del mismo (Henze, 2008). Se debe tomar en cuenta que la cantidad de agua necesaria para poder operar una planta de separación de látex es muy alta. En el caso de que exista un incremento en la producción, aumentará el flujo y se convertirá en un problema más difícil de manejar. Los efluentes de la planta incluyen agua de lavado, pequeñas cantidades de látex sin separar y una resina con alta concentración de macronutrientes (Mohammadi, 2013).



**Figura 4: Fuente de agua de riego para nuevos brotes**

El proceso con el que Adrilatex realiza la concentración de látex de campo se basa en la adición de amoníaco, óxido de zinc y jabón estabilizante; y su separación se realiza por cremado. Se adiciona  $\text{NH}_3$  debido a que es un excelente compuesto bactericida. En el caso del

ZnO, se agrega ya que funciona como un agente blanqueador para que el látex mantenga su color natural; además es usado frecuentemente como activador de la vulcanización del caucho (Kadlcak, 2009). Finalmente el jabón se usa como agente que controla la estabilidad de la espuma en la solución de látex. En la Figura 5 se presenta un esquema del proceso actual de concentración de látex en Adrilatex.



**Figura 5: Proceso actual usado en Adrilatex**

La planta de recolección de látex posee actualmente un sistema de tratamiento artesanal basada en pozos (Figura 6). Este proceso, a pesar de ser utilizado ampliamente a nivel internacional, es altamente contaminante con el suelo y puede llegar a afectar aguas

subterráneas (Mohammadi et al., 2013). Además, se puede evidenciar pérdida de producto en el suelo, ya que la coagulación y la recolección del látex en el proceso no son 100% efectivas (Madhu, n.d.).



**Figura 6: Tratamiento de pozos en Adrilatex**

La empresa ha designado un espacio determinado para el desarrollo de la planta de tratamiento de agua residual de látex concentrado. Se trata de un terreno de 200 m<sup>2</sup>, en el cual se planea construir toda la infraestructura necesaria para realizar un tratamiento de agua residual de calidad, el cual se presenta en la Figura 7.



**Figura 7: Espacio designado para la planta de tratamiento de agua residual**

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

- Diseñar el tratamiento primario de agua residual de la producción de látex concentrado en Adrilatex.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar el agua residual proveniente de campo y laboratorio.
- Determinar experimentalmente el tratamiento primario ideal para el agua de desecho del proceso de obtención de látex concentrado.
- Evaluar la efectividad del tratamiento primario con relación a los estándares ambientales.
- Diseñar el proceso de tratamiento primario de agua residual de látex concentrado.

## 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1. Historia del látex

El látex obtenido por medio del tallado del tronco del árbol *Hevea brasiliensis* es un precursor del caucho natural y era el único medio para obtenerlo hasta que se empezó a desarrollar la industria del caucho sintético. El descubrimiento de esta técnica de “sangrado” se radica en América del Sur; pero las aplicaciones que se lo daba no migraron hasta después de la llegada de los europeos a territorio americano. Las propiedades de elasticidad y de repeler agua fueron las que más intrigaron a científicos alrededor del mundo (De, 2001).

A inicios del siglo XIX, este material fue sometido a varias pruebas en las que se demostró que podía cambiar sus propiedades en función de la temperatura a la que se encontraba. Su comportamiento es el de un termoplástico, que en invierno se vuelve más fuerte y en verano luce débil y pegajoso. En 1839 se descubre que el caucho natural puede ser calentado con azufre y así puede tornarse más fuerte y elástico. Sin embargo, la propiedad que más se ve afectada es la de su capacidad de cambio a distintas temperaturas. El proceso es conocido como vulcanización. Al pasar el tiempo, este método se mejora con maquinaria que pueda cortar y malear el caucho para elaborar distintas formas con varias aplicaciones (Barlow et al., 2011).

La invención del automóvil da un gran empuje al desarrollo de la industria del látex. Varias poblaciones en la selva amazónica empezaron a ganar protagonismo como grandes centros de comercio debido a las plantaciones de caucho. Esto mejora sustancialmente los procesos de extracción en otras localidades alrededor del mundo, especialmente en el sur de

Asia; donde actualmente se radica la mayor producción de látex en el mundo (Blackley, 1997).

A lo largo de los años, la importancia del látex en la vida moderna ha ido aumentando a un ritmo constante. Los componentes formados con este material se usan ampliamente en autos o en maquinaria pesada. Sin la presencia de la industria del caucho, no se podría contar con productos de consumo masivo como suelas de zapatos, correas, mangueras, cables, alambres, material deportivo y ropa a prueba de agua; al menos de la forma en la que la conocemos actualmente (George, 2000).

A pesar de ser una industria de aproximadamente 200 años, todavía se mantiene en constante investigación y desarrollo. Se modifican productos ya existentes y se adoptan nuevos aditivos para formar variaciones de caucho más duraderas que permitan ser reutilizadas o recicladas al final de su vida útil (Kadlcak et al., 2009).

## **2.2. Obtención de látex concentrado**

El látex concentrado se obtiene a partir de la recolección del látex de campo y su respectivo tratamiento de separación. El hidrocarburo es una solución que proviene de la recolección vegetal de las plantaciones de caucho (Figura 8). La composición de esta solución depende de varios factores como edad del árbol, sistema de recolección, condiciones climáticas, tiempo de recolección y la estabilidad del látex. La especie que representa la mayor fuente comercial de látex es la *Hevea brasiliensis*, un árbol nativo de la región Amazónica (Morton, 1999).



**Figura 8: Recolección de látex de campo**

Los componentes más abundantes e importantes del látex de campo se presentan en la Tabla 1. El caucho forma parte del látex de campo y es el que comúnmente se desea separar debido a sus propiedades y aplicaciones (De et al., 2001).

**Tabla 1: Componentes principales del látex de campo**

<b>Componente</b>	<b>Composición [%]</b>
Caucho	30.0 – 40.0
Proteínas	1.0 – 1.5
Resinas	1.5 – 3.0
Minerales	0.7 – 0.9
Carbohidratos	0.8 – 1.0
Agua	55.0 – 60.0

Las altas concentraciones de material orgánico presentes en el látex de campo lo hacen un medio idóneo para distintos microorganismos. Es por ello que se deben añadir diferentes compuestos para evitar su descomposición. El amoníaco funciona como el mejor agente preservante y estabilizador; y es usado alrededor del mundo debido a su gran efectividad.

Además de ser un bactericida, aumenta sustancialmente la estabilidad coloidal del látex mediante hidrólisis de ácidos grasos en jabones de amonio. La concentración idónea de amoníaco se encuentra alrededor del 1.0%  $w/w$  en solución de coagulación (George et al., 2000).

Después de adicionar amoníaco, los métodos de concentración de látex pueden ser muy variados: evaporación, electrodecantación, centrifugación y cremado; siendo los dos últimos los más usados (De et al., 2001). En el momento en que se retira el látex coagulado, se recupera el látex concentrado y el remanente es agua de residuo con alta cantidad de materia orgánica, macronutrientes y, especialmente, amoníaco proveniente del proceso de coagulación.

El látex concentrado con una alta proporción de caucho se separa del agua por diferencia de densidades. Este producto es el que se comercializa a manera de materia prima para otros procesos como la fabricación de llantas, guantes, etc.

### **2.3. Tratamiento de aguas**

Normalmente el agua residual de la producción de látex concentrado es desechada. Sin embargo, estas descargas pueden llegar a incumplir algunas normas ambientales al momento de descartarla en fuentes de agua dulce o al sistema de alcantarillado. A continuación se presentan algunos de los procesos normalmente usados para tratar el agua residual de la concentración de látex, siendo los dos primeros los más comunes (Mohammadi et al., 2013):

- Pozos: en los cuales se coloca el agua residual hasta esperar que se separe el látex y la tierra realice el trabajo de limpieza del agua.

- Planta de tratamiento: en donde se aplican métodos primarios, secundarios y terciarios para mejorar la calidad ambiental del agua para finalmente desecharlo a manera de efluente.
- Sistemas de reducción de sulfatos: se usan bacterias especializadas (sulfatoreductoras) para eliminar este contaminante (Henze et al., 2008).
- Métodos electroquímicos: usando diferencias de potencial se favorece a la reacción de ciertos elementos en el agua residual con ácido hipocloroso para disminuir notablemente el DQO.
- Aplicación de ozono: se usa este compuesto para convertir el amoníaco en nitrato y así favorecer su extracción.

Para poder cumplir con las normas ambientales ecuatorianas se deben alcanzar ciertos valores para los parámetros regulados. De acuerdo a la legislación ecuatoriana vigente del Ministerio de Ambiente, existen dos alternativas principales para usar agua residual tratada: como medio de irrigación o como descarga a fuentes de agua dulce (Tabla 2). El objetivo primordial de la norma es proteger la calidad del agua para salvaguardar y preservar sus usos, la integridad de las personas, ecosistemas y el ambiente en general (Ministerio del Ambiente, 2014).

**Tabla 2: Especificaciones de la Norma Ambientales ecuatoriana para usos de agua residual**

<b>Parámetro</b>	<b>Irrigación</b>	<b>Descarga a Efluentes</b>	<b>Unidades</b>
pH	6-9	6-9	-
DQO	-	200	mg/L
DBO	100	100	mg/L
N-total [K]	30-100	50	mg/L
Sólidos totales	250	200	mg/L

De acuerdo a los datos bibliográficos, el agua residual de látex concentrado puede alcanzar valores superiores a la norma. Esto depende del tratamiento al que haya sido sometido previamente. Los rangos encontrados en estudios previos se pueden observar en la Tabla 3 (Mohammadi et al., 2013) (S. Jawjit et al., 2010) (Kumlanghan, 2008):

**Tabla 3: Valores teóricos de parámetros ambientales para agua residual de látex concentrado**

<b>Parámetros</b>	<b>Rango Promedio</b>	<b>Unidades</b>
pH	3.8-5.1	-
DQO	3700-10000	mg/L
DBO	2000-4900	mg/L
N-total [K]	500-1700	mg/L
Sólidos totales	230-760	mg/L

### **3. MÉTODOS EXPERIMENTALES**

#### **3.1. Toma de muestras del agua residual**

Se procede a tomar muestras del agua residual que fue recolectada en campo y se la compara con agua obtenida en laboratorio. Las muestras de agua residual de campo fueron recolectados a distintas fechas (Tabla 4) con el método tradicional utilizado en Adrilatex. En cambio la muestra de laboratorio fue cremada y separada en el Laboratorio de Desarrollo de Energías Alternativas (USFQ), empezando desde su recolección en campo. Se trabajó en esta muestra desde su obtención a manera de látex de campo para poder ser separada en un ambiente con condiciones controladas y métodos estandarizados. Se trabaja con estos dos tipos de muestras para tener unidades experimentales más uniformes al momento de realizar el tratamiento primario del agua residual.

Tabla 4: Fechas de obtención de muestras.

<b>Muestra</b>	<b>Fecha (2017)</b>	<b>Origen</b>
1	10 – enero	Campo
2	15 – enero	Campo
3	1 – febrero	Campo
4	2 – febrero	Campo
5	3 – febrero	Campo
6	7 – febrero	Campo
7	11 – febrero	Campo
8	13 – febrero	Campo
9	15 – febrero	Campo
10	18 – febrero	Campo
11	20 – febrero	Campo
12	24 – febrero	Laboratorio
13	25 – febrero	Campo
14	26 – febrero	Campo

El proceso de experimentación se efectuó usando un Diseño Completamente al Azar (DCA) con la finalidad de reducir el error experimental y poder homogenizarlo en las unidades usadas (Namakforoosh, 2005). Los análisis fueron aleatorizados para todos los experimentos (Marques, 2000). Todos los procedimientos realizados en este trabajo fueron efectuados por triplicado con la finalidad de mejorar su análisis y confiabilidad (Bulmer, 1965).

## **3.2. Métodos de Caracterización**

Las muestras de campo pueden presentar una gran variabilidad debido a distintos factores (George et al., 2000). Es por ello que se debe tomar una muestra significativa del proceso, en diferentes fechas, con la finalidad de conocer si los cambios son aleatorios o siguen a una tendencia en específico (Confederación Hidrográfica del Duero, 2007). Los parámetros más importantes que se deben tomar en cuenta para caracterizar el agua residual de látex concentrado son aquellos presentados en la Norma Ambiental ecuatoriana: pH, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitrógeno Total por el método de Kjeldahl y Sólidos Totales.

### **3.2.1. Análisis de pH**

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución acuosa a una temperatura específica. El rango en el que se mide este parámetro se encuentra en escala logarítmica entre 0-14, siendo los valores más bajos indicadores de acidez y los más altos de alcalinidad (Lawn, 2003). Un nivel de pH de 7 significa que una solución es neutra. Este análisis se realiza debido a que las normas ambientales lo especifican como importante y determinante en el uso como agua de riego o de descarga (Leo M.L. Nollet, 2013). Idealmente debe tener un valor cercano al punto neutro, ya que en este rango es posible que se desarrollen seres vivos provenientes del medio sin ningún problema.

Este parámetro tiene una importancia muy alta en el agua residual de la producción de látex porque se añade amoníaco en exceso, lo cual eleva considerablemente el valor del pH. En este procedimiento se usó un medidor de pH con electrodo de vidrio a una temperatura ambiente de 19°C (Clesceri, 1998).

### **3.2.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La Demanda Química de Oxígeno es la cantidad de oxidante que reacciona con la muestra bajo condiciones controladas. Esto quiere decir que provee una medida de cuánto oxígeno será consumido por una muestra en un determinado tiempo (Water Environment Federation, 2008).

Se debe realizar este análisis ya que es un buen indicador de la cantidad de materia orgánica disuelta en el agua y así conocer su calidad (Orhon, 1997). La medición de la Demanda Química de Oxígeno se llevó a cabo usando el procedimiento 5220 de “Chemical Oxygen Demand” del Manual de Métodos para Examinación de Agua y Agua Residual (Clesceri, 1998).

### **3.2.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

La Demanda Bioquímica de Oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno disuelto que se requiere para la oxidación bioquímica de compuestos orgánicos en un período de 5 días desde el momento en que son inoculados en la muestra de agua (Kumlanghan et al., 2008).

Es necesario realizar este procedimiento para conocer si existe una gran cantidad de microorganismos presentes en el agua residual de la producción de látex concentrado. La medición del  $DBO_5$  se realizó siguiendo el procedimiento 5210B de “5-Day BOD Test” (Clesceri, 1998).

#### **3.2.4. Nitrógeno Total [Kjeldahl]**

La determinación del nitrógeno (total) por el método de Kjeldahl logra establecer la cantidad de nitrógeno orgánico y amoniacal. Es necesario realizarlo ya que se adiciona una cantidad considerable de amoníaco en exceso en el tratamiento de látex concentrado. Este compuesto conforma el contaminante principal en estas muestras (Thongnuekhang, 2004). El procedimiento fue regido en base al método 4500B de “Kjeldhal Method” del Manual de Métodos para Examinación de Agua y Agua Residual (Clesceri, 1998).

