



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ CHIAPAS**

**INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIORREACTOR PARA EL  
TRATAMIENTO DE LIXIVIADO UTILIZANDO MATERIAL  
ESTABILIZADO DE BERRIOZÁBAL CHIAPAS.**

**Presenta:**

**LUIS ARMANDO PEREZ GOMEZ**

**PERIODO DE REALIZACION:**

**ENERO – JUNIO 2019**

**ASESOR INTERNO:**

**DR. JOSE HUMBERTO CASTAÑÓN GONZALEZ**

**TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS. JUNIO DEL 2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco principalmente mi tutor José Humberto Castañón gracias por su paciencia y dedicación y su tiempo. Que me han ayudado a facilitar muchas cosas por su organización del presente trabajo asido un honor contar con su ayuda si bien a requerido mucho esfuerzo no su hubiera podido llevar a cabo este proyecto sin su cooperación.

Mas que nada Este proyecto va dedicado especialmente alas persona que me apoyaron y me brindaron su conocimiento y motivación para finalizar con éxito.

Agradezco a mi familia por darme la oportunidad de darme un estudio de que nunca me dejaron abandonado por la forma de enseñarme de cómo salir adelante a pesar de que la vida puede ser muy difícil y en ocasiones injusta a mi madre que siempre lo tuve estuvo conmigo y nunca me ha dejado solo. siempre trabajando duro para que yo pueda salir adelante y a su consejo que siempre me a servido de ayuda en esta vida al igual agradezco a las personas que me rodean por darme buenos consejos que he tomado en cuenta.

Agradezco ala ing. Teresa Sánchez por aportarme un buen de sus conocimientos y por asesorarme por algunas cosas que me en ocasiones los necesitaba y por que siempre fue muy comprensiva, amable, por sus recomendaciones que me han ayudado mucho

Agradezco a todos mis profesores por brindarme mucho de su conocimiento durante toda la carrera y por ser muy amables y avances estrictos durante todo este periodo

## Resumen

Los lixiviados son líquidos que se genera en los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos, al no ser tratados pueden representar un riesgo para el medio ambiente principalmente las aguas subterráneas y los suelos.

Este estudio tiene como objetivo el tratamiento de los lixiviados que se llevó a cabo a través de biorreactores. En este reporte se menciona el proceso de construcción de los biorreactores, especificando las dimensiones y el material de empaque que fue utilizado, así mismo se hace mención del muestreo y de la caracterización del lixiviado recolectado en un relleno sanitario

El rendimiento de los biorreactores se evaluó con la remoción de parámetros que determinan en gran medida el grado de contaminación de los lixiviados, en este caso se monitorearon durante dos meses y medio los parámetros de DQO, DBO5 y Color. Durante el tiempo de evaluación los biorreactores se alimentaron con dos cargas hidráulicas ( $40 \text{ l/m}^3\text{d}$  y  $25 \text{ l/m}^3\text{d}$ ), con la finalidad de conocer la capacidad del material de empaque utilizado

## Contenido

<b>1. Introducción</b> .....	1
<b>2. DESCRIPCION DE LA EMPRESA</b> .....	2
<b>2.1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA</b> .....	2
<b>2.2 Misión</b> .....	2
<b>2.3 Visión</b> .....	2
<b>2.4 Valores de la institución</b> .....	2
<b>2.5 UBICACIÓN DE LA INSTITUCIÓN</b> .....	2
3. Problema a resolver .....	4
4. Objetivos: .....	5
Objetivo general .....	5
Objetivos específicos: .....	5
5. Justificación.....	6
<b>6. Marco teórico</b> .....	7
6.1. Relleno sanitario .....	7
6.1.2 Residuos solidos.....	8
6.1.3 DESCOMPOCISION DE LOS RESIDUOS ORGANICOS: .....	8
6.2 Sitios de disposición final de residuos urbanos.....	9
<b>6.3 Lixiviado</b> .....	9
<b>6.3.1 Origen de los lixiviados</b> .....	9
<b>6.3.2 Calidad de los lixiviados</b> .....	10
<b>6.3.3 Composición y características de lixiviado</b> .....	10
<b>6.3.4 Clasificación de los lixiviados</b> .....	10
<b>6.3.6 Tratamiento de lixiviados</b> .....	12
<b>6.4 Tipos de tratamiento de lixiviado</b> .....	12
<b>6.4.1 Procesos biológicos:</b> .....	12
<b>6.4.1.1 proceso aerobio:</b> .....	13
<b>6.4.2.1 proceso anaerobio:</b> .....	13
<b>6.4.2.1 Reactores de membrana</b> .....	14
<b>6.4.2.1.1 Osmosis inversa.</b> .....	14
<b>6.4.3 TRATAMIENTOS FÍSICO-QUÍMICOS</b> .....	14
<b>6.4.3.1 Precipitación Química</b> .....	14
<b>6.5 producción de biogás</b> .....	15

<b>7. Metodología</b> .....	16
<b>7.1 Construcción de biorreactores</b> .....	16
<b>7.2 Recolección de muestra:</b> .....	17
<b>7.3 Recolección de los lixiviados y sus caracterizaciones</b> .....	18
<b>7.7 Determinación de alcalinidad</b> .....	19
<b>7.3.1 Determinación de análisis de la DQO.</b> ....	20
7.3.2 DETERMINACION DE LA DBO (Demanda bioquímica del oxígeno) ....	20
<b>7.4 Alimentación y monitoreo del biorreactor</b> .....	21
<b>7.5 Determinación de color.</b> .....	22
<b>7.6 DETERMINACION DE pH</b> .....	23
<b>8. Resultados</b> .....	24
<b>8.1 Alcalinidad el influente</b> .....	24
<b>8.2 Demanda química de oxígeno</b> .....	25
<b>8.3 Cinética de DQO (mg/L)</b> .....	27
<b>8.4 Cinética de DBO5</b> .....	30
<b>8.5 Cinética de PH</b> .....	31
<b>8.6 Cinética de color (unidades Pt/Co)</b> .....	32
<b>9 Conclusiones:</b> .....	34
<b>10 Referencias</b> .....	35

## 1. Introducción

Los rellenos sanitarios son uno de los métodos más utilizados para la disposición final de residuos sólidos en el mundo ya que han mostrado ser la forma más barata, en términos de aprovechamiento y costo para la disposición final de los residuos. Los rellenos sanitarios liberan una amplia gama de compuestos debidos a la degradación de los residuos en todo su ciclo de vida.