#### **3.2.5. Sólidos Totales**

Los sólidos totales constituyen el material residual remanente en un recipiente después de darse la evaporación de la muestra y el secado respectivo en horno a una temperatura definida. Este procedimiento permite estimar el contenido de materia disuelta y suspendida en la solución. Es necesario realizar este análisis debido a la falta de eficiencia en el proceso de separación del agua y el látex concentrado (Spellman, 2013).

Se puede tener un porcentaje alto de sólidos presentes en la muestra que tienen el potencial de ser recuperados. El análisis se realizó siguiendo el método 2540B de “Total Solids Dried at 103-105°C” (Clesceri, 1998).

### **3.3. Ensayos para el tratamiento del agua residual**

El tratamiento primario de aguas residuales consiste en la remoción de sólidos presentes en el agua residual. Los procesos físico-químicos más comunes que se usan para la separación son: sedimentación, flotación, filtración, floculación y coagulación. La adición de ácidos a la muestra de agua residual de látex facilita la separación del hidrocarburo remanente

en solución, por lo que un proceso de acidificación es sumamente necesario. Dependiendo de la cantidad de ácido necesario para recolectar la mayor cantidad de látex posible, se necesitaría un proceso adicional de neutralización para tener un agua que cumpla con normas ambientales. Idealmente estos dos procedimientos serían suficientes para completar el tratamiento adecuado (Figura 9). En caso que se necesite mejorar ciertos parámetros, se debe proceder al tratamiento secundario e incluso terciario del agua residual de látex (Manahan, 2007).

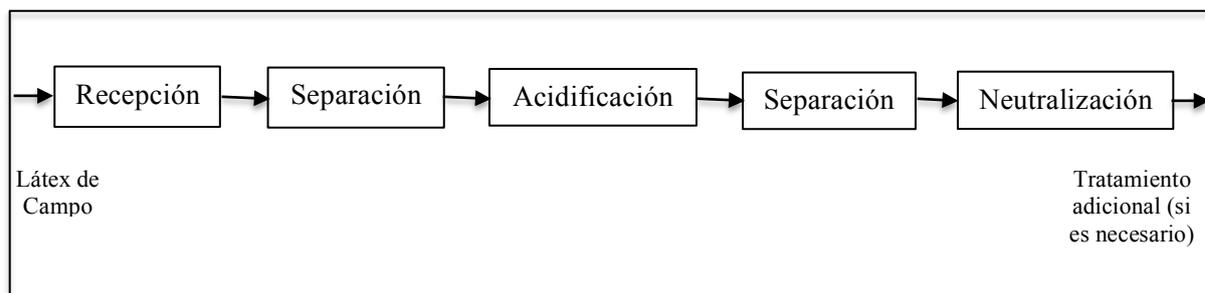


Figura 9: Diagrama de bloque de tratamiento tentativo.

### 3.3.1. Métodos de separación

La separación del látex residual en el agua se puede realizar por varios métodos en los cuales es necesario adicionar ácido. Es por ello que se usa  $H_2SO_4$  concentrado (98%) con el fin de determinar la mejor técnica de separación entre filtrado, centrifugación y sedimentación. Se usa este ácido debido a la información bibliográfica proveniente de tratamientos en Asia en la que se procede con este mismo compuesto (De et al., 2001). En este estudio se trabaja a cinco distintos niveles de pH entre 4 y 6 con la finalidad de establecer el mejor pH de remoción junto con el método de separación más apropiado. Todos los procedimientos se efectúan por triplicado para cada variable. Para lograr esto, se define el porcentaje de remoción de agua como la diferencia porcentual entre volúmenes de líquido antes y después de aplicar el tratamiento y el método de separación. Este valor puede ser considerado como el mejor indicador de la efectividad del tratamiento.

$$\% \text{remoción} = \frac{V_0 - V_f}{V_0} \times 100\%$$

La acidificación se realiza por titulación en muestras de 100 mL de agua residual de laboratorio que se encuentran bajo constante agitación hasta que lleguen al pH deseado. La separación de estas muestras se ejecuta usando distintas técnicas descritas previamente. El proceso de filtrado se realiza usando una membrana de papel filtro (8-11  $\mu\text{m}$ ) con la que se puede recuperar el látex, con la ayuda del equipo Büchner, en un medio al vacío. La centrifugación se realiza a 60 rpm durante 30 minutos para separar el látex por medio de su diferencia de densidad con el agua (Mohammadi et al., 2013). Finalmente la sedimentación tiene una duración de 48 horas como tiempo base de separación realizado en un estudio preliminar (Morton, 1999).

El objetivo del estudio preliminar es determinar el mejor método de separación, junto a su nivel de pH óptimo. La variable indicadora para este proceso es el porcentaje de sólidos removidos. Este parámetro logra mostrar efectivamente la cantidad de látex que se separa en la solución después de aplicar cada procedimiento de extracción.

### **3.3.2. Acidificación**

Una vez definido el mejor proceso de separación, se investiga el paso de acidificación con tres ácidos distintos: sulfúrico, clorhídrico y acético. Las concentraciones de los reactivos utilizados son: 98%, 32% y 98%, respectivamente. Al igual que en el procedimiento anterior, se realizan experimentaciones por triplicado usando muestras de 100mL de agua residual de laboratorio. El objetivo de este método es determinar el nivel de pH, tiempo de sedimentación y tipo de ácido más eficiente en el tratamiento primario del agua.



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Caracterización

Para conocer las características del agua a ser tratada se analizaron catorce distintas muestras de campo y laboratorio, cada una por triplicado. Se tomaron muestras a diferentes fechas con la finalidad de establecer si existe alguna variación significativa de los parámetros con respecto al tiempo. Los resultados de los análisis de pH y sólidos totales se observan en la Figura 10.

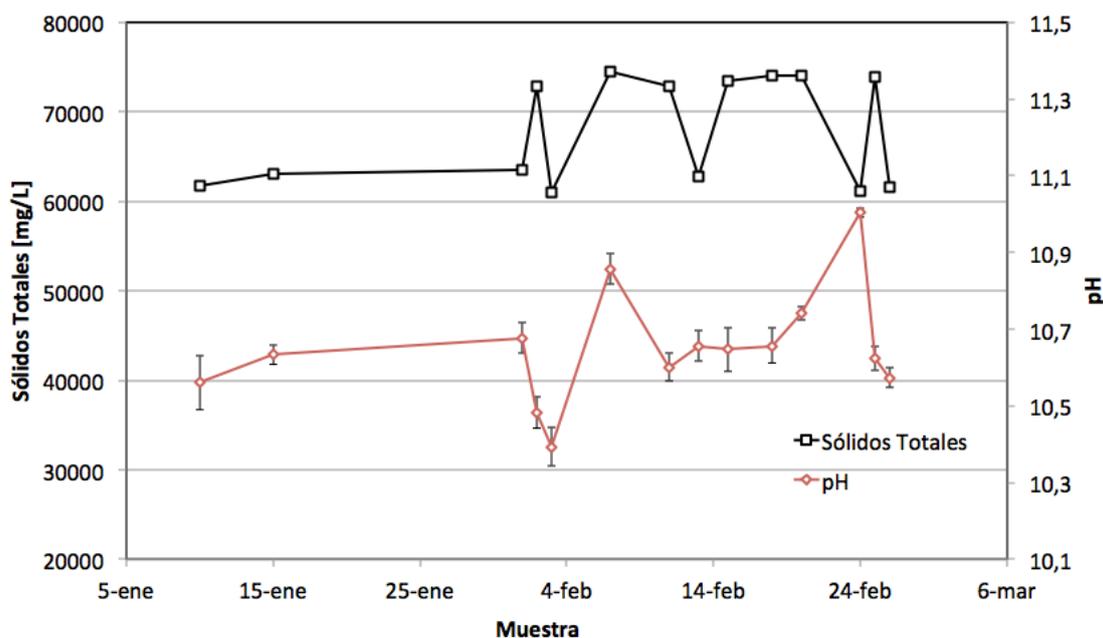


Figura 10: Sólidos Totales y pH en agua residual de látex concentrado

Los datos graficados evidencian que tanto el pH como la cantidad de sólidos totales en las muestras de agua residual tienen una dispersión sin una tendencia visible. Esto significa que tomar el valor promedio de las mediciones es un análisis válido para estimar la calidad del agua residual a lo largo del período de tiempo de muestreo. Los valores medios para pH y sólidos totales son  $(10.65 \pm 0.15)$  mg/L y  $(67890 \pm 5957)$  mg/L, respectivamente.

Si se comparan los valores de sólidos totales del agua residual analizada con los datos bibliográficos, se puede identificar que el método de separación usado en Adrilatex no es eficiente. Tiene una cantidad importante de látex que se está perdiendo en el agua residual. Esto se debe al proceso artesanal de separación, el cual no asegura una extracción eficiente del hidrocarburo. Se espera poder puede disminuir sustancialmente este parámetro usando métodos de acidificación, con los cuales se podrá extraer el látex remanente en el agua (Blackley, 1997).

Los valores de pH se encuentran sobre el rango encontrado en las pruebas en Asia. La causa fundamental para que se produzca esta diferencia radica en el exceso de amoníaco que se dosifica en el látex durante el cremado y que no existe un paso de acidificación o neutralización. En los países asiáticos se acidifica el agua residual para favorecer la coagulación de látex como una forma eficiente de separar su parte residual y así se obtiene un caucho de menor calidad; pero con un valor comercial rentable (S. Jawjit et al., 2010; Kumlanghan et al., 2008; Mohammadi et al., 2013).

Los resultados obtenidos de los análisis de DQO y DBO del agua residual se presentan en la Figura 11.

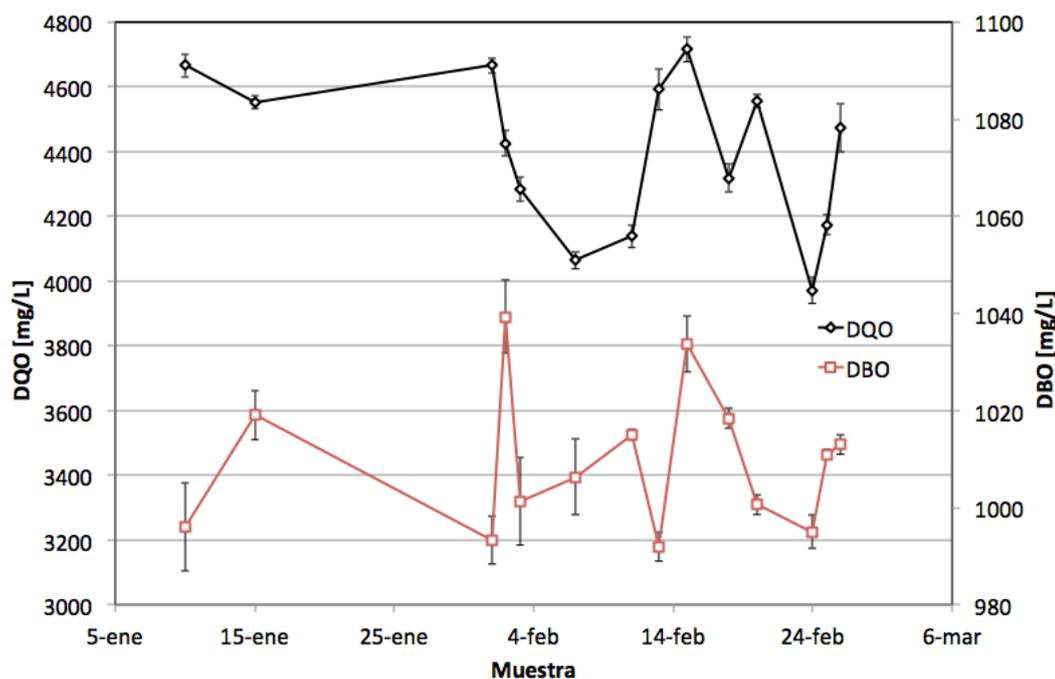


Figura 11: DQO y DBO de agua residual

Los datos graficados de DQO y DBO no presentan una tendencia establecida, por lo que se justifica el tomar un valor promedio, con su desviación estándar, como el mejor indicador de la calidad del agua residual entre los meses de enero y febrero. Los valores correspondientes son  $(4339 \pm 121.4)$  mg/L y  $(1010 \pm 14.68)$  mg/L, respectivamente.

La Demanda Química de Oxígeno se encuentra dentro de los valores esperados de acuerdo a los datos bibliográficos de las plantas en Asia. Este indicador es de suma importancia debido a que presenta el contenido de materia orgánica y oxidable el agua residual y con esto se puede determinar el impacto que tendrán en el ambiente. En el agua residual proveniente de la producción de látex se puede encontrar una alta cantidad de materia inorgánica, proveniente mayoritariamente del amoníaco adicionado en el proceso de coagulación.

Se debe tomar en cuenta que el valor de la DQO tiende a incrementar a medida que se agregan nuevas sustancias al agua, por lo que un proceso de acidificación ineficiente podría aumentar la Demanda Química de Oxígeno. Si la adición de ácido se realiza de manera correcta, este indicador disminuirá ya que se coagula y separa el látex disuelto y, por lo tanto, se reduce la DQO presente en el agua residual.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno se encuentra en el mismo rango que los valores observados en las plantas en Asia. Los factores que más se deben tomar en cuenta para la medición e interpretación de este valor son el tiempo de espera desde que se obtiene la muestra y el nivel de pH en el que se encuentra el agua. Una de las partes más importantes del método de experimentación es la neutralización de la muestra para realizar la medición de la DBO. Esto se debe a que las condiciones de pH en las que se encuentran las muestras de agua residual no son las adecuadas para el crecimiento y desarrollo de microorganismos (Sperling, 2007).

Esto indica que la adición de amoníaco en el proceso de coagulación es un método efectivo para contrarrestar la degradación de látex de campo por organismos afines a esta sustancia. En comparación con los valores de los países asiáticos, la DBO en Adrilatex se encuentra en el rango inferior; lo que evidencia que el agente anticoagulante y bactericida está cumpliendo su objetivo principal.

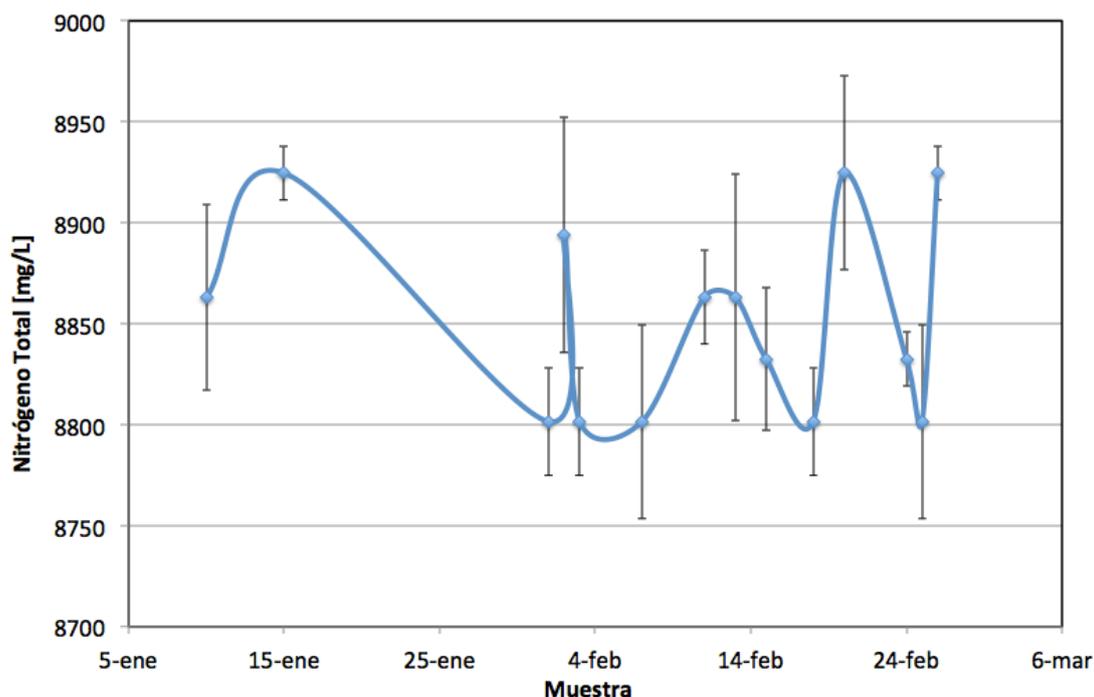


Figura 12: Nitrógeno Total de agua residual

Los datos correspondientes al Nitrógeno Total (Figura 12) del agua residual de campo y laboratorio no muestran una tendencia específica, por lo que es acertado el asumir un valor promedio de  $(8852 \pm 49.19)$  mg/L como base para caracterizar el agua a lo largo del tiempo de muestreo. Nuevamente, este parámetro de Adrilatex no coincide con los datos bibliográficos provenientes de Asia (S. Jawjit et al., 2010; Kumlanghan et al., 2008; Mohammadi et al., 2013). Es importante recalcar que el valor obtenido para este parámetro representa la cantidad total de nitrógeno en forma de nitrato y de amonio. Por lo tanto, es acertado asumir que el mayor porcentaje de nitrógeno proviene del amoníaco. Se puede identificar que corresponde a la adición en exceso que ha sido explicada anteriormente.

Esta disolución del compuesto en el agua representa un problema ambiental severo debido a que el amoníaco es un compuesto que puede contaminar varios medios debido a la reactividad de sus formas iónicas. Específicamente en el tratamiento primario de aguas

residuales, se busca disminuir el valor del nitrógeno total mediante la precipitación o la formación de complejos con otros elementos con la finalidad de poder recogerlos y separarlos de la muestra.

Además, se puede evitar la expulsión de vapores de amoníaco al ambiente con la acidificación de la muestra. De acuerdo a la curva de equilibrio de  $\text{NH}_3$  y  $\text{NH}_4^+$ , se favorece a la formación de radicales amonio con el descenso del pH. Si se logra disminuir este parámetro a menos de 8, más del 90% de nitrógeno amoniacal presente se convertirá en radicales de amonio que luego podrán formar distintos complejos, dependiendo del ácido utilizado, para ser finalmente extraídos de la solución (Sawyer, 2003).

Los valores promedio de cada parámetro con su desviación estándar, para el agua residual de Adrilatex, se presentan en la Tabla 6 y se comparan con los rangos promedio de agua residual de la producción de látex concentrado en países asiáticos.

**Tabla 6: Resultados de la caracterización de muestras.**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor Adrilatex</b>	<b>Rango Bibliográfico</b>	<b>Unidades</b>
pH	$10.65 \pm 0.15$	3.8-5.1	[-]
Sólidos Totales	$67890 \pm 5957$	3700-10000	[mg/L]
DQO	$4339 \pm 121.4$	2000-4900	[mg/L]
DBO	$1010 \pm 14.68$	500-1700	[mg/L]
N-total [K]	$8852 \pm 49.19$	230-760	[mg/L]

Los resultados muestran una diferencia sustancial con respecto a los análisis realizados en Malasia; excepto en la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y en la Demanda

Bioquímica de Oxígeno (DBO). Esto se debe al gran exceso de amoníaco que se utiliza en Adrilatex, mientras que en el país asiático se presentan valores de Sólidos Totales, pH y Nitrógeno Total considerablemente más bajos. Por ejemplo, la adición de amoníaco a las muestras de látex de campo es mucho mayor en la planta en Quinindé y al momento de la separación no se efectúa un proceso de acidificación para remover la mayor cantidad de látex posible. En Malasia el proceso es más industrializado, ya que producen caucho en gran cantidad; mientras en Adrilatex se trabaja con un método más artesanal y a menor escala.

Los valores actuales de los parámetros analizados no entran en el rango establecido por el Ministerio de Ambiente ecuatoriano. Se debe realizar la acidificación para poder disminuir el pH a los valores acordados en la norma de irrigación y descarga a efluentes, y analizar el impacto de este cambio en la calidad del agua residual. Además se espera que al reducir el valor de pH se cambie el equilibrio de la solución, favoreciendo la coagulación del látex disuelto para que posteriormente pueda ser separado. Se espera que los demás indicadores de calidad de agua disminuyan y logren entrar en la Norma Ambiental al ser sometido a un proceso de acidificación y posterior separación.

#### **4.2. Tratamiento primario del agua residual de látex concentrado**

El tratamiento consiste en la acidificación y separación de látex de la muestra. Por ello se estableció en primer lugar el mejor método de separación y luego las condiciones óptimas para obtener un mayor porcentaje de remoción de agua en las muestras de agua residual de látex concentrado.

#### 4.2.1. Investigación de los métodos de separación

El tratamiento preliminar con  $H_2SO_4$  arrojó los siguientes resultados en relación a la técnica de extracción más eficiente.

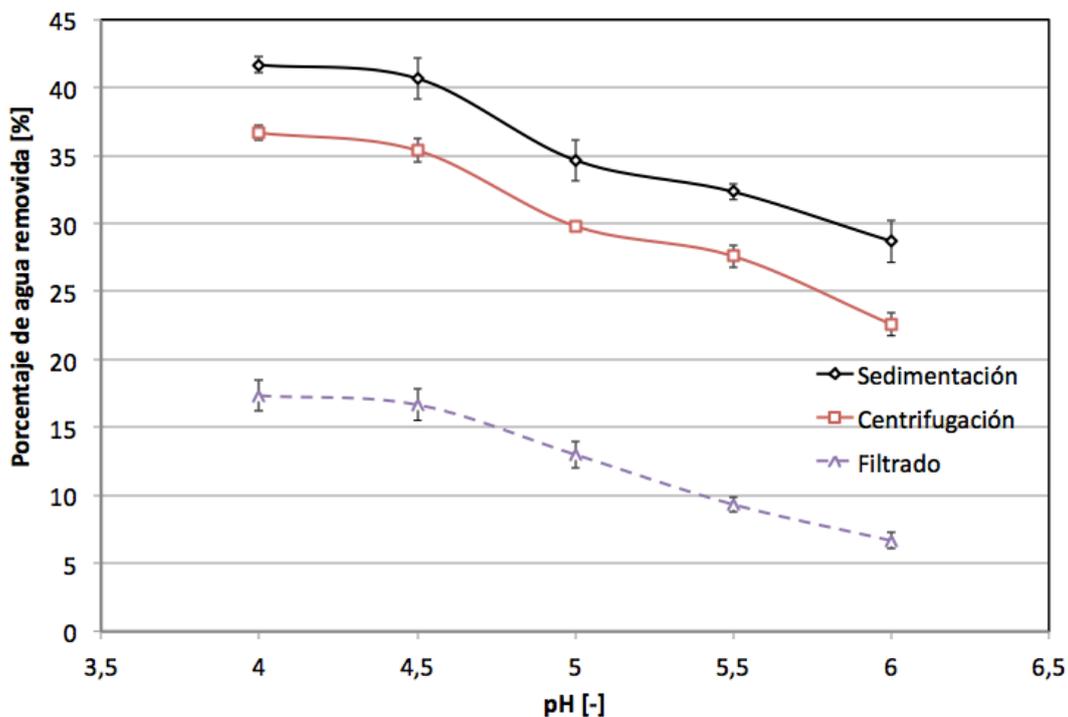


Figura 13: Porcentaje de remoción de agua con distintos métodos de extracción.

Los datos presentados en la Figura 13 muestran que el porcentaje de remoción aumenta al bajar el pH para todos los métodos de separación. Se puede observar que la sedimentación es el mejor proceso para separar los sólidos provenientes del látex, seguido por la centrifugación y finalmente el filtrado. La razón por la que el uso de un filtro no resulta tan eficiente es que el látex presente en el agua se encuentra en forma de solución, no como un sólido suspendido o en la superficie. Por lo tanto, filtrar solamente removerá cierta parte del látex, mientras que el remanente se mantiene en forma de solución junto con el resto del agua tratada. En cuanto a la centrifugación, se puede llegar a tener una separación eficiente; pero

el proceso conlleva una serie de gastos adicionales que en un modelo a gran escala representan una gran alta.

La sedimentación se realizó por 48 horas. En pruebas posteriores se determina si la dependencia del porcentaje de remoción en función del tiempo de sedimentación. A partir de estos resultados se espera obtener un tiempo óptimo, para la separación del látex y el agua mediante sedimentación, realizando pruebas adicionales que establezcan los valores óptimos de tiempo y pH con diferentes ácidos.

#### **4.2.2. Investigación de la acidificación**

Las pruebas de acidificación buscan recuperar la mayor cantidad de látex ya que de esta manera se obtiene un agua residual más limpia. El látex concentrado remanente puede ser comercializado como un producto de menor calidad y los valores de los diferentes parámetros del agua residual mejoran. Las pruebas de sedimentación se realizan con  $H_2SO_4$ ,  $HCl$  y  $CH_3COOH$ . Aquellas efectuadas con ácido sulfúrico a distintos niveles de pH se muestran en la Figura 14.

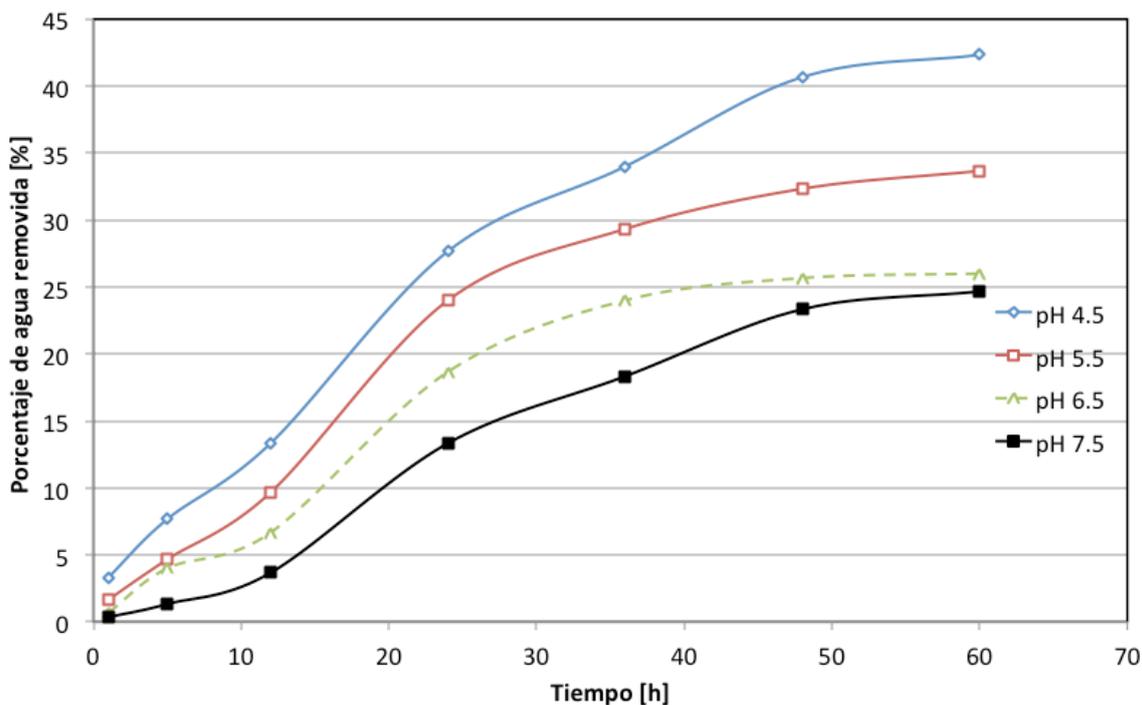


Figura 14: Porcentaje removido con respecto al tiempo para ácido sulfúrico

En estas pruebas se puede evidenciar que el porcentaje de remoción aumenta con el tiempo de separación. Las pruebas se efectuaron hasta alcanzar un tiempo de 60 h (2.5 días). Las curvas obtenidas a pH 7.5 y 6.5 demuestran tendencias similares, especialmente a partir de 48 h de sedimentación. De acuerdo a la Figura 14, el porcentaje de remoción de agua de la solución llega a un punto de latencia a partir del segundo día, en el que no crece de la misma manera que en las primeras horas de sedimentación. Se puede tomar esta tendencia para asumir que la curva de remoción llega a una asíntota en este punto y que aumentar el tiempo de reposo no elevará el porcentaje de remoción de forma significativa.

Se debe recalcar que los niveles de pH de 4.5 y 5.5 presentan mejor remoción. Sin embargo, son aquellos que están fuera del rango ambiental tanto para irrigación como para descarga a efluentes (pH 6-9). Esto significa que en un diseño de proceso específico para la planta de Adrilatex se debe tomar en cuenta el costo adicional que conlleva neutralizar el agua

tratada y poder compararlo con el beneficio obtenido por recoger un látex de mayor concentración.

Los resultados de las pruebas de sedimentación con ácido clorhídrico se presentan en la Figura 15. La tendencia de las curvas de la remoción en función del tiempo coinciden con aquellas obtenidas con ácido sulfúrico; alcanzando el mayor porcentaje de remoción en pH 4.5 y 60 h de sedimentación. También se puede observar que en este caso los tratamientos son similares y no existe tanta diferencia porcentual en la extracción como en los resultados de  $H_2SO_4$ .