Los lixiviados se generan debido a la descomposición de los residuos depositados en el relleno sanitario, junto con el agua de lluvia o la de escorrentía superficial. Esta agua se filtra en el interior del relleno, diluyendo y arrastrando a su paso numerosos componentes, como compuestos volátiles y orgánicos, compuestos de nitrógeno, metales pesados y cualquier otro componente que pueda contener el residuo o la tierra donde se emplaza el vertedero (Stegmann *et al.* 2005).

El lixiviado generado en un relleno sanitario es producto de múltiples factores, tales como: composición de la basura, edad del relleno, balance de agua, diseño y operación del relleno sanitario, solubilidad de los desechos, procesos de conversión microbológica, química y la interacción del lixiviado con el medio ambiente (Ramos *et al.* 1997). El lixiviado por ser altamente contaminante debe ser eliminado debido a su toxicidad o desfavorable efecto sobre el medio ambiente. En consecuencia, el tratamiento de lixiviados es una de las tareas más importantes en la gestión de residuos con finamiento. Estos lixiviados presentan altas cargas de carbono orgánico total (COT) y demanda química de oxígeno (DQO), por lo que contienen cantidades considerables de materia y compuestos orgánicos, sustancias inorgánicas como metales pesados, gran variabilidad de pH, alto contenido de sólidos totales y disueltos, presencia de nitrógeno como N-NH<sub>3</sub>, alta concentración de cloruros, etc. Dicha composición depende de la naturaleza de los desechos (pH, edad, temperatura, tipo de material de cubierta) y de la fase de estabilización en que se encuentren (Mendez *et al.* 2018). la concentración de contaminantes de los lixiviados varía con el tiempo, por lo que difícilmente puede emplearse con éxito un único tratamiento a estos líquidos. De manera general, se puede decir que lixiviados de rellenos jóvenes poseen elevadas concentraciones de materia orgánica e índices de biodegradabilidad (DBO<sub>5</sub>/DQO) superiores a 0.4, lo que hace posible que sean tratados eficientemente por procesos biológicos; pero en lixiviados de rellenos viejos, con índices de biodegradabilidad inferiores a 0.02, estos tratamientos no son eficientes. Mientras la edad del relleno sanitario aumenta, la fracción orgánica biodegradable en el lixiviado disminuye, lo que resulta en una relación DBO<sub>5</sub>/DQO muy baja debido a que los ácidos grasos y otras sustancias fácilmente biodegradables han sido convertidos en metano dentro del relleno (Warith *et al.* 1998).

## **2. DESCRIPCION DE LA EMPRESA**

### **2.1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez fue fundado el 22 de octubre de 1972, por el entonces Gobernador del Estado, Dr. Manuel Velasco Suárez, inicialmente con el nombre de Instituto Tecnológico Regional de Tuxtla Gutiérrez (ITRTG), posteriormente se llamaría el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG).

A partir de 2000 se abrió también la Especialización en Biotecnología Vegetal y un año después dio inicio el programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica y la Licenciatura en Informática.

### **2.2 Misión**

Formar de manera integral profesionistas de excelencia en el campo de la ciencia y la tecnología con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

### **2.3 Visión**

Ser una Institución de Excelencia en la Educación Superior Tecnológica del Sureste, comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.

### **2.4 Valores de la institución**

El Ser Humano

El Espíritu de Servicio

El Liderazgo

El Trabajo en Equipo

La Calidad

El Alto Desempeño

Respeto al Medio Ambiente

### **2.5 UBICACIÓN DE LA INSTITUCIÓN**

El instituto de Tuxtla Gutiérrez se encuentra KM 29020, Carr. Panamericana 1080, Bulevares, 29050 Tuxtla Gutiérrez, Chis tal como se muestra en la figura 1



Figura 1 Localización del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG)

### 3. Problema a resolver

Uno de los mayores problemas en un tiradero de residuos sólidos es la producción de un líquido altamente contaminante en el cual se denomina lixiviado su aspecto es oscuro de olor fuerte y penetrable debido al resultado de la degradación de los residuos. cuando la lluvia entra en contacto con la con estos residuos el agua de lluvia es filtrada y puede penetrar los suelos una vez filtrada son capaces de contaminar las aguas subterráneas y las aguas superficiales. Los principales contaminantes que caracterizan los lixiviados son su elevada de carga de materia orgánica los metales pesados, nitrógeno amoniacal, sales orgánicas y contiene una elevada toxicidad.

#### 4. Objetivos:

##### Objetivo general

Diseñar un biorreactor para el tratamiento de lixiviados provenientes del relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez.

##### Objetivos específicos:

- Construir biorreactores a escala laboratorio con dos tipos de materiales estabilizado para el tratamiento de los lixiviados.
- Caracterizar el lixiviado con los parámetros de alcalinidad, color, DBO<sub>5</sub>, DQO y pH.
- Monitorear el porcentaje de remoción de materia orgánica en los lixiviados a diferentes cargas hidráulicas con los parámetros DQO, DBO<sub>5</sub> y color.
- Caracterizar el efluente con los siguientes parámetros alcalinidad, color, DBO<sub>5</sub>, DQO y pH.

## 5. Justificación

Los residuos sólidos una vez enterrado es necesario minimizar los impactos. Ya que el agua que ha entrado en contacto con la basura recoge gran cantidad de las sustancias que originalmente estaban dentro del residuo, quedando de esa manera altamente contaminada. Esta agua se denomina lixiviado, y es uno de los líquidos más contaminados y contaminantes que se conocen. De no recogerse adecuadamente y luego tratarse, el lixiviado puede contaminar aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos. Por esta razón, para evitar que esto ocurra, los rellenos sanitarios se impermeabilizan, se drenan apropiadamente y los lixiviados recogidos por estos drenes, se deben tratar. La constitución y la gestión de vertederos pueden ser lo suficientemente desarrollados para garantizar que volúmenes generados de lixiviados puedan ser manejados y dispuestos en una forma de proteger la salud pública y minimizar los impactos adversos sobre el medio ambiente. En la actualidad existen métodos para el tratamiento de lixiviado que brindan una óptima remoción de sus contaminantes, sin embargo, es necesario conocer la calidad de los lixiviados para determinar el tipo de tratamiento.