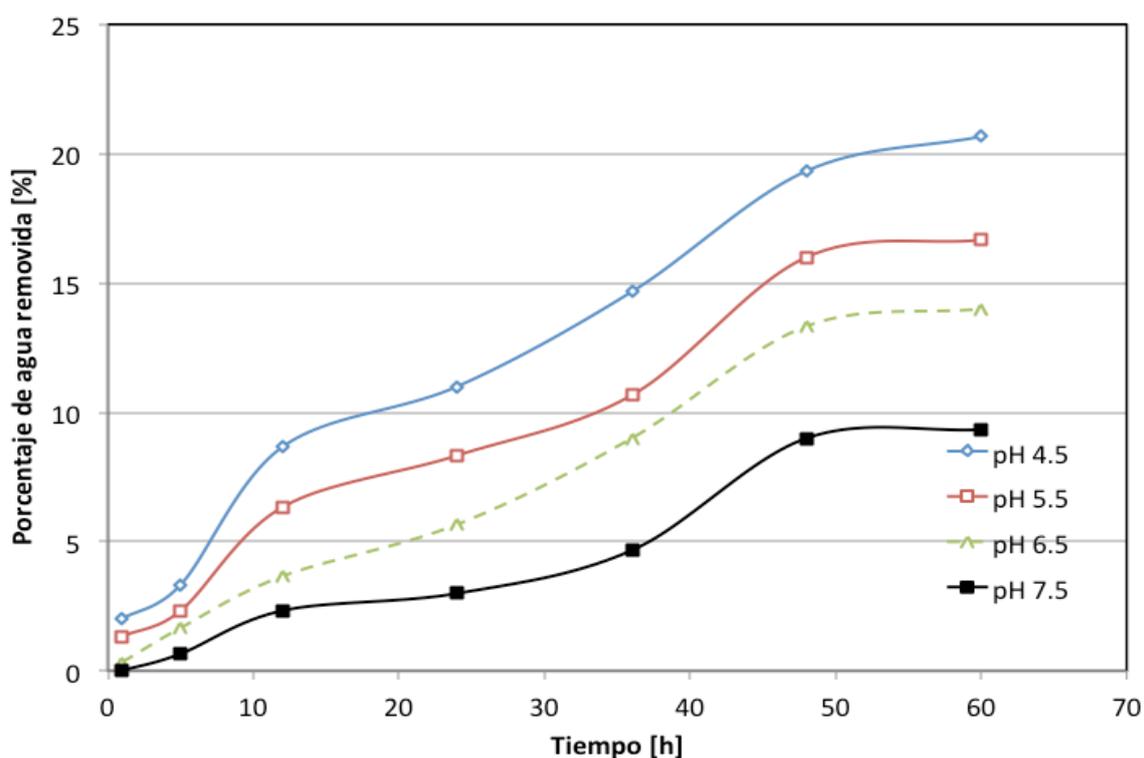


Figura 15: Porcentaje removido con ácido clorhídrico

Al igual que en la figura anterior, se muestra que la tendencia del porcentaje de remoción se mantienen asintóticas a partir de las 48 horas de sedimentación. Debido a esto, se determina que el valor óptimo de separación coincide con aquel obtenido para ácido sulfúrico.

La razón por la que el  $H_2SO_4$  presenta una mejor remoción se debe a que produce una reacción más espontánea que el HCl, por lo que los complejos generados se forman de manera más sencilla. El porcentaje de sólidos removidos usando ácido clorhídrico es menor al que se obtuvo con ácido sulfúrico, aproximadamente la mitad.

Los niveles de pH óptimos siguen fuera del rango ambiental, por lo que se necesitaría un proceso adicional de neutralización. El tratamiento es menos eficiente en cuanto a la remoción de agua, por lo que se tendrá una solución diluida de látex. Los resultados de las pruebas de sedimentación que utilizaron ácido acético se presentan en la Figura 16. El porcentaje removido más alto en esta prueba corresponde a las condiciones pH 4.5 y 60 h de sedimentación.

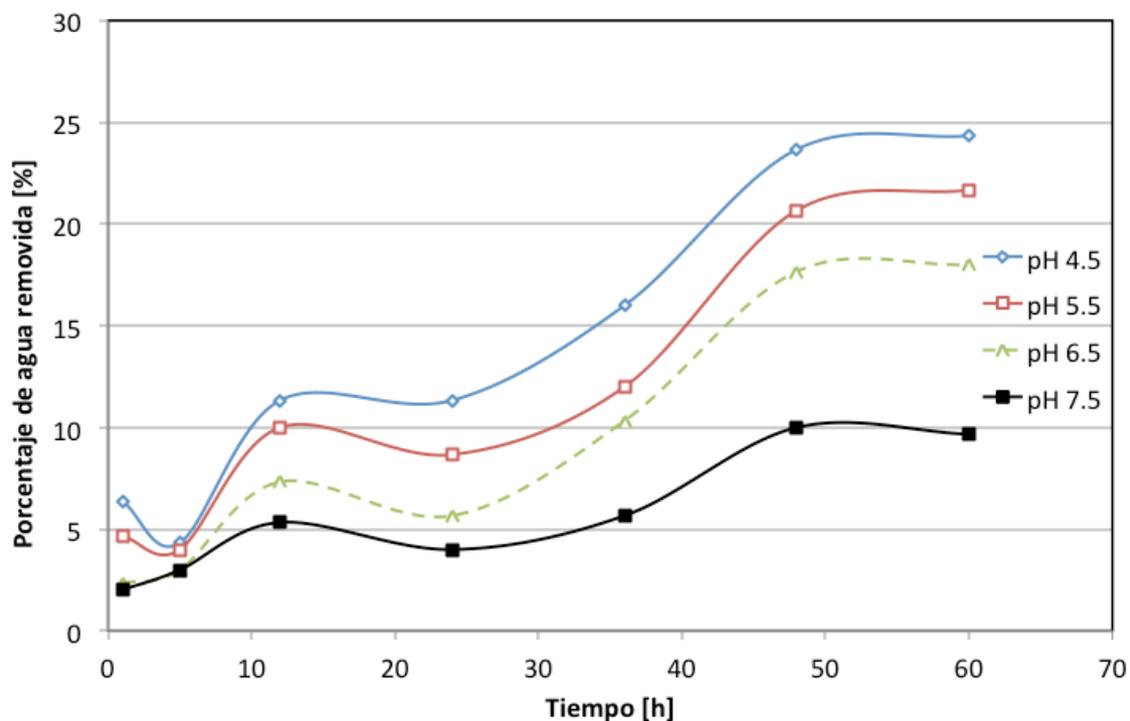


Figura 16: Porcentaje removido por ácido acético

Los tratamientos realizados a pH 6.5 y 5.5 son muy similares en la tendencia que manejan e incluso en ciertos valores de remoción de agua. Es importante recalcar que este tratamiento tiene un efecto inmediato al momento de colocar el ácido. Mientras que el ácido sulfúrico y clorhídrico no separan el agua en la primera medición; el ácido acético logra empezar la sedimentación de forma más rápida, separando incluso hasta más del 5% de agua en la primera medición.

A pesar que estos resultados instantáneos son prometedores al inicio, cuando se realizan las pruebas con un tiempo de sedimentación mayor, la tendencia cambia y no se logra una buena separación. Un suceso interesante se desarrolla en las primeras cinco horas de tratamiento. En algunos casos (pH 4.5-5.5) el porcentaje de agua removida disminuye, en comparación con la primera toma de medidas. Esto se puede originar por el gradiente que se produjo durante la primera medición, se llega a un nuevo equilibrio en el que se empieza a separar. Nuevamente, el ácido sulfúrico facilita la remoción de más látex que el acético.

Se debe recalcar que el porcentaje de remoción de agua es el mejor indicador de calidad de tratamiento en este caso. Esto se debe a que usando los tres tipos de ácidos se logró separar el látex del agua; pero en los casos con mayor porcentaje, el látex remanente es mucho más concentrado. El agua separada presentará valores favorables desde la primera hora, en cuanto a la remoción de sólidos, en comparación con la muestra original ya que la acidificación produce esta separación. El verdadero reto se encuentra en obtener la mayor cantidad de agua tratada ya que ello implica que el látex coagulado estará cada vez más concentrado.

### 4.2.3. Comparación de los resultados

Las pruebas realizadas con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> fueron las que presentaron mejor porcentaje de remoción, por lo que se realiza una caracterización del agua resultante. De esta manera se puede establecer si el tratamiento es efectivo para el agua y si se cumplen los rangos de parámetros ambientales establecidos por el Ministerio de Ambiente de Ecuador. La tabla a continuación muestra los valores obtenidos en la caracterización del agua residual. En el caso de sólidos totales (ST), DQO, DBO y nitrógeno total (NTK); se muestra el porcentaje de variación de los parámetros con respecto al valor inicial del agua de Adrilatex y su equivalente para la norma ambiental de irrigación.

**Tabla 7: Caracterización de tratamientos con ácido sulfúrico**

Parámetro	Valor Adrilatex	pH 4.5		pH 6.5		Norma Irrigación
		48 h	60 h	48 h	60 h	
pH [-]	10.65	4.5	4.5	6.5	6.5	6-9
ST [mg/L]	67890	3395	2716	4073	3327	250
DQO [mg/L]	4339	1085	998	1519	1388	-
DBO [mg/L]	1010	70.7	68.7	90.9	88.6	100
NTK [mg/L]	8852	708	691	885	797	30-100

Los resultados de la Tabla 7 muestran que el tratamiento por 48 h es altamente efectivo en la reducción de los parámetros ambientales establecidos. A pesar de lograr una gran mejoría, los valores de Sólidos Totales y Nitrógeno Total no entran en la norma ambiental ecuatoriana. Se confirma que la acidificación es una buena alternativa como proceso primario para mejorar la calidad del agua residual. Es importante notar que la diferencia entre el tratamiento a 60 y 48 h no es tan alta, por lo que se establece que el tiempo de espera no justifica la pequeña mejora en el agua.

Se puede evidenciar cómo la remoción del látex mejora la calidad del agua. Se logra separar una gran cantidad de látex ya que existe una alta proporción de este hidrocarburo en el agua residual. Los sólidos totales disminuyeron notablemente; lo cual funciona como indicador que el proceso de cremado realizado en Adrilatex no fue muy efectivo. De igual manera, el DQO indica la cantidad de materia orgánica que se puede oxidar.

De igual forma el DBO, muestra la presencia de material orgánico que se oxida. Su disminución indica que las condiciones ácidas a las que se somete al agua sí afectan a los microorganismos presentes en la misma. El valor entra en las normas ambientales de irrigación desde el tratamiento a pH 6.5 con tiempo de sedimentación de 48 h. En cuanto al nitrógeno total en el agua, se logra disminuir notablemente. La presencia de nitrógeno en el látex concentrado sigue siendo un factor determinante para la alta variación que se presenta en este parámetro ambiental. Se recalca que el proceso de separación inicial no es óptimo, por lo que se encuentra una gran cantidad de látex disuelto que se desecha.

Los parámetros que entran dentro de la norma son los mismos para los dos tratamientos; pero difiere en nivel de pH y tiempos de sedimentación. El factor determinante

es la cantidad de ácido utilizado y en el caso que se designe la acidificación a pH 4.5 se debe realizar un proceso de neutralización adicional con la finalidad de aumentar el potencial de hidrógeno al rango ambiental.

### 4.3. Diseño del tratamiento primario

El proceso por el que deberá pasar el agua residual, desde su captación como látex de campo hasta su desecho como residuo tratado, se explica en la Figura 17. Se debe añadir ácido en el agua residual con la finalidad de facilitar la separación entre látex coagulado y agua tratada.

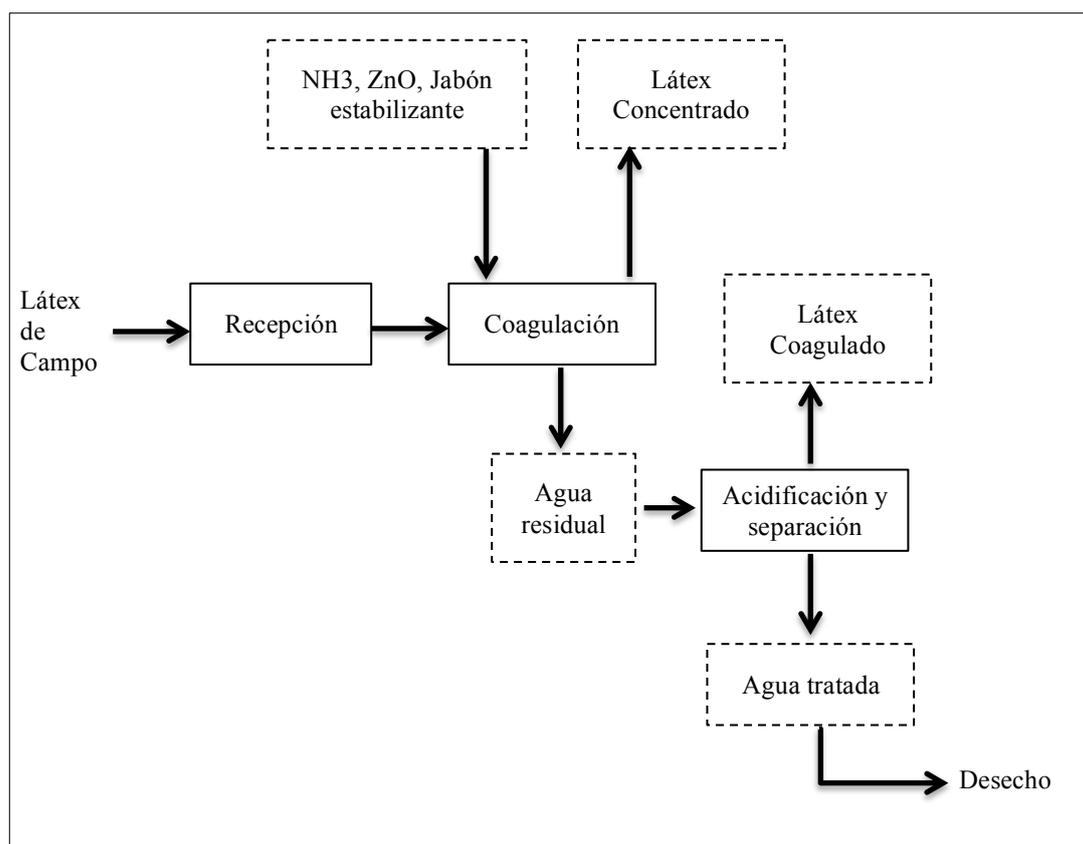


Figura 17: Tratamiento primario de agua residual

De acuerdo a los análisis realizados y los resultados que se han presentado, resulta más factible realizar una acidificación a pH 6.5 durante 48 horas usando ácido sulfúrico concentrado. Esto se debe a que el costo-beneficio de acidificar hasta llegar a pH 4.5 y esperar 12 h adicionales no justifica la remoción extra de látex. Además que se debería realizar un tratamiento de neutralización posterior que solamente aumentarían los costos operacionales de la planta, presentados en la Tabla 10. Los valores mostrados corresponden al valor operacional del tratamiento primario para una tanda de 2.125 m<sup>3</sup>. Este es el valor actual de la producción de Adrilatex; se trabajan dos tandas a la semana.