## 6. Marco teórico

### 6.1. Relleno sanitario

Varios estudios comparativos de las diferentes formas de eliminar los residuos sólidos urbanos han mostrado que la forma más barata, en términos de aprovechamiento y costo capital, es el relleno sanitario. Además de sus ventajas económicas, un relleno sanitario minimiza el daño ambiental y otras inconveniencias, y permite a los residuos descomponerse en condiciones controladas hasta su eventual transformación a un material relativamente inerte y estable (Renou *et al.*, 2008).

En México las prácticas más comunes para disponer los residuos sólidos urbanos o municipales en el suelo son: Tiradero a Cielo Abierto (TCA), Relleno Controlado (RC) y Relleno Sanitario RS.

Un TCA consiste en verter los residuos directamente al suelo en forma diaria sin cubrirlos con tierra. Esta práctica no es adecuada debido a los problemas sanitarios y ambientales que provoca, pero es la más utilizada en el país debido a que es la más económica y fácil de operar para los municipios, la mayoría de los TCA son clandestinos ocupan cañadas, caminos, lotes baldíos y cuerpos de agua, pueden ser familiares o municipales. Por su diversidad e irregulares no se tiene un registro de la mayor parte de dichos sitios.

Un RC es un sitio inadecuado de disposición final que cumple con las especificaciones de un relleno sanitario en cuanto a obras de infraestructura y operación, no obstante, no cumple con las especificaciones de impermeabilización ni con las condiciones y requerimientos técnicos conforme las disposiciones legales y sanitarias vigentes estipuladas en la NOM-083-SEMARNAT-2003. La INEGI, reporta 23 de este tipo hasta el 2006, no se tiene ningún dato más reciente (INEGI 2010).

Mientras que un RS es una obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los RSU y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura adicional, los impactos ambientales un relleno de este tipo debe de cumplir cabalmente con la normatividad mencionada anteriormente. La INEGI, reporta 104 hasta el 2006. (INEGI 2010).

### 6.1.2 Residuos solidos

La generación y gestión de los residuos constituye un problema ambiental grave en la sociedad actual debido principalmente al incremento en la generación de residuos en los últimos tiempos, agravado por la creciente actividad económica. Se entiende por residuos urbanos “los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza. La generación de residuos plantea un problema de gestión ya que no está clara la mejor estrategia a seguir a pesar de que se disponen de técnicas y planes para su eliminación o tratamiento, se sigue produciendo mucho más de los que las plantas y centros de tratamiento son capaces de tratar. Los problemas originados por una gestión incorrecta de los residuos urbanos se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- Problemas higiénico-sanitarios: La acumulación de materiales y sustancias en lugares inadecuados y sin las debidas garantías convierte estos puntos en focos de infección, en los que se desarrollan roedores e insectos, produciendo malos olores y riesgos de contaminación bacteriana como consecuencia de la descomposición de los desechos orgánicos, lo que puede suponer grandes riesgos para la salud pública.
- Problemas económicos-financieros: la recogida, el transporte, la gestión y el tratamiento de los vertidos exige inversiones en plantas y equipos, a los que se deben añadir los costes de inversiones asociadas a la descontaminación y restauración del medio ambiente.
- Problemas sociales: La generación de residuos tienen consecuencias sociales importantes, no sólo por calidad de vida o posibles efectos sobre la salud, sino porque nadie quiere un centro tratamiento de residuos cerca de sus hogares.
- Problemas medioambientales: Los vertidos provocan la contaminación del medio receptor, bien directamente por contacto con sustancias potencialmente tóxicas, o bien indirectamente a través de la disolución de dichas sustancias en el agua de lluvia, produciendo los lixiviados. (Zamorano, 2007)

### 6.1.3 DESCOMPOSICION DE LOS RESIDUOS ORGANICOS:

En el proceso de descomposición de los residuos, existen multitud de variables que lo condicionan, como las características intrínsecas del propio residuo (densidad, composición, etc.), su grado de humedad, temperatura, pH, disponibilidad de nutrientes, microorganismos existentes, etc. También hay factores inhibidores como

el oxígeno, metales, sulfatos, etc. En definitiva, para poder estudiar la degradación de los residuos en los rellenos sanitarios es necesario conocer la naturaleza de los mismos, los materiales que lo componen, su composición química y su estructura (Lobo 2003). Una vez depositados los residuos en el relleno, empiezan a descomponerse, como consecuencia de los factores anteriormente expuestos, produciendo lixiviados y biogás y estabilizándose el depósito. Dentro del relleno sanitario se producen pérdidas de masa y variaciones en sus características, tanto por la descomposición de los residuos como por esfuerzos mecánicos, dando lugar a asentamientos que pueden prolongarse por muchos años (Espinace *et al.* 1997).

## **6.2 Sitios de disposición final de residuos urbanos**

El sitio de disposición final de los residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios o en tiraderos a cielo abierto da lugar a la generación de diferentes productos contaminantes, derivados de los procesos de descomposición microbiana y liberación de componentes contaminantes de los residuos. La contaminación puede presentarse en forma sólida (polvo y materiales ligeros arrastrados por el viento), líquida (lixiviado) y gaseosa (biogás), o incluso como partículas sólidas suspendidas en el lixiviado o en el humo de incendios provocados y auto incendios eventuales en los tiraderos. El levantamiento de polvo y arrastre de residuos ligeros como plásticos, papeles y envolturas ocurre con frecuencia en tiraderos a cielo abierto donde no se cubren los residuos, lo que provoca problemas en la actividad agrícola y en el tránsito vehicular en los alrededores. Esto representa un impacto estético negativo paisaje, así como una potencial contaminación directa al medio ambiente. (Johannessen 1999).

## **6.3 Lixiviado**

Se pueden definir los lixiviados como el líquido que se filtra a través de los residuos sólidos y que extrae materiales disueltos o en suspensión. Los lixiviados están formados por el líquido que entra en el relleno desde fuentes externas tales como el drenaje superficial y la lluvia; y en su caso del líquido producido por la descomposición de los residuos.

### **6.3.1 Origen de los lixiviados**

El lixiviado contiene diversos constituyentes derivados de la solubilización de los materiales depositados en el vertedero y de los productos de reacciones químicas

y bioquímicas que se producen dentro del vertedero. Existen numerosos parámetros de los lixiviados que resaltan su alto poder contaminante, su carga orgánica, las sales disueltas, las grasas y aceites, nutrientes como nitrógeno o fósforo, tóxicos como metales pesados y sustancias de interés sanitario. Estas características son importantes al momento de establecer cuáles componentes deben ser removidos durante su tratamiento. Para la selección de la tecnología que se debe utilizar en el tratamiento de los lixiviados (TTL) se deben tener en cuenta otros componentes que además de contaminantes, afectan el funcionamiento de los procesos, como el caso de los sólidos totales y los sulfatos. (Tchobanoglous, *et al.* 1994).

### **6.3.2 Calidad de los lixiviados**

Los lixiviados en un relleno sanitario varía grandemente en el tiempo, al igual que con el tipo de relleno sanitario que se tenga. En particular vale la pena mencionar las diferencias que se tienen en las calidades de los lixiviados entre aquellos de los países desarrollados con los de los países en vía de desarrollo. Los lixiviados de los rellenos sanitarios de los países en desarrollo presentan concentraciones mucho mayores de DBO, amoníaco, metales y sustancias precipitables que aquellos de países desarrollados. (Giraldo, *et al.* 2001).

### **6.3.3 Composición y características de lixiviado**

Lixiviados es muy variable y heterogénea. Generalmente, el lixiviado contiene una gran cantidad de materia orgánica disuelta e inorgánicos compuestos como el amoníaco-nitrógeno, calcio (Ca), magnesio (Mg), manganeso (Mn), cloruro (Cl<sup>-</sup>), sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), y carbonato deshidrogeno (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y metales pesados (Renou *et al.* 2008; Kjeldsen *et al.* 2002).

La materia orgánica disuelta es una composición principal de los lixiviados y consta de variedad de compuestos, que van desde simples ácidos grasos volátiles (AGV) en compuestos de alto peso molecular que incluyen hidrocarburos aromáticos, fenoles y clorado alifático, y fúlvicos y sustancias húmicas (Mohobane 2008 ; Wiszniowski *et al.* 2006 ).

### **6.3.4 Clasificación de los lixiviados**

Los residuos sólidos de los países en desarrollo, tienen altos contenidos de materia orgánica fácilmente biodegradable (MOFBD), que a su vez aporta alto contenido de humedad y por su proceso de descomposición produce altas concentraciones de ácidos grasos volátiles y de amoníaco. Estos ácidos se diluyen fácilmente en el lixiviado del relleno sanitario, le bajan el pH y contribuyen a la solubilización de los metales presentes en los residuos dispuestos en el relleno. El lixiviado joven es más contaminante que el lixiviado viejo, donde las concentraciones de las sustancias

disminuyen continuamente en el tiempo. Un relleno siempre va a tener una parte que aporta lixiviado joven (la que se está rellorando en ese momento) otra parte que tiene lixiviado maduro (las que tienen unos años) y otras lixiviado viejo (las que tienen más de cinco años) (Noeggerath, 2011).

La Tabla 10.1 muestra cómo varía la concentración de los principales parámetros de los lixiviados a lo largo del tiempo.

Tabla 1 Parámetro de los efluentes jóvenes y maduros.

Parámetro	unidad	Lixiviado joven (< 5 años)	Lixiviados maduros (> 10 años)
Color aparente		negro	Marrón
DBO	mg/L	2000 - 30000	100 - 200
DQO	mg/L	3000 - 60000	100 - 500
pH		4.5 – 7.5	6.6 – 7.5

El tratamiento de los lixiviados de acuerdo a su edad y composición son diferentes debido a que las concentraciones de sales disueltas, y metales pesados son mucho mayores en un lixiviado joven, generando problemas de toxicidad en el caso de que se quieran utilizar procesos biológicos para la remoción de la DBO. Las concentraciones de agentes incrustantes como el hierro, el calcio y el magnesio, generan grandes problemas prácticos pues taponan la mayoría de los conductos, tuberías, accesorios, válvulas, membranas, tanques, etc. (Giraldo, 2002).

El bajo pH puede interferir en el funcionamiento de muchas tecnologías y algunos procedimientos como la nitrificación o la oxidación del hierro. La remoción del DBO se ve afectada por la toxicidad que generan los metales, pero la remoción de metales, incluyendo incrustantes como el hierro, se ve interferida por la presencia de la DBO que sirve como agente complejante que mantiene los metales en solución, dificultando y limitando la remoción. Por todo esto es evidente que los lixiviados presentan numerosos problemas que deben tenerse en cuenta al momento de seleccionar la tecnología de tratamiento (Giraldo, 2002).

### **6.3.6 Tratamiento de lixiviados**

Los lixiviados generados en los vertederos deben ser tratados de forma adecuada antes de su descarga al medio ambiente. Estos métodos son muy parecidos o casi los mismos que los aplicados a la depuración de las aguas residuales, con la excepción de que los lixiviados tienen unas características adicionales que pueden alterar su tratamiento, principalmente la alta carga orgánica que contienen. Los tratamientos convencionales son los que se viene llevando a cabo desde hace años y suelen tener varias etapas (pretratamiento, tratamientos físico-químicos y tratamientos biológicos), pero presentan problemas, ya que debido a la poca uniformidad de las características de los lixiviados, dependiendo del lugar de recogida y del cuando tuvo lugar, hay ocasiones en las cuales no se pueden alcanzar los requerimientos legales impuestos (Renou *et al.* 2008).

### **6.4 Tipos de tratamiento de lixiviado**

Las alternativas de tratamiento de lixiviados se pueden clasificar de acuerdo a diferentes características como, por ejemplo, de acuerdo a los niveles de tratamiento que se logren con cada una de ellas, o por el tipo de contaminación que puedan remover. Los lixiviados contienen todos los mayores grupos de contaminación conocidos como son: la contaminación por patógenos, por materia orgánica, la contaminación por nutrientes, y por sustancias tóxicas. En algunos casos la remoción de uno de los grupos de contaminación se ve impedido por la presencia del otro grupo como es el caso de la remoción de la materia orgánica y los metales pesados.

Existe una extensa literatura sobre las aplicaciones de las diferentes tecnologías para el tratamiento de lixiviados. En las secciones siguientes se hace un resumen de las principales alternativas que se tienen actualmente.

#### **6.4.1 Procesos biológicos:**

Las alternativas mayormente utilizadas para la remoción de materia orgánica, que como en el caso de los lixiviados, es predominantemente material disuelto, son los procesos biológicos de tratamiento. De acuerdo a diversos estudios se ha encontrado que los procesos biológicos son efectivos para lixiviados jóvenes, que generalmente presentan altas concentraciones de ácidos grasos volátiles (AGV) y cuya relación de demanda bioquímica de Oxígeno y demanda química de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>/DQO) es mayor a 0,4, lo cual indica alta biodegradabilidad. Dependiendo de las características del lixiviado y de las necesidades del operador se optará por un tratamiento biológico aerobio o anaerobio. (L Borzacconi, *et al.*, 1996).