La producción de Adrilatex es de aproximadamente 8 m<sup>3</sup> de látex de campo semanal, el cual debe ser coagulado y separado en látex concentrado y el agua residual. Se conoce que la planta recibe dos cargas semanales para procesar. De acuerdo a estos valores, se necesitarán tanques de recepción, coagulación y acidificación con la capacidad suficiente para la demanda actual. Además se deben tomar en cuenta los planes de expansión y aumento de producción, en los cuales se espera duplicar la cantidad de látex concentrado obtenido en la planta.

Los equipos que se utilizarán son presentados en la Figura 18. Se necesitan ocho tanques de 2.5 m<sup>3</sup> de capacidad, los cuales serán colocados en la distribución especificada en la Figura 19. Se tomó en cuenta fabricar o adquirir tanques con fondo cónico con la finalidad de mejorar el proceso de separación; pero el costo que implica obtener estos recipientes no justifica el beneficio que se obtiene por tenerlos. Además, en lugar de usar tanques transparentes, cuyo costo es elevado, se optó por adquirir mirillas de nivel. Estos implementos extra ayudarán no solo a conocer qué tan lleno está el tanque; pero también serán útiles para saber cuánta agua residual se puede recoger de cada proceso.

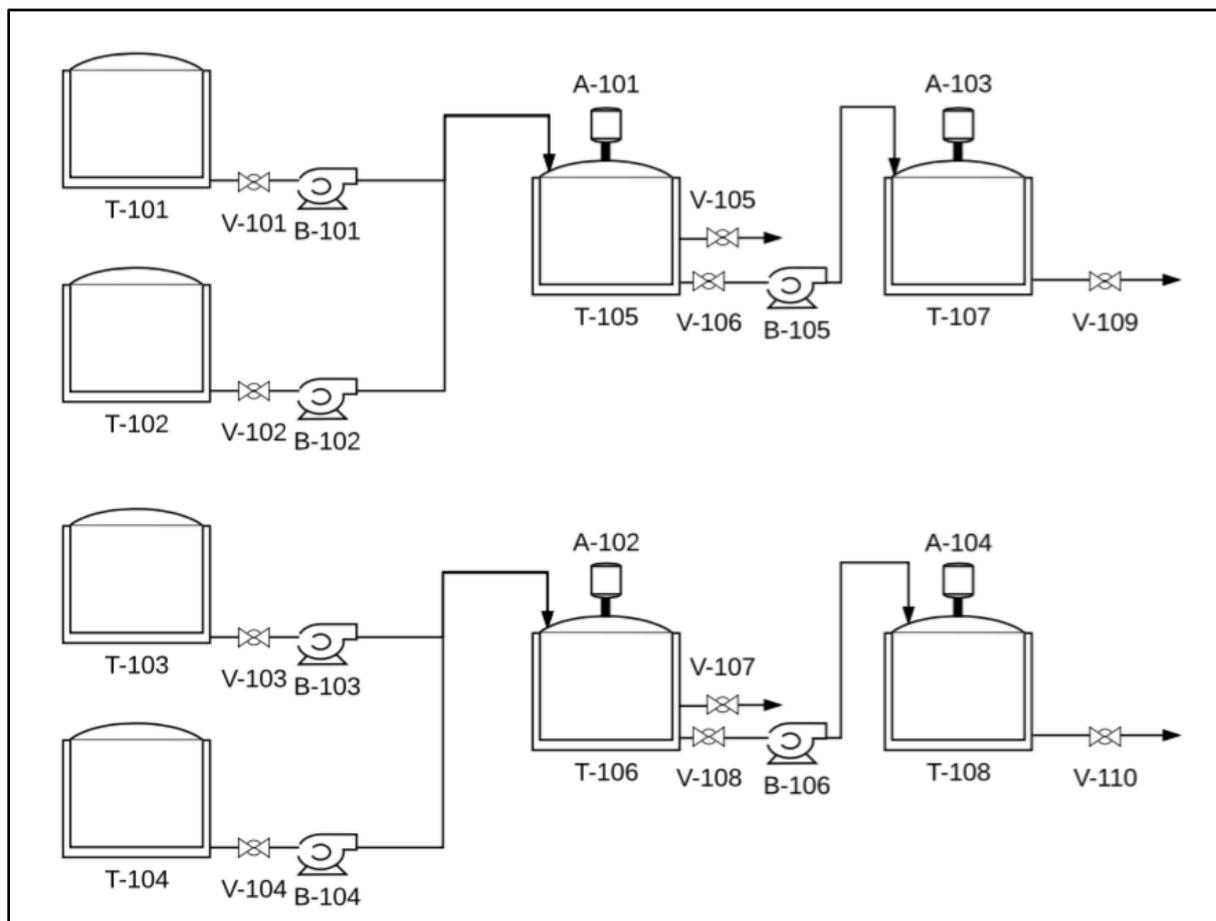
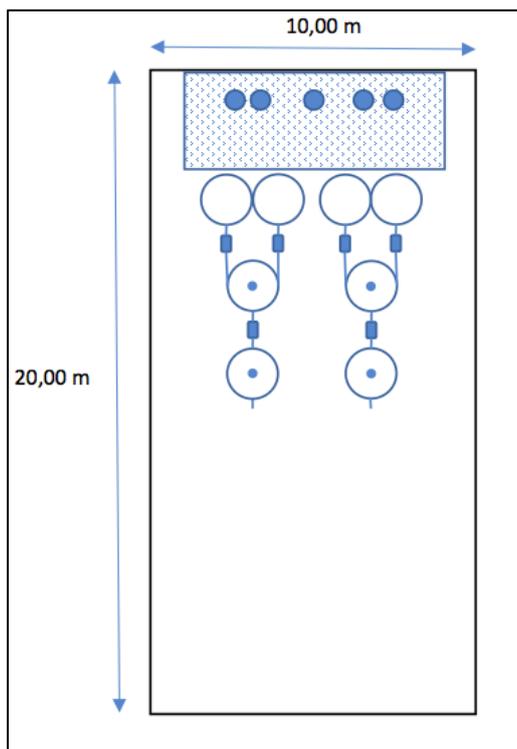


Figura 18: P&ID de planta de tratamiento de agua residual

Los equipos utilizados son de dimensiones iguales ya que existen ejemplares en el mercado que se adaptan idealmente a los requerimientos de Adrilatex. El hecho de usar elementos similares en un diseño también ayuda a reducir el costo de inversión. Las especificaciones de los equipos se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8: Especificaciones de equipos usados en la planta de tratamiento de agua residual de látex concentrado

Equipo	Características
T-101 hasta T-108	Tanque reservorio de agua de 2.5 m <sup>3</sup> de capacidad. Altura 1.60 m.
V-101 hasta V-110	Válvula de bola (Ø 1 ¼ ").
B-101 hasta B-106	Bomba centrífuga de 0.75 kW.
A-101 hasta A-104	Agitador portable Neptune 150 RPM.



**Figura 19: Distribución espacial de tanques en Adrilatex**

Los tanques se colocan a nivel del suelo ya que está planeado la construcción de una superficie de descarga, a la cual llegan los camiones recolectores de látex de campo. Estos vehículos dejan la producción de campo en barriles de 200 L, los cuales serán vaciados en los tanques de recolección. A partir de este punto se utilizan bombas para transportar el líquido a los recipientes posteriores y se descargan los remanentes de látex usando una válvula de purga. La Figura 20 muestra la distribución horizontal de los tanques y las máquinas adicionales para el correcto funcionamiento del proceso.

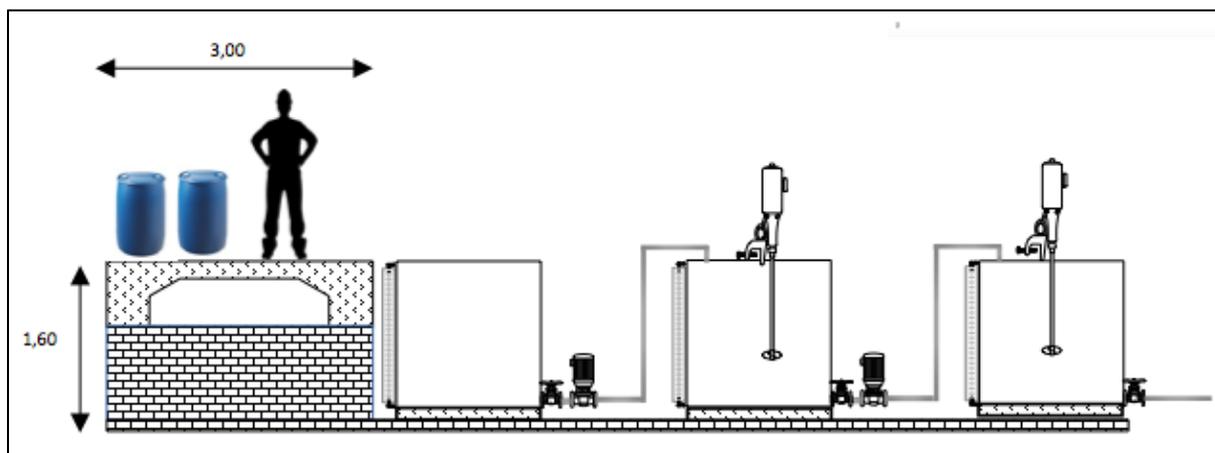


Figura 20: Distribución horizontal de equipos

El espacio útil en este proyecto corresponde a un área de 100 m<sup>2</sup> en los cuales se levantará un galpón con la finalidad de resguardar la integridad de los equipos y asegurar un tratamiento de calidad para el agua residual. Entre los costos de operación mensual, instalación, materiales y accesorios; la inversión total para montar la planta de tratamiento primario será de aproximadamente \$45 000, que se detalla en la Tabla 9.

Tabla 9: Precio de equipos, construcción e instalación de planta

Ítem	Precio unitario [\$]	Cantidad	Precio Total [\$]
Obra civil	340/m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>	34 000
Tanques [2.5 m <sup>3</sup> ]	370	8	2 960
Mirillas	150	8	1 200
Agitador	406	4	1 624
Bombas	420	6	2 520
Tuberías y accesorios	600	1	600
Montaje equipos	1 500	1	1 500
<b>Total</b>			<b>44 404</b>

Los costos operacionales se separan en mano de obra, adquisición de ácido sulfúrico concentrado, costos de electricidad y gastos misceláneos que se puedan presentar durante todo el proceso en la planta. Los valores mostrados en la Tabla 10 no toman en cuenta costos adicionales por neutralización.

**Tabla 10: Costos operacionales de la planta de tratamiento primario**

<b>Ítem</b>	<b>Costo Unitario [\$]</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo Total [\$]</b>
Operador	3.75/m <sup>3</sup> agua residual	2.125 m <sup>3</sup>	7.97
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.65/kg	43.0 kg	27.95
Electricidad	1.19/kWh	3.0 kWh	3.57
Gastos Misceláneos	0.75 /m <sup>3</sup> agua residual	2.125 m <sup>3</sup>	1.59
<b>Total (carga)</b>	-	-	<b>41.08</b>
<b>Total (mensual)</b>			<b>328.64</b>

Cabe recalcar que el látex obtenido en el proceso de separación es rentable y se puede comercializar a precios inferiores debido a su menor calidad. La Tabla 11 muestra las ganancias adicionales que se obtienen por la venta del látex concentrado secundario.

**Tabla 11: Ganancia adicional por venta de látex secundario.**

<b>Ítem</b>	<b>Precio Unitario [\$/kg]</b>	<b>Cantidad [kg]</b>	<b>Precio Total [\$]</b>
Látex secundario	0.40	525.94	210.38
<b>Total por carga</b>	-	-	<b>210.38</b>
<b>Total mensual</b>	-	-	<b>1803.26</b>

Tomando en cuenta el precio de venta de látex primario, la recolección de látex secundario aumenta las ganancias de Adrilatex en aproximadamente un 24.5%. Además, se

puede considerar que el costo de operación de la planta de tratamiento primario corresponde a una inversión que entregará beneficios económicos mensuales a la empresa. El nivel de rentabilidad se puede establecer con el retorno a la inversión (ROI).

$$ROI = \frac{\$1803.26 - \$328.64}{\$328.64} \times 100\% = 448.70\%$$

De acuerdo al valor alto del ROI, se considera que aplicar un tratamiento primario a las aguas residuales es un proceso rentable. Los costos de operación son una buena inversión ya que conllevan a una ganancia mucho mayor. La ganancia neta de la venta de látex secundario puede utilizarse para pagar el costo total del proyecto de diseño.

$$Tiempo\ de\ recuperación = \frac{\$44\ 404}{(\$1803.26 - \$328.64)/mes} = 30.09\ meses$$

Se logrará recuperar la inversión completa de la construcción de la planta de tratamiento primario del agua residual de látex concentrado en aproximadamente 2 años y medio.

## 5. CONCLUSIONES

El tratamiento de agua residual de la producción de látex concentrado en Adrilatex actualmente no es el adecuado, ya que se desechan contaminantes en el suelo el cual puede perder sus características para favorecer el crecimiento de vegetación. El uso de pozos como método de limpieza de agua residual es un riesgo potencial para fuentes hídricas subterráneas, que podrían estar conectadas con los reservorios de agua que se intentan proteger en primera instancia.

Por esta razón se decidió separar este trabajo de investigación en dos partes principales: análisis y tratamiento. En la sección de análisis se establecieron los parámetros ambientales necesarios para determinar la calidad de agua residual con la que se trabajaba en Adrilatex. El proceso de caracterización fue exitoso y se logró establecer que efectivamente se tiene un agua de descarga altamente contaminante que debe ser sometida a un tratamiento previo antes de ser desechada o usada en otros procesos. En la sección de tratamiento se comprobó que el mejor método de separación de látex acidificado es la sedimentación a pH 4.5 durante 48 h.

Los datos obtenidos difieren de aquellos provenientes de Malasia debido a los diferentes procesos que se usan en sus plantas. Es recomendable que se mejore el sistema de cremado en Adrilatex ya que se está perdiendo una gran cantidad de producto en el agua residual. Esto se muestra en los sólidos totales presentes en la muestra.

En cuanto a la variabilidad de los datos, la ausencia de una tendencia marcada es un buen indicador. Esto ayuda a establecer un valor promedio como la mejor aproximación de

pH, Sólidos Totales, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Nitrógeno Total; para el rango de fechas en el que se obtuvieron los ejemplares de agua.

Los valores correspondientes a los parámetros ambientales no cumplen con las normas ecuatorianas. Las muestras de campo y de laboratorio muestran pequeñas diferencias que se pueden justificar por los procesos estandarizados y mayormente controlados en LaDEA. El agua residual sin tratar es un contaminante severo debido a la gran cantidad de sólidos presentes, los compuestos orgánicos que se pueden oxidar y el nitrógeno disuelto en el agua proveniente del proceso de cremado de látex. Afortunadamente este paso anula de cierta forma la proliferación de microorganismos que consuman el hidrocarburo; es por ello que el DBO entra en los rangos bibliográficos.