#### **6.4.1.1 proceso aerobio:**

este tipo tratamiento consiste en la depuración de los compuestos orgánicos presentes en el lixiviado por microorganismos en presencia de oxígeno y agitación, para evitar condiciones de anaerobiosis dentro de los tanques de depuración. Durante esta degradación se forman sólidos decantables que se separan con facilidad de la fracción líquida. Estos sistemas requieren de ciertas condiciones estables de funcionamiento, carga orgánica, concentración de nutrientes, de pH, etc. (J. Colomer, *et al.*,2007)

Se puede llegar a aplicar un tratamiento aerobio mediante el uso de lagunas aireadas, sistemas de lodos activados, sistemas biológicos de discos rotatorios (biodiscos), filtros percoladores, etc. Usualmente los lixiviados tienen valores altos de DBO, por lo que aplicando este tipo de tratamiento se podrán tener porcentajes de remoción arriba del 90%. Sin embargo, la DBO remanente puede ser mayores a 1000 mg/l. (S Mohajeri, *et al.*, 2006).

#### **6.4.1.2.- Lodos activados**

El lodo activado es un proceso de tratamiento por el cual el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado reactor. Los flóculos biológicos formados en este proceso se sedimentan en un tanque de sedimentación, lugar del cual son recirculados nuevamente al tanque aireador o reactor. Este tratamiento biológico se utiliza preferentemente para la eliminación de amoníaco y / o como una primera etapa de tratamiento de lixiviados jóvenes fácilmente biodegradable. Los lodos activados de aireación extendida (tiempo de retención hidráulico hasta 3-10 días) proporcionan buena eliminación de C y N, por lo que se puede lograr la eliminación de más del 97% de la DQO, junto con amoníaco, hierro, manganeso y zinc (Haarstad *et al.* 1999).

#### **6.4.2.1 proceso anaerobio:**

este tratamiento se basa en el mismo principio de depuración vía aerobia, pero esta vez es mediante una población bacteriana en condiciones de ausencia de oxígeno, lo que lo hace ser un proceso más simple que genera menor cantidad de lodos. Sin embargo, se deben tener muchas consideraciones en la operación, como por ejemplo, los altos contenidos de amoníaco y de minerales disueltos pueden generar problemas de toxicidad para los microorganismos, lo que hará necesario una remoción previa del amoníaco, o la aplicación de cargas de trabajo reducidas dado las limitaciones en la actividad microbiana por toxicidad. Otro problema que se ha detectado en la marcha es la acumulación de material inorgánico precipitado dentro de los reactores que termina por formar incrustaciones que limitan el volumen activo del reactor, limitan la actividad de los lodos y taponan los sistemas de conducción de los reactores, lo cual genera un colapso del sistema de tratamiento.

Se han reportado trabajos aplicando este tipo de tratamiento con diversos sistemas, que van desde los más sencillos como lagunas anaerobias, hasta los más sofisticados como sistemas de lecho fluidizado, filtros anaerobios y reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB). Estos sistemas soportan altas velocidades de carga con tiempos de retención bajos, sobrecarga y arranques rápidos tras períodos sin operación, todo ello sin detener las operaciones depuradoras de la flora bacteriana. (E Giraldo *et al.*, 2011)

#### **6.4.2.1 Reactores de membrana**

Los biorreactores con membrana (MBR) se utilizan del mismo modo que como se utilizan los sistemas biológicos de tratamiento. De forma genérica, los biorreactores de membrana pueden ser definidos como sistemas en los que se integra la degradación biológica de los efluentes con la filtración de membrana. Difieren de los sistemas biológicos al sustituir el sedimentador que hace la separación sólida/líquido por un sistema de micro o ultrafiltración. Debido a esto, el volumen del tanque se reduce, pero se aumentan las complicaciones en la operación de los sistemas, ya que los módulos de membrana son más complicados de operar y mantener que los sedimentadores. Del mismo modo, aumenta significativamente la cantidad de biomasa dentro de los reactores, pero aumentan los costes de energía del proceso, ya que se pierde eficiencia en la transferencia de masa en la aireación. Si la operación no es cuidadosa, se pueden producir procesos de taponamiento de las membranas (Cicek *et al.* 1998).

##### **6.4.2.1.1 Osmosis inversa.**

Esta tecnología es utilizada en la remoción de altas concentraciones de sólidos disueltos. La osmosis inversa esencialmente “filtra” los sólidos disueltos en el agua forzando a pasar el agua a través de una membrana mediante la aplicación de una fuerza que excede la presión osmótica de los componentes disueltos en la solución (Droste 1997).

#### **6.4.3 TRATAMIENTOS FÍSICO-QUÍMICOS**

El tratamiento físico químico, consiste en la eliminación de las partículas denominadas coagulantes (sales metálicas y /o polielectrolitos). Involucra proceso de coagulación, floculación y sedimentación y el elemento fundamental para el éxito de este proceso es determinar el coagulante o la combinación de coagulante más eficiente que se relacionan necesariamente con las características físico químicas del líquido (Kurniawan *et al.* 2006).

##### **6.4.3.1 Precipitación Química**

Mediante el tratamiento de lixiviados por precipitación química se obtienen mejoras en la eliminación del color, contenidos en sólidos en suspensión, amonio y eliminación de algunos cationes pesados. Para este tipo de tratamiento la cal es el reactivo más usado; a veces se utiliza la alúmina, el cloruro férrico y el sulfato

ferroso. No se obtienen buenos resultados en la eliminación de materia orgánica (Kurniawan *et al.* 2006).