En relación a los métodos de separación, la sedimentación es el proceso de mejor remoción. A pesar que la centrifugación ofrezca una alternativa más rápida; el costo de adquirir maquinaria de la magnitud necesaria para la planta, no justifica el ahorro en tiempo. Si se toma en cuenta la frecuencia de entrega de látex de campo, si se realiza un tratamiento muy sencillo habrán momentos en los que la planta se encuentre detenida por falta de materia prima.

Las pruebas con diferentes ácidos fueron altamente satisfactorias ya que se logró determinar una combinación de condiciones (pH, tiempo de sedimentación y tipo de ácido) idónea para el tratamiento primario del agua residual. El hecho de no optar por la neutralización como un proceso adicional brinda un gran beneficio a la empresa y el medio ambiente. A pesar que se logró una mejora sustancial en relación a los valores iniciales de

parámetros ambientales, el tratamiento no es totalmente efectivo para lograr un agua de calidad que pueda usarse como medio de irrigación o descargarlo a fuentes naturales.

Se debe complementar el proceso de acidificación con distintos métodos que reduzcan los valores de parámetros que siguen siendo altos como Sólidos Totales y Nitrógeno Total. Por ello se diseñó el sistema de tratamiento utilizando la menor cantidad de espacio posible. Con esto es más sencillo el ampliar en caso de la adición de una segunda parte de tratamiento. Los métodos que se pueden usar pueden ser tratamientos secundarios con microorganismos, tratamientos terciarios con la adición de nuevos compuestos o un proceso que implique el uso de membranas que retengan los elementos dañinos disueltos en el agua residual.

El costo de operación y la construcción de la planta de tratamiento de agua residual es una inversión acertada que se debe efectuar en Adrilatex. Se puede recuperar este coste con la venta de látex secundario a precios menores que el látex cremado en aproximadamente dos años y medio a partir de la puesta en marcha inicial.

## 6. REFERENCIAS

- Barlow, C., Jayasuriya, S., & Tan, S. (2011). *The World Rubber Industry. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53).  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Blackley, D. (1997). *Polymer latices : science and technology*. Chapman & Hall.
- Bulmer, M. G. (1965). *Principles of Statistics. British medical journal* (Vol. 2).  
<https://doi.org/10.1002/bimj.19710130208>
- Choudhry, Y. A., & Lister, D. W. (1997). *Sri Lanka's rubber industry: succeeding in the global market. World Bank Discussion Papers* (Vol. 368). World Bank.
- Clesceri, L. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.  
 Retrieved from [https://www.mwa.co.th/download/file\\_upload/SMWW\\_1000-3000.pdf](https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_1000-3000.pdf)
- Confederación Hidrográfica del Duero. (2007). *Sistema de Analisis Estadistico con SPSS*.
- D. G. Rao, Senthilkumar, R., Byrne, J. A., & Feroz, S. (2012). Wastewater Treatment: Advanced Processes and Technologies. *Chemical Engineering Progress*. CRC Press.  
[https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(00\)80383-9](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(00)80383-9)
- De, S. K., & White, J. R. (2001). *Rubber Technologist's Handbook*. Retrieved from  
[https://books.google.com.ec/books?id=2rxFOM68Ui8C&pg=PA18&dq=field+latex&hl=en&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=field latex&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=2rxFOM68Ui8C&pg=PA18&dq=field+latex&hl=en&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=field latex&f=false)
- George, P., & Kuruvilla Jacob, C. (2000). *Natural Rubber - Agromanagement and Crop Processing*. Kerala: Rubber Research Institute of India.
- Hammer, M. J. (1996). *Water and Wastewater Technology. Bibliothek*. Pearson Education.

<https://doi.org/10.1201/9781439833100.ch>

- Henze, M., & Comeau, Y. (2008). Wastewater Characterization. *Biological Wastewater Treatment: Principles Modelling and Design.*, 33–52. Retrieved from [http://ocw.unesco-ihe.org/pluginfile.php/462/mod\\_resource/content/1/Urban\\_Drainage\\_and\\_Sewerage/5\\_Wet\\_Weather\\_and\\_Dry\\_Weather\\_Flow\\_Characterisation/DWF\\_characterization/Notes/Wastewater\\_characterization.pdf](http://ocw.unesco-ihe.org/pluginfile.php/462/mod_resource/content/1/Urban_Drainage_and_Sewerage/5_Wet_Weather_and_Dry_Weather_Flow_Characterisation/DWF_characterization/Notes/Wastewater_characterization.pdf)
- Jawjit, S., & Liengcharernsit, W. (2010). Anaerobic treatment of concentrated latex processing wastewater in two-stage upflow anaerobic sludge blanketA paper submitted to the Journal of Environmental Engineering and Science. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37(5), 805–813. <https://doi.org/10.1139/L10-029>
- Jawjit, W., Pavasant, P., & Kroeze, C. (2015). Evaluating environmental performance of concentrated latex production in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 98, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.016>
- Kadlcak, I., & Kuritka, J. (2009). The Effect of ZnO Modification on Rubber Compound Properties, 347–352. Retrieved from <http://www.cps.utb.cz>
- Karia, G., & Christian, R. (2006). *Wastewater Treatment: Concepts and design approach.* Prentice-Hall Of India Pv.
- Kolarik, L., & Priestley, A. (1996). *Modern Techniques in Water and Wastewater Treatment.*
- Kumlanghan, A., Kanatharana, P., Asawatreratanakul, P., Mattiasson, B., & Thavarungkul, P. (2008). Microbial BOD sensor for monitoring treatment of wastewater from a rubber latex industry. *Enzyme and Microbial Technology*, 42(6), 483–491. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2008.01.012>
- Lawn, R. E., & Prichard, F. E. (Florence E. (2003). *Measurement of ph.* American

*Laboratory*. Royal Society of Chemistry.

Leo M.L. Nollet, L. S. P. D. G. (2013). *Handbook of Water Analysis, Third Edition*.

<https://doi.org/10.1201/b15314>

Madhu, G., George, K. E., & Francis, D. J. (n.d.). International Journal of Treatment of natural rubber latex concentration wastewaters by stabilisation pond, (January 2015),

37–41. <https://doi.org/10.1080/00207239408710911>

Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la química ambiental*. Editorial Reverté.

Marques, M. J. (2000). *Estadística básica un enfoque no parametricos*.

Ministerio del Ambiente. (2014). Anexo 1 Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislacion

Secundaria Del Ministerio Del Ambiente: Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga

De Efluentes Al Recurso Agua. *Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De*

*Efluentes : Recurso Agua*, 1–37.

Mohammadi, M., Man, H., Hassan, M., & Yee, P. (2013). Treatment of wastewater from rubber industry in Malaysia. *African Journal of Biotechnology*, 9(38), 6233–6243.

<https://doi.org/10.4314/ajb.v9i38>.

Morton, M. (1999). *Rubber Technology*. Springer Science. Retrieved from

[https://books.google.com.ec/books?id=uETsCAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=rubber+technology&hl=en&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=179&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=uETsCAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=rubber+technology&hl=en&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=179&f=false)

Namakforoosh, M. (2005). *Metodología de la Investigación*.

Orhon, D., Ateş, E., Sözen, S., & Çokgör, E. U. (1997). Characterization and COD fractionation of domestic wastewaters. *Environmental Pollution*, 95(2), 191–204.

[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(96\)00111-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(96)00111-X)

- Qasim, S. R. (1999). *Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation, Second Edition*. CRC.
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., & Parkin, G. F. (2003). *Chemistry for environmental engineering and science*. McGraw-Hill.
- Spellman, F. (2013). Handbook of water and wastewater treatment plant operations (p. 923).  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-369520-8.50043-7>
- Sperling, M. von. (2007). *Activated sludge and aerobic biofilm reactors*.
- Thongnuekhang, V., & Puetpaiboon, U. (2004). Nitrogen removal from concentrated latex wastewater by land treatment. *Warasan Songkhla Nakharin*, 26(4), 521–528. Retrieved from <http://rdo.psu.ac.th/sjstweb/journal/26-4/09-wastewater.pdf>
- Water Environment Federation. (2008). Characterization and Sampling of Wastewater. *Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants: MoP No.11*, 1–24.  
<https://doi.org/10.2175/157278-232-3-17>
- Zamora, J., Rizzo, L., Suarez, G., Espinosa, F., & Torres, D. (2012, March 10). Población y producción de caucho. Retrieved from [http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101296483/-1/Población\\_y\\_producción\\_de\\_caucho\\_.html](http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101296483/-1/Población_y_producción_de_caucho_.html)

## ANEXO 1

Datos de análisis de pH a temperatura ambiente de 19°C para caracterización inicial se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12: Recolección de datos de pH para muestras de agua residual

<b>Muestra</b>	<b>pH<sub>19</sub></b>			<b>pH<sub>19</sub> promedio</b>
1	10.53	10.51	10.64	10.56
2	10.63	10.61	10.66	10.63
3	10.67	10.72	10.64	10.68
4	10.53	10.47	10.45	10.48
5	10.45	10.38	10.35	10.39
6	10.90	10.85	10.82	10.86
7	10.64	10.59	10.57	10.60
8	10.70	10.65	10.62	10.66
9	10.71	10.63	10.6	10.65
10	10.66	10.7	10.61	10.66
11	10.72	10.75	10.75	10.74
12	10.99	11.01	11.01	11.00
13	10.61	10.66	10.6	10.62
14	10.6	10.57	10.55	10.57

## ANEXO 2

Los datos correspondientes al análisis de la Demanda Química de Oxígeno se presentan en la Tabla 13.

**Tabla 13: Absorbancia y DQO para caracterización inicial**

Muestra	Absorbancia			Absorbancia promedio	DQO [mg/L]
1	0.590	0.600	0.602	0.597	4665.22
2	0.588	0.580	0.581	0.583	4552.96
3	0.592	0.601	0.599	0.597	4665.22
4	0.570	0.559	0.571	0.567	4425.03
5	0.555	0.542	0.549	0.549	4284.05
6	0.515	0.522	0.525	0.521	4064.74
7	0.534	0.523	0.533	0.530	4137.84
8	0.599	0.585	0.580	0.588	4592.12
9	0.610	0.604	0.597	0.604	4714.83
10	0.561	0.547	0.551	0.553	4317.99
11	0.580	0.588	0.582	0.583	4555.57
12	0.501	0.511	0.514	0.509	3970.75
13	0.533	0.541	0.530	0.535	4174.39
14	0.581	0.577	0.560	0.573	4472.02

La curva de calibración para el DQO se muestra en la Figura 21.

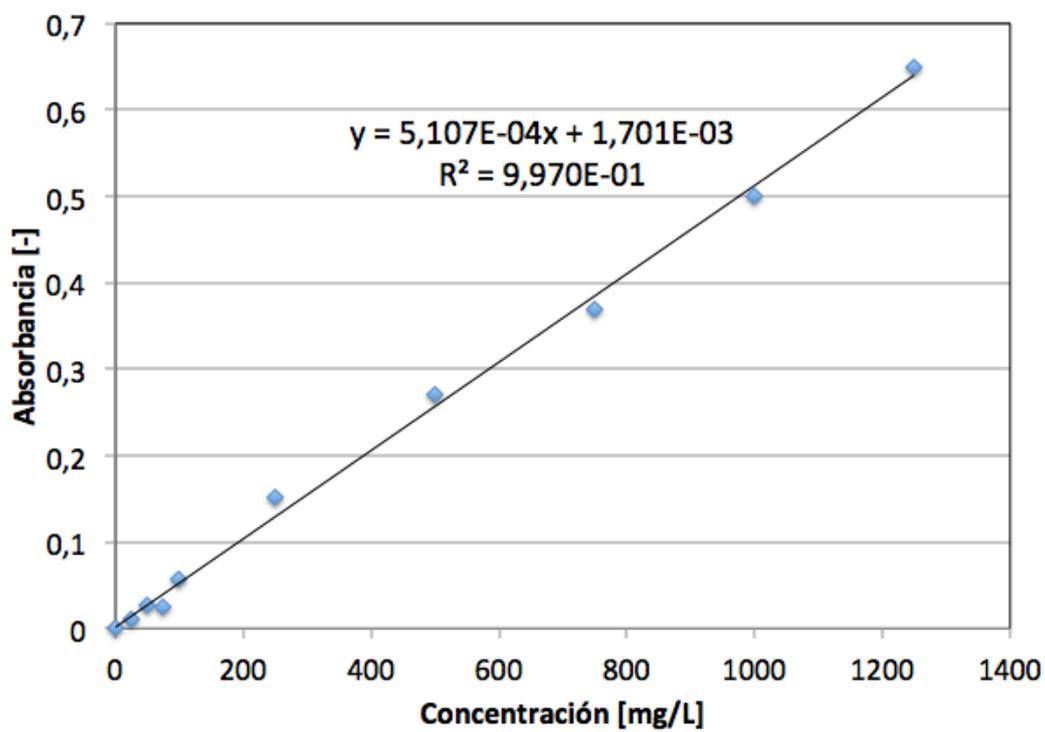


Figura 21: Curva de Calibración DQO

### ANEXO 3

Los datos correspondientes a la Demanda Bioquímica de Oxígeno se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14: DBO para caracterización inicial

Muestra	DBO <sub>0</sub> [mg/L]			DBO <sub>5</sub> [mg/L]			DBO [mg/L]			DBO Prom
1	11.23	11.30	11.25	1.36	1.25	1.29	9.87	10.05	9.96	996.00
2	12.34	12.33	12.39	2.20	2.14	2.15	10.14	10.19	10.24	1019.00
3	11.42	11.39	11.44	1.51	1.49	1.45	9.91	9.90	9.99	993.33
4	11.80	11.67	11.72	1.33	1.35	1.33	10.47	10.32	10.39	1039.33
5	11.01	11.03	11.10	1.09	1.01	1.00	9.92	10.02	10.10	1001.33
6	11.10	11.15	11.21	1.10	1.11	1.06	10.00	10.04	10.15	1006.33
7	11.15	11.16	11.13	1.01	1.00	0.98	10.14	10.16	10.15	1015.00
8	11.41	11.38	11.39	1.52	1.46	1.44	9.89	9.92	9.95	992.00
9	11.60	11.70	11.66	1.31	1.30	1.34	10.29	10.40	10.32	1033.67
10	11.44	11.42	11.42	1.25	1.26	1.22	10.19	10.16	10.20	1018.33
11	11.10	11.16	11.11	1.11	1.13	1.11	9.99	10.03	10.00	1000.67
12	11.00	11.02	11.01	1.07	1.09	1.02	9.93	9.93	9.99	995.00
13	11.66	11.60	11.62	1.54	1.50	1.51	10.12	10.10	10.11	1011.00
14	11.90	11.88	11.88	1.77	1.73	1.77	10.13	10.15	10.11	1013.00

## ANEXO 4

Los datos correspondientes al análisis de Nitrógeno Total de Kjeldahl se muestran en la Tabla 15.

**Tabla 15: Nitrógeno Total [K] para caracterización inicial**

<b>Muestra</b>	<b>V viraje [mL]</b>			<b>% N</b>			<b>N [mg/L]</b>
1	9.4	9.8	9.6	0.9	0.9	0.9	8863.09
2	9.6	9.7	9.7	0.9	0.9	0.9	8924.64
3	9.6	9.6	9.4	0.9	0.9	0.9	8801.54
4	9.4	9.6	9.9	0.9	0.9	0.9	8893.86
5	9.6	9.4	9.6	0.9	0.9	0.9	8801.54
6	9.3	9.7	9.6	0.9	0.9	0.9	8801.54
7	9.5	9.6	9.7	0.9	0.9	0.9	8863.09
8	9.8	9.3	9.7	0.9	0.9	0.9	8863.09
9	9.6	9.4	9.7	0.9	0.9	0.9	8832.31
10	9.6	9.6	9.4	0.9	0.9	0.9	8801.54
11	9.9	9.6	9.5	0.9	0.9	0.9	8924.64
12	9.6	9.6	9.5	0.9	0.9	0.9	8832.31
13	9.7	9.6	9.3	0.9	0.9	0.9	8801.54
14	9.7	9.7	9.6	0.9	0.9	0.9	8924.64

## ANEXO 5

Los resultados para Sólidos Totales se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16: Sólidos Totales para caracterización inicial

Muestra	Masa inicial [g]			Masa final [g]			Masa sólidos promedio [g]	ST [mg/L]
1	2.8	2.6	2.8	0.2	0.2	0.1	0.2	61673.17
2	2.7	2.7	2.6	0.2	0.2	0.1	0.2	63122.50
3	2.8	2.6	2.6	0.2	0.1	0.2	0.2	63530.00
4	2.8	2.7	2.8	0.2	0.2	0.2	0.2	72918.55
5	2.8	2.7	2.8	0.2	0.2	0.1	0.2	60940.56
6	2.8	2.6	2.8	0.2	0.2	0.2	0.2	74449.76
7	2.8	2.8	2.7	0.2	0.2	0.2	0.2	72909.88
8	2.8	2.6	2.6	0.2	0.2	0.1	0.2	62769.17
9	2.8	2.8	2.6	0.2	0.2	0.2	0.2	73433.17
10	2.8	2.7	2.7	0.2	0.2	0.2	0.2	74009.76
11	2.8	2.8	2.6	0.2	0.2	0.2	0.2	74050.73
12	2.8	2.8	2.7	0.2	0.1	0.2	0.2	61137.35
13	2.8	2.8	2.6	0.2	0.2	0.2	0.2	73869.27
14	2.8	2.7	2.7	0.2	0.2	0.1	0.2	61643.90

## ANEXO 6

Los resultados del estudio preliminar para la separación mediante filtrado se presentan en la Tabla 17.

**Tabla 17: Resultados de filtrado en estudio preliminar**

<b>Muestra</b>	<b>pH</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>% promedio</b>
1	6	100	94	6	6.67
2	6	100	93	7	
3	6	100	93	7	
1	5.5	100	90	10	9.33
2	5.5	100	91	9	
3	5.5	100	91	9	
1	5	100	88	12	13.00
2	5	100	86	14	
3	5	100	87	13	
1	4.5	100	84	16	16.67
2	4.5	100	84	16	
3	4.5	100	82	18	
1	4	100	82	18	17.33
2	4	100	82	18	
3	4	100	84	16	

Posteriormente, en la Tabla 18 se presentan los datos pertenecientes al estudio preliminar de separación mediante centrifugado.

Tabla 18: Estudio preliminar de separación por centrifugación

Muestra	pH	V <sub>0</sub> [mL]	V <sub>f</sub> [mL]	% removido	% promedio
1	6	90	69	23.33	22.59
2	6	90	70.5	21.67	
3	6	90	69.5	22.78	
1	5.5	90	66	26.67	27.59
2	5.5	90	64.5	28.33	
3	5.5	90	65	27.78	
1	5	90	63	30.00	29.81
2	5	90	63.5	29.44	
3	5	90	63	30.00	
1	4.5	90	59	34.44	35.37
2	4.5	90	58	35.56	
3	4.5	90	57.5	36.11	
1	4	90	56.5	37.22	36.67
2	4	90	57.5	36.11	
3	4	90	57	36.67	

La Tabla 19 muestra los valores de % de separación usando sedimentación en la prueba preliminar.

Tabla 19: Resultados estudio preliminar para sedimentación

Muestra	pH	V <sub>0</sub> [mL]	V <sub>f</sub> [mL]	% removido	% promedio
1	6	100	71	29	28.67
2	6	100	73	27	
3	6	100	70	30	
1	5.5	100	67	33	32.33
2	5.5	100	68	32	
3	5.5	100	68	32	
1	5	100	65	35	34.67
2	5	100	64	36	
3	5	100	67	33	
1	4.5	100	59	41	40.67
2	4.5	100	58	42	
3	4.5	100	61	39	
1	4	100	58	42	41.67
2	4	100	58	42	
3	4	100	59	41	

## ANEXO 7

Los resultados para las pruebas con ácido sulfúrico con 1 hora de sedimentación se presentan en la Tabla 20.

**Tabla 20: Porcentaje de remoción con ácido sulfúrico durante 1 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	99	1	7.5
2	100	100	0	7.5
3	100	100	0	7.5
1	100	100	0	6.5
2	100	99	1	6.5
3	100	99	1	6.5
1	100	99	1	5.5
2	100	98	2	5.5
3	100	98	2	5.5
1	100	96	4	4.5
2	100	96	4	4.5
3	100	98	2	4.5

Los resultados de sedimentación durante 5 horas se muestran en la Tabla 21.

**Tabla 21: Remoción con sedimentación a 5 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	99	1	7.5
2	100	99	1	7.5
3	100	98	2	7.5
1	100	96	4	6.5
2	100	96	4	6.5
3	100	96	4	6.5
1	100	96	4	5.5
2	100	95	5	5.5
3	100	95	5	5.5
1	100	93	7	4.5
2	100	92	8	4.5
3	100	92	8	4.5

Los resultados de sedimentación durante 12 horas se muestran en la Tabla 22.

**Tabla 22: Porcentaje de remoción de ácido sulfúrico a 12 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	97	3	7.5
2	100	96	4	7.5
3	100	96	4	7.5
1	100	95	5	6.5
2	100	92	8	6.5
3	100	93	7	6.5
1	100	91	9	5.5
2	100	90	10	5.5
3	100	90	10	5.5
1	100	85	15	4.5
2	100	87	13	4.5
3	100	88	12	4.5

Los resultados de sedimentación durante 24 horas se muestran en la Tabla 23.

**Tabla 23: Porcentaje de remoción de ácido sulfúrico a 24 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	88	12	7.5
2	100	87	13	7.5
3	100	85	15	7.5
1	100	82	18	6.5
2	100	82	18	6.5
3	100	80	20	6.5
1	100	75	25	5.5
2	100	76	24	5.5
3	100	77	23	5.5
1	100	72	28	4.5
2	100	73	27	4.5
3	100	72	28	4.5

Los resultados de sedimentación durante 36 horas se muestran en la Tabla 24.

**Tabla 24: Porcentaje de remoción de ácido sulfúrico a 36 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	82	18	7.5
2	100	81	19	7.5
3	100	82	18	7.5
1	100	77	23	6.5
2	100	76	24	6.5
3	100	75	25	6.5
1	100	71	29	5.5
2	100	71	29	5.5
3	100	70	30	5.5
1	100	67	33	4.5
2	100	66	34	4.5
3	100	65	35	4.5

Los resultados de sedimentación durante 48 horas se muestran en la Tabla 25.

**Tabla 25: Porcentaje de remoción de ácido sulfúrico a 48 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	77	23	7.5
2	100	76	24	7.5
3	100	77	23	7.5
1	100	75	25	6.5
2	100	75	25	6.5
3	100	73	27	6.5
1	100	67	33	5.5
2	100	68	32	5.5
3	100	68	32	5.5
1	100	59	41	4.5
2	100	58	42	4.5
3	100	61	39	4.5

Los resultados de sedimentación durante 60 horas se muestran en la Tabla 26.

**Tabla 26: Porcentaje de remoción de ácido sulfúrico a 60 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	76	24	7.5
2	100	75	25	7.5
3	100	75	25	7.5
1	100	74	26	6.5
2	100	74	26	6.5
3	100	74	26	6.5
1	100	66	34	5.5
2	100	66	34	5.5
3	100	67	33	5.5
1	100	58	42	4.5
2	100	57	43	4.5
3	100	58	42	4.5

## ANEXO 8

Los resultados para las pruebas con ácido clorhídrico con 1 hora de sedimentación se presentan en la Tabla 27.

**Tabla 27: Porcentaje de remoción con ácido clorhídrico durante 1 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	100	0	7.5
2	100	100	0	7.5
3	100	100	0	7.5
1	100	100	0	6.5
2	100	100	0	6.5
3	100	99	1	6.5
1	100	99	1	5.5
2	100	99	1	5.5
3	100	98	2	5.5
1	100	99	1	4.5
2	100	98	2	4.5
3	100	97	3	4.5

Los resultados de sedimentación durante 5 horas se muestran en la Tabla 28.

**Tabla 28: Remoción con sedimentación a 5 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	100	0	7.5
2	100	99	1	7.5
3	100	99	1	7.5
1	100	99	1	6.5
2	100	98	2	6.5
3	100	98	2	6.5
1	100	98	2	5.5
2	100	98	2	5.5
3	100	97	3	5.5
1	100	96	4	4.5
2	100	96	4	4.5
3	100	98	2	4.5

Los resultados de sedimentación durante 12 horas se muestran en la Tabla 29.

**Tabla 29: Porcentaje de remoción de ácido clorhídrico a 12 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	98	2	7.5
2	100	98	2	7.5
3	100	97	3	7.5
1	100	97	3	6.5
2	100	96	4	6.5
3	100	96	4	6.5
1	100	94	6	5.5
2	100	93	7	5.5
3	100	94	6	5.5
1	100	91	9	4.5
2	100	91	9	4.5
3	100	92	8	4.5

Los resultados de sedimentación durante 24 horas se muestran en la Tabla 30.

**Tabla 30: Porcentaje de remoción de ácido clorhídrico a 24 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	97	3	7.5
2	100	97	3	7.5
3	100	97	3	7.5
1	100	95	5	6.5
2	100	94	6	6.5
3	100	94	6	6.5
1	100	92	8	5.5
2	100	91	9	5.5
3	100	92	8	5.5
1	100	89	11	4.5
2	100	90	10	4.5
3	100	88	12	4.5

Los resultados de sedimentación durante 36 horas se muestran en la Tabla 31.

**Tabla 31: Porcentaje de remoción de ácido clorhídrico a 36 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	95	5	7.5
2	100	96	4	7.5
3	100	95	5	7.5
1	100	91	9	6.5
2	100	90	10	6.5
3	100	92	8	6.5
1	100	90	10	5.5
2	100	89	11	5.5
3	100	89	11	5.5
1	100	85	15	4.5
2	100	86	14	4.5
3	100	85	15	4.5

Los resultados de sedimentación durante 48 horas se muestran en la Tabla 32.

**Tabla 32: Porcentaje de remoción de ácido clorhídrico a 48 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	93	7	7.5
2	100	90	10	7.5
3	100	90	10	7.5
1	100	86	14	6.5
2	100	88	12	6.5
3	100	86	14	6.5
1	100	84	16	5.5
2	100	84	16	5.5
3	100	84	16	5.5
1	100	80	20	4.5
2	100	82	18	4.5
3	100	80	20	4.5

Los resultados de sedimentación durante 60 horas se muestran en la Tabla 33.

**Tabla 33: Porcentaje de remoción de ácido clorhídrico a 60 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	91	9	7.5
2	100	91	9	7.5
3	100	90	10	7.5
1	100	86	14	6.5
2	100	86	14	6.5
3	100	86	14	6.5
1	100	83	17	5.5
2	100	84	16	5.5
3	100	83	17	5.5
1	100	78	22	4.5
2	100	80	20	4.5
3	100	80	20	4.5

## ANEXO 9

Los resultados para las pruebas con ácido acético con 1 hora de sedimentación se presentan en la Tabla 34.

**Tabla 34: Porcentaje de remoción con ácido acético durante 1 h**

Muestra	V <sub>0</sub> [mL]	V <sub>f</sub> [mL]	% removido	pH
1	100	98	2	7.5
2	100	98	2	7.5
3	100	98	2	7.5
1	100	98	2	6.5
2	100	97	3	6.5
3	100	98	2	6.5
1	100	96	4	5.5
2	100	95	5	5.5
3	100	95	5	5.5
1	100	93	7	4.5
2	100	93	7	4.5
3	100	95	5	4.5

Los resultados de sedimentación durante 5 horas se muestran en la Tabla 35.

**Tabla 35: Remoción con sedimentación a 5 h**

Muestra	V <sub>0</sub> [mL]	V <sub>f</sub> [mL]	% removido	pH
1	100	97	3	7.5
2	100	97	3	7.5
3	100	97	3	7.5
1	100	97	3	6.5
2	100	97	3	6.5
3	100	97	3	6.5
1	100	96	4	5.5
2	100	96	4	5.5
3	100	96	4	5.5
1	100	96	4	4.5
2	100	96	4	4.5
3	100	95	5	4.5

Los resultados de sedimentación durante 12 horas se muestran en la Tabla 36.

**Tabla 36: Porcentaje de remoción de ácido acético a 12 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	95	5	7.5
2	100	94	6	7.5
3	100	95	5	7.5
1	100	93	7	6.5
2	100	93	7	6.5
3	100	92	8	6.5
1	100	90	10	5.5
2	100	91	9	5.5
3	100	89	11	5.5
1	100	89	11	4.5
2	100	89	11	4.5
3	100	88	12	4.5

Los resultados de sedimentación durante 24 horas se muestran en la Tabla 37.

**Tabla 37: Porcentaje de remoción de ácido acético a 24 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	96	4	7.5
2	100	96	4	7.5
3	100	96	4	7.5
1	100	95	5	6.5
2	100	94	6	6.5
3	100	94	6	6.5
1	100	91	9	5.5
2	100	91	9	5.5
3	100	92	8	5.5
1	100	89	11	4.5
2	100	89	11	4.5
3	100	88	12	4.5

Los resultados de sedimentación durante 36 horas se muestran en la Tabla 38.

**Tabla 38: Porcentaje de remoción de ácido acético a 36 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	94	6	7.5
2	100	95	5	7.5
3	100	94	6	7.5
1	100	89	11	6.5
2	100	90	10	6.5
3	100	90	10	6.5
1	100	89	11	5.5
2	100	88	12	5.5
3	100	87	13	5.5
1	100	85	15	4.5
2	100	83	17	4.5
3	100	84	16	4.5

Los resultados de sedimentación durante 48 horas se muestran en la Tabla 39.