### **6.5 producción de biogás**

La presencia de agua en el vertedero es también positiva porque diluye posibles concentraciones localmente altas de compuestos tóxicos; regula el pH por intercambio de sustancias buffer; y facilita la difusión de nutrientes. La velocidad de degradación de los residuos se ve favorecida por el mayor contenido en humedad de los mismos. Experiencias en laboratorio muestran un aumento exponencial de la producción de metano al incrementar el contenido en humedad de los residuos entre un 25 y un 60% (Christensen *et al.*, 1996)

Los efectos de la recirculación de lixiviados sobre el vertedero en la generación de biogás han sido estudiados a pequeña y gran escala en plantas de laboratorio. Es un método de pretratamiento del lixiviado y, a la vez, incrementa la generación de biogás en el vertedero (Stegmann y Spendlin, 1986)

## 7. Metodología

### 7.1 Construcción de biorreactores

Para proceder la construcción de ambos biorreactores (semi-aerobio) con un modelo a escala de laboratorio se utilizaron tubos de policloruro de vinilo (PVC) con las siguientes dimensiones 20 cm de diámetro y 64 cm de altura. En el fondo de los biorreactores se colocaron una capa (20 cm) de material de soporte (grava con 1 cm de diámetro) empacado con malla de 2 mm de abertura, para evitar el exceso de partículas, luego se empacaron 50 cm de ME (material estabilizado) con un tamaño de partícula no mayor a 2 cm, y finalmente, 5 cm de bordo libre en la parte superior (Fig.2). Para permitir la salida del efluente se colocó una tapa perforada en el extremo inferior del tubo. Los cuatro biorreactores fueron sujetos con una estructura metálica (Fig.3). para que luego procesa a su funcionamiento.

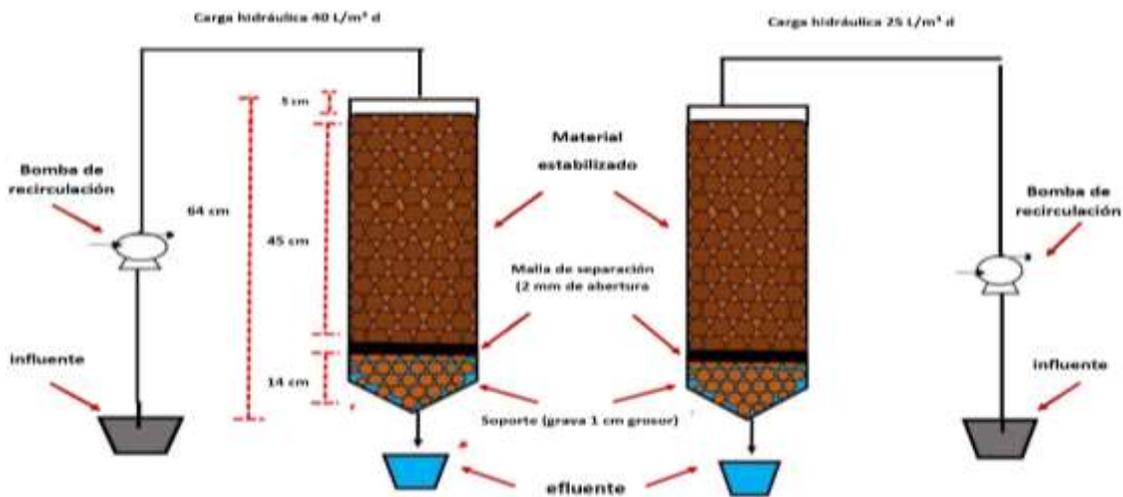


Figura. 2 dimensiones de los biorreactores para el tratamiento de lixiviados.

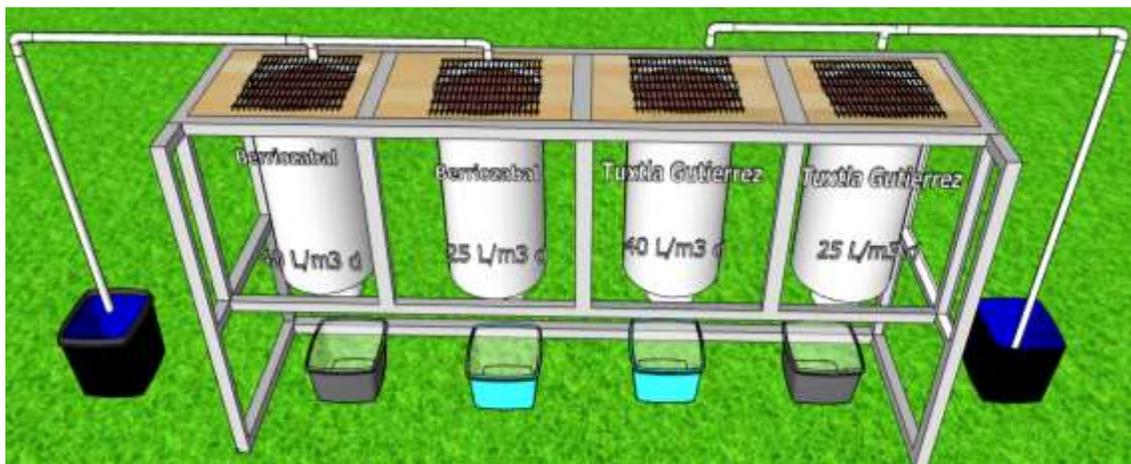


Figura. 3 instalación de los biorreactores en serie.

El biorreactor tipo semi-aerobio escala laboratorio estuvo trabajando las 24 horas de días durante los siete días de la semana. El biorreactor se alimentaba con un flujo de 25 L / m<sup>3</sup> d, y 40 L / m<sup>3</sup> d con ayuda de dos bombas peristálticas como se puede ver la figura 4



**Figura. 4** biorreactor semi-aerobo.

## **7.2 Recolección de muestra:**

Los materiales establecidos para el empaque de los biorreactores, se obtuvieron en dos sitios de disposición final, Berriozábal Chiapas y el otro de Tuxtla Gutiérrez Chiapas. En la primera extracción, fue en el sitio de disposición final del relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez, ubicado en la coordenada geográfica 16°40'7.57 N y 93°11'47.36" W, se tomaron muestra en tres puntos en el sitio de disposición final de cada relleno sanitario para encontrar el material establecido adecuado con la ayuda de la excavadora se removieron aproximadamente 2.0-3.0 metros, de materia para encontrar materia orgánica vieja de aproximadamente de ocho años después de su depósito en el relleno sanitario. (Figura 5.) debido que en estos residuos viejo podemos encontrar poblaciones microbianas que nos ayudara a eliminar la materia orgánica. Este mismo método se utilizo en el relleno sanitario de Berriozábal Chiapas ubicado en las coordenadas 16.77197° N y 93.26729° W se removieron materia orgánica vieja de aproximadamente de ocho años después de

su depósito en el relleno sanitario. Cada sitio se después que la excavadora extrajo el material se empezó a recoger el material para poder trasladarlo a laboratorio.



Figura. 5 recolección de material estabilizado de Tuxtla Gutiérrez y Berriozábal Chiapas.

Una vez que el material fue trasladado a laboratorio se empezó a tamizar todo el material extraído de los dos sitios de disposición final, se retiraron los materiales de mayor tamaño como tela, piedra, vidrio, cartón, fierro, plásticos, etc. (figura 6.). Al final se extendió para someter su proceso de secado a la sombra con una temperatura ambiente.



Figura. 6 Material tamizado de Tuxtla Gutiérrez y Berriozábal Chiapas.

### **7.3 Recolección de los lixiviados y sus caracterizaciones**

El muestreo de lixiviados para el estudio se llevó a cabo su recolección en el sitio de disposición final de Tuxtla Gutiérrez Chiapas. Se tomaron las muestras en garrafas de polietileno de 20 L las cuales abarcaron los meses de marzo y junio. Se

trasladaron aproximadamente ocho garrafas La Figura 7 se ilustra como se fueron recolectando los lixiviados.



Figura. 7 recolección de los lixiviados en la laguna en el sitio de disposición final de Tuxtla Gutiérrez

Esta muestra se caracterizo con los parámetros: demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), color, alcalinidad total, PH. Estos análisis se desarrollaron con nomas mexicanas establecidas. Como se muestra en las tablas 2.

**Tabla 2** parámetros y normatividad utilizados durante la evaluación del sistema BEME.

Parámetros fisicoquímicos	Normatividad aplicada	Frecuencia de análisis
pH	NMX-AA-25-1984	Semanal
Alcalinidad (mg/L)	NMX-AA-036-SCFI-2001	Semanal
Color (Pt/Co)	NMX-AA -045-SCFI-2001	Semanal
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DBOTrak II	2 veces/mes
DQO (mg/L)	NMX-AA-030/2-SCFI-2011	Semanal

### 7.7 Determinación de alcalinidad:

Para determinar la alcalinidad del lixiviado crudo extraído del relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez se prepararon cinco muestras de 20 ml que fueron diluida 1:50 ( 1 ml de lixiviado crudo y 49 ml de agua)

A cada matraz se colocaron 20 ml de muestra, en seguida se adicionaron tres gotas de naranja de metilo, posteriormente con ayuda de una probeta se adicionó ácido sulfúrico a 0.02N (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), se titularon hasta tener un color canela a amarillo. Figura 11.



Figura.11 determinación de alcalinidad de lixiviado crudo

### 7.3.1 Determinación de análisis de la DQO.

Para la terminación de la DQO (demanda química de oxígeno) de los efluentes de las primeras ocho semanas se realizó como determina la norma NMX-AA-030/2-SCFI-2011, fueron preparado por tubos HACH se colocaron 2 ml de efluente, respectivamente a cada tubo, Luego se agito suave mente para homogenizar la muestra, se preparó un blanco. enseguida se sometió a la digestora precalentando hasta llegar a una temperatura de 150°C luego se colocaron los tubos dentro de la digestora durante dos horas después de enfriar el tubo se sometió en el espectrofotómetro HACH DR-5000 que fue leído a 620 nm. Figura 8.



Figura. 8 tubos de DQO con efluentes de las primeras ocho semanas.

### 7.3.2 DETERMINACION DE LA DBO (Demanda bioquímica del oxígeno)

Para el análisis de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) de los efluentes obtenidos de las primeras ocho semanas se neutralizaron con  $H_2SO_4$  (ácido sulfúrico) el efluente neutralizado se transfirió en botella DBO trak, a cada frasco se agregaron dos almohadillas amortiguadoras de nutrientes, se pusieron una barra magnética para cada botella DBO trak para su agitación. Enseguida se agregaron dos pastillas de hidróxido en los tapones de cada botella DBO trak, posteriormente se colocan las ocho botellas de DBO a la incubadora a una temperatura de 20°C.

se cuantifico la diferencia de oxígeno disuelto a cada botella de DQO durante el inicio y después de los cinco días de incubación. En la figura 9 se muestra con detalle cómo se fueron sometiendo el análisis para la determinación de la DBO de acuerdo del ala normatividad DBOtrak II.



Figura. 9 prueba de análisis para DBO (demanda bioquímica de oxígeno).

#### 7.4 Alimentación y monitoreo del biorreactor :

El monitoreo de los biorreactores se realizó durante ocho semanas, durante el cual se establecieron dos cargas hidráulicas de alimentación ( $25 \text{ L/m}^3 \text{ d}$  y  $40 \text{ L/m}^3$ ) con una alimentación de flujo continuo con lixiviado extraído en el sitio de disposición final de Tuxtla Gutiérrez. EL efluente obtenido se le determinó los parámetros de DBO cada dos semanas y DQO y Color, cada semana. La eficiencia del biorreactor se determinó mediante una ecuación de porcentaje de remoción de la DQO (Ec. 1).

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VP_i - VP_f}{VP_i} \times 100$$

Dónde:

VPi: Valor Parámetro Inicial.

VPf: Valor Parámetro final.

(EC.1)

## 7.5 Determinación de color.

Para determinar el color de los efluentes se determinó a la normatividad NMX-AA-045-SCFL-2001 a cada muestra de las primeras ocho semanas se sometieron al método volumétrico. Debido que algunos efluentes fueron más oscuros se sometieron a una dilución mayor para poder leer a un rango óptimo ya que debido al colorímetro HACH DR/890 su límite máximo de lectura es de 550 (Pt/Co). una vez diluida se agitó para homogenizar la muestra, para posteriormente tomar la lectura en el colorímetro HACH DR/890. Para cada muestra se hicieron varias repeticiones para tener un valor más preciso. En la tabla 3 y 4. se puede observar los factores de dilución de cada muestra de las ocho semanas de monitoreo.