**Tabla 39: Porcentaje de remoción de ácido acético a 48 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	92	8	7.5
2	100	89	11	7.5
3	100	89	11	7.5
1	100	84	16	6.5
2	100	80	20	6.5
3	100	83	17	6.5
1	100	81	19	5.5
2	100	79	21	5.5
3	100	78	22	5.5
1	100	76	24	4.5
2	100	77	23	4.5
3	100	76	24	4.5

Los resultados de sedimentación durante 60 horas se muestran en la Tabla 40.

**Tabla 40: Porcentaje de remoción de ácido acético a 60 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>
1	100	91	9	7.5
2	100	90	10	7.5
3	100	90	10	7.5
1	100	84	16	6.5
2	100	79	21	6.5
3	100	83	17	6.5
1	100	78	22	5.5
2	100	79	21	5.5
3	100	78	22	5.5
1	100	75	25	4.5
2	100	77	23	4.5
3	100	75	25	4.5

## ANEXO 10

Los datos correspondientes a la caracterización del tratamiento con ácido sulfúrico a 48 horas de sedimentación se presentan en la Tabla 41.

**Tabla 41: Resultados de caracterización con ácido sulfúrico a 48 h de sedimentación**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>	<b>DBO [mg/L]</b>	<b>DQO [mg/L]</b>	<b>N [K] [mg/L]</b>	<b>ST [mg/L]</b>
1	100	77	23	7.5	95.64	1752.05	1040.93	4405.85
2	100	76	24	7.5	92.99	1711.03	1051.90	4409.67
3	100	77	23	7.5	96.01	1768.79	1074.89	4491.30
1	100	75	25	6.5	93.44	1515.61	900.46	3811.29
2	100	75	25	6.5	91.89	1441.47	886.18	3714.97
3	100	73	27	6.5	94.14	1562.54	949.55	3967.58
1	100	67	33	5.5	85.11	1281.92	761.61	3223.62
2	100	68	32	5.5	88.29	1225.74	753.56	3158.99
3	100	68	32	5.5	87.33	1310.85	796.60	3328.51
1	100	59	41	4.5	76.45	1108.92	672.21	2845.21
2	100	58	42	4.5	70.12	1091.49	671.02	2812.99
3	100	61	39	4.5	71.98	1099.71	668.29	2792.37

Los valores correspondientes a la caracterización del tratamiento con ácido sulfúrico a 60 horas de sedimentación se presentan en la Tabla 42.

**Tabla 42: Resultados de caracterización de sedimentación con ácido sulfúrico a 60 h**

<b>Muestra</b>	<b>V<sub>0</sub> [mL]</b>	<b>V<sub>f</sub> [mL]</b>	<b>% removido</b>	<b>pH</b>	<b>DBO [mg/L]</b>	<b>DQO [mg/L]</b>	<b>N [K] [mg/L]</b>	<b>ST [mg/L]</b>
1	100	76	24	7.5	92.03	1565.95	1025.78	4092.91
2	100	75	25	7.5	91.51	1566.54	1043.90	3904.84
3	100	75	25	7.5	94.12	1614.74	1076.16	4182.59
1	100	74	26	6.5	90.19	1354.63	887.36	3540.58
2	100	74	26	6.5	91.02	1319.75	879.45	3289.67
3	100	74	26	6.5	88.83	1426.45	950.67	3694.87
1	100	66	34	5.5	83.94	1145.76	750.53	2994.65
2	100	66	34	5.5	84.55	1122.24	747.83	2797.34
3	100	67	33	5.5	86.43	1196.68	797.54	3099.72
1	100	58	42	4.5	72.34	1009.54	662.43	2643.12
2	100	57	43	4.5	71.22	999.32	665.92	2490.95
3	100	58	42	4.5	69.83	1003.93	669.08	2600.44

## ANEXO 11

Los aspectos más importantes de la bomba centrífuga que se planea adquirir para la planta de tratamiento se pueden encontrar en el catálogo de AL-RED en la Figura 22.

### AL-RED

*Electrobombas centrífugas en acero inox*





**CAMPO DE PRESTACIONES**

- Caudal máximo **180 l/min** (10.8 m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica hasta **32 m**

**LIMITES DE UTILIZO**

- Altura de aspiración manométrica hasta **7 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C** hasta **+90 °C**
- Temperatura ambiente de **-10 °C** hasta **+40 °C**
- Presión máx. en el cuerpo de la bomba **4 bar**
- Funcionamiento continuo **S1**

**EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD**

EN 60034-1  
IEC 60034-1  
CEI 2-3

CE

**CERTIFICACIONES**




**UTILIZOS E INSTALACIONES**

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.

Por sus características constructivas son aconsejadas para su utilización en el sector doméstico, agrícola e industrial. Todos los componentes en contacto con el líquido bombeado son en acero inoxidable AISI 304 como garantía de higiene total y de máxima resistencia a la corrosión.

La instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

**EJECUCION BAJO PEDIDO**

- Cuerpo bomba con bocas roscadas NPT ANSI B 1.20.1
- Sello mecánico especial
- Eje motor en acero inoxidable EN 10088-3 - 1.4401 (AISI 316)
- Otros voltajes

**GARANTIA**

2 años según nuestras condiciones generales de venta

Figura 22: Catálogo de bomba centrífuga.

La hoja de especificaciones del agitador que se usará en la planta se puede encontrar en la Figura 23.

## Series JG Gear Drive Mixer, Clamp or Cup Plate Mount Heavy Helical Gear, 350 rpm, Grease Lube

Neptune's most powerful mixers for the most difficult mixing applications. Grease filled gearbox eliminates oil seal and the possibility of oil contamination of process.

### Features

- No clutches to slip, wear or replace.
- 316SS propellers and shafts are standard. Optional coatings such as rubber, PVC or Teflon® also available.
- Square pitch 1.0 ratio marine propellers are used exclusively. Flow coefficients and power consumption characteristics equal those of the best hydrofoil impeller designs.
- Vibration-absorbing pad standard.
- Motors are available in TEFC or explosion-proof enclosures (1750 rpm, 56C frame). Air motors also available.
- Gears run in grease lubrication. Cannot leak oil.
- All JG mixer shaft bearings are permanently lubricated.
- Cast aluminum housing.
- Mounting clamp has adjustable angle of entry by indexed ball-and-socket design to achieve various process results.
- Fixed cup plate mount optional on 1/3 HP through 1½ HP. Standard on 2 HP and larger models.

Model Number	Standard Motor Description	A Shaft Length	B	C		D Shaft Diameter
				Single	Dual	
<b>Totally-enclosed fan-cooled (TEFC)</b>						
JG-2.0	1/3 HP-1-115/230	48"	17 3/8"	10"	8"	3/8"
JG-2.1	1/3 HP-3-230/460	48"	17 3/8"	10"	8"	3/8"
JG-3.0	1/2 HP-1-115/230	48"	18 1/8"	12"	10"	3/8"
JG-3.1	1/2 HP-3-230/460	48"	17 3/8"	12"	10"	3/8"
JG-4.0	3/4 HP-1-115/230	60"	18 3/8"	13"	11"	3/8"
JG-4.1	3/4 HP-3-230/460	60"	18 3/8"	13"	11"	3/8"
JG-5.1	1 HP-3-230/460	60"	18 3/8"	14"	12"	1"
JG-6.1	1 1/2 HP-3-230/460	60"	18 3/8"	15"	13"	1"
JG-7.1	2 HP-3-230/460	60"	20 3/8"	16"	14"	1 1/2"
JG-8.1	3 HP-3-230/460	72"	21 3/8"	16"	15"	1 1/2"
<b>Explosion-proof class 1 group D (EP)</b>						
JG-2.2	1/3 HP-1-115/230	48"	20 1/8"	10"	8"	3/8"
JG-2.3	1/3 HP-3-230/460	48"	17 3/8"	10"	8"	3/8"
JG-3.2	1/2 HP-1-115/230	48"	21"	12"	10"	3/8"
JG-3.3	1/2 HP-3-230/460	48"	19 3/8"	12"	10"	3/8"
JG-4.2	3/4 HP-1-115/230	60"	21 3/8"	13"	11"	3/8"
JG-4.3	3/4 HP-3-230/460	60"	19 3/8"	13"	11"	3/8"
JG-5.3	1 HP-3-230/460	60"	20 1/8"	14"	12"	1"
JG-6.3	1 1/2 HP-3-230/460	60"	20 1/8"	15"	13"	1"
JG-7.3	2 HP-3-230/460	60"	22 1/8"	16"	14"	1 1/2"
<b>Air motor</b>						
JG-3.4	1/3-1/2 HP AIR 12-20CFM at 40-80PSI	48"	17 3/8"	12"	10"	3/8"
JG-4.4	3/4 HP AIR 30CFM at 60PSI	60"	18"	13"	11"	3/8"
JG-5.4	1 HP AIR 40CFM at 40PSI	60"	19 3/8"	14"	12"	1"
JG-6.4	1 1/2 HP AIR 55CFM at 60PSI	60"	19 3/8"	15"	13"	1"
JG-7.4	2 HP AIR 65CFM at 70PSI	60"	15 3/8"	16"	14"	1 1/2"
JG-8.4	4 HP AIR 125CFM at 90PSI	72"	16 3/8"	16"	15"	1 1/2"
<b>Variable speed 35 to 350 RPM totally-enclosed fan-cooled (TEFC)*</b>						
JG-2.7	1/3 HP Variable Speed, 1/115 V	48"	17 3/8"	10"	8"	3/8"
JG-3.7	1/2 HP Variable Speed, 1/115 V	48"	18 1/8"	12"	10"	3/8"
JG-4.7	3/4 HP Variable Speed, 1/230 V	60"	18 3/8"	13"	11"	3/8"
JG-5.7	1 HP Variable Speed, 1/230 V	60"	18 3/8"	14"	12"	1"

\*Using AC motor/control package.

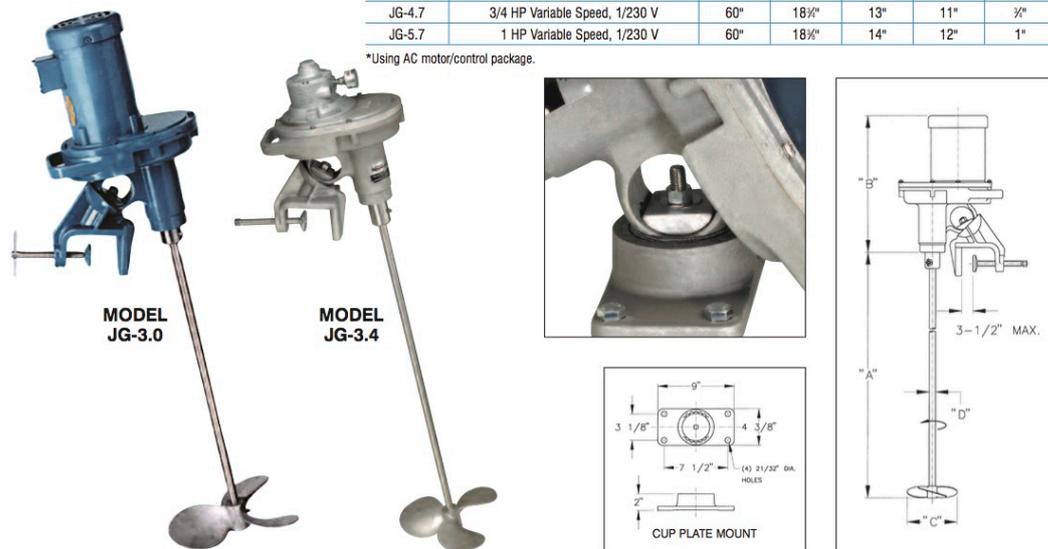


Figura 23: Características de agitador para tanques.

Los tanques de 2.5 m<sup>3</sup> son de marca Rotoplas. La Figura 24 muestra las dimensiones y demás características de los recipientes.



VER MANUAL DE USUARIO

## Tanque De Almacenamiento De Agua | Tipo Botella Arena

### DESCRIPCIÓN GENERAL

Los tanques de agua Rotoplas® son fabricados con un alto estándar de calidad y tecnología los cuales aseguran mantener el agua limpia dentro del tanque, haciéndolo el sistema de almacenamiento de agua más confiable. Su sistema Tricapa™ único en el mercado, compuesto por una capa externa de polietileno de alta resistencia, una capa intermedia RotoEspumosa y una capa interna AB AntiBacteriana. Estas capas protegen al agua de los rayos UV y otros factores causantes de la contaminación del contenido de los tanques comunes.

Capacidad	2500 Litros
Tipo de Tanque	Botella
Color	ARENA
Tipo de Líquidos	AGUA
Vida útil	45 AÑOS
Capacidad en Personas	10 personas
Diámetro del tanque	1.55 m
Altura del Tanque	1.60 m

**Aplicaciones:**



Para almacenamiento de agua



Tanque Elevado



Abastecimiento de agua en casas



**INSTALACIÓN:**



Figura 24: Ficha técnica de tanques para planta de tratamiento.

Finalmente, la Figura 25 muestra la cotización de los equipos en la empresa La Llave (Quito) obtenida el día 6 de abril de 2017.

COD		CANT	UNI	DESCRIPCIÓN	MARCA	PRECIO UNITARIO	%DES	SUBTOTAL
5313165		1	UN	PED BOMB AL-REDm 1HP 110V 135M  DISPONIBLE 1 UNIDAD EN LA CIUDAD DE QUITO Y 1 UNIDAD EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL  <b>Tiempo de Entrega:</b>		420,70	25,00	315,53
L-2-300		1	UN	AGITADOR 155 RPM 316SS 1/2 HP, 1 Ph PARA TANQUE ET-P  DISPONIBLE 1 UNIDAD EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL  <b>Tiempo de Entrega:</b>		405,66	10,00	365,09
							TOTAL BRUTO	826,36
							DESCUENTO	145,74
							SUBTOTAL	680,62
							IVA 14.00%	95,29
							TOTAL	775,91

SR. THOMAS [REDACTED]	TOTAL BRUTO	826,36
	DESCUENTO	145,74
	SUBTOTAL	680,62
	IVA 14.00%	95,29
	TOTAL	775,91

FORMA DE PAGO: Contado	EMITIR ORDEN DE COMPRA O CHEQUE A NOMBRE DE: LA LLAVE S.A. DE COMERCIO
<b>TÉRMINOS Y CONDICIONES ADICIONALES</b>  Los productos de IMPORTACION indicados en esta cotización requieren un anticipo del 30.00%. En caso de cancelación de la Orden de compra, LA LLAVE S.A. DE COMERCIO se quedará con el valor del anticipo, por gastos operativos y penalidades del fabricante.  <b>NOTA:</b> El mal dimensionamiento de cualquier equipo es de entera responsabilidad del cliente, por lo que se debe proporcionar la información necesaria según cada tipo de producto.	Atentamente,  [REDACTED]

Figura 25: Cotización de equipos para planta de tratamiento de agua residual.