**Tabla 3 Diluciones de Efluente tratado con ME de Berriozábal Chiapas.**

Semana	Flujos	Muestra tratada (efluente)	Diluciones
1	25 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
	40 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
2	25 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
	40 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
3	25 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
	40 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
4	25 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
	40 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	10 ml
5	25 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
	40 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
6	25 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
	40 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	7.5 ml
7	25 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
	40 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	10 ml
8	25 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
	40 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	15 ml

**Tabla 4 Diluciones de Efluente tratado con ME de Tuxtla Gutiérrez Chiapas.**

Semana	Flujos	Muestra tratada (efluente)	Diluciones
1	25 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
	40 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
2	25 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
	40 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
3	25 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
	40 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
4	25 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
	40 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	10 ml
5	25 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
	40 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
6	25 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
	40 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	7.5 ml
7	25 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
	40 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	10 ml
8	25 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	5 ml
	40 L/ m <sup>3</sup> d	1 ml	15 ml

## 7.6 DETERMINACION DE pH

A las muestras de las ocho semanas se midió el pH, empleando un potenciómetro marca HANNA figura 10 El equipo fue calibrado antes de cada medición con buffer a temperatura ambiente (20 °C). Para posteriormente ser ocupado como lo marca la norma NMX-AA-25-1984.



Figura 10 determinación de PH de los efluentes.

## 8. Resultados

Durante la recolección de los lixiviados en el sitio de disposición final, se caracterizaron sus parámetros como DBO<sub>5</sub>, DQO, alcalinidad, color, y pH. en la tabla 5 se puede observar los parámetros de los influentes y los efluentes con diferente carga hidráulica

Tabla 5 caracterización de los influentes y efluentes.

parámetro	unidades	influyente	Efluente (Carga hidráulica 40L / m <sup>3</sup> d) Tuxtla Gutiérrez	Efluente (Carga hidráulica 40L / m <sup>3</sup> d) Berriozábal	Efluente (Carga hidráulica 25L / m <sup>3</sup> d) Tuxtla Gutiérrez	Efluente (Carga hidráulica 25L / m <sup>3</sup> d) Berriozábal
Color aparente	Pt/Co	24825	279	102	4040	525
DBO <sub>5</sub>	mg/L	900	132	81	27	50
DQO	mg/L	4512	1380.8	636.8	1476.8	157.2
pH	_____	8.2-8.4	7.8-9.18	7.35-8.17	7.21-8.52	7.33-8.25

### 8.1 Alcalinidad el influente

Después de un análisis de la alcalinidad del influente, La muestra presentó un valor de 7,6333.333 mg/L CaCO<sub>3</sub>, que fue calculado con la siguiente ec.2 que se basaron con la normatividad NMX-AA-036-SCFI-2001

$$Caco3 \text{ mg/L} = \frac{A)(N)(50)}{100} (1000) \text{ Ec. 2}$$

$$Caco3 \frac{mg}{L} = \frac{(4.58 \text{ mL})(0.02)(50)}{30 \text{ mL}} (1000) = (152.66 \text{ mg/L})(50) = 7,633.333 \text{ mg/L}$$

Donde:

**100:** es el volumen de muestra en ml.

**A:** es el volumen total gastado de ácido en la titulación al vire del naranjado de metilo en ml.

**N:** es la normalidad de la disolución de NaOH

**50:** es el fator para convertir eq/L a mg caco<sub>3</sub>/L.

**1000:** es el factor para convertir mL a L.

## 8.2 Demanda química de oxígeno

La remoción de la carga orgánica, del lixiviado de acuerdo a la presente investigación que se tomaron en el sitio de disposición final del relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez el cual aplicado a un tratamiento biológico para disminuir la carga orgánica. El influente inicial contenía una DQO de 4512 mg/L O<sub>2</sub>. Después de someter a la secuencia de tratamiento a través de los biorreactores con los materiales estabilizado extraído de Tuxtla Gutiérrez y Berriozábal a diferentes flujos, los parámetros de cada reactor se reducen significativamente. (tabla 6, 7, 8 y 9).

Tabla 6 remoción de la materia orgánica de cada semana con una carga hidráulica de 40 L/m<sup>3</sup> d.

Tuxtla Gutiérrez			
	Efluente salida DQO (mg/L)	Influente entrada DQO (mg/L)	% remoción
Semana 1	1380.8	4512	69.40
Semana 2	1580.8	4512	64.96
Semana 3	2332.8	4512	48.30
Semana 4	2164.8	4512	52.02
Semana 5	2212.8	4512	50.96
Semana 6	2404.8	4512	46.70
Semana 7	2740.8	4512	39.26
Semana 8	2972.8	4376	32.06

Tabla 7 remoción de la materia orgánica de cada semana con una carga hidráulica de 25 L/m<sup>3</sup> d.

Tuxtla Gutiérrez			
	Efluente salida DQO (mg/L)	Influente entrada DQO (mg/L)	% remoción
Semana 1	1564.8	4512	65.32
Semana 2	1476.8	4512	67.27
Semana 3	1876.8	4512	58.40
Semana 4	2212.8	4512	50.96
Semana 5	2068.8	4512	54.15
Semana 6	2452.8	4512	45.64
Semana 7	2612.8	4512	42.09
Semana 8	2796.8	4376	36.09

Tabla 8 remoción de la materia orgánica de cada semana con una carga hidráulica de 40 L/m<sup>3</sup> d.

Berriozábal Chiapas			
	Efluente salida DQO (mg/L)	Influente entrada DQO (mg/L)	% remoción
Semana 1	732.8	4512	83.76
Semana 2	636.8	4512	85.89
Semana 3	700.8	4512	84.47
Semana 4	796.8	4512	82.34
Semana 5	708.8	4512	84.29
Semana 6	796.8	4512	82.34
Semana 7	1036.8	4512	77.02
Semana 8	1220.8	4376	72.10

Tabla 9 remoción de la materia orgánica de cada semana con una carga hidráulica de 25 L/m<sup>3</sup> d.

Berriozábal Chiapas			
	Efluente salida DQO (mg/L)	Influente entrada DQO (mg/L)	% remoción
Semana 1	227.2	4512	79.86
Semana 2	211.2	4512	81.28
Semana 3	175.2	4512	84.47
Semana 4	195.2	4512	82.70
Semana 5	159.2	4512	85.89
Semana 6	157.2	4512	86.06
Semana 7	167.2	4512	85.18
Semana 8	217.2	4376	80.15

### 8.3 Cinetica de DQO (mg/L)

En las figuras 11 se muestra una comparativa entre las distintas valores de concentracion durante el periodo de muestreo como se puede observar, para en el caso de los biorreactores con una carga hidraulica de 25 L/m<sup>3</sup> d, el efluente que operaba con el material estabilizado de Berriozabal disminuyó de 4512 mg/L DQO a 628.8 mg/L DQO. En comparacion del biorreactor que operaba con material estabilizado de Tuxtla Gutierrez, disminuyó de 4512 mg/L DQO a 1476 mg/L DQO.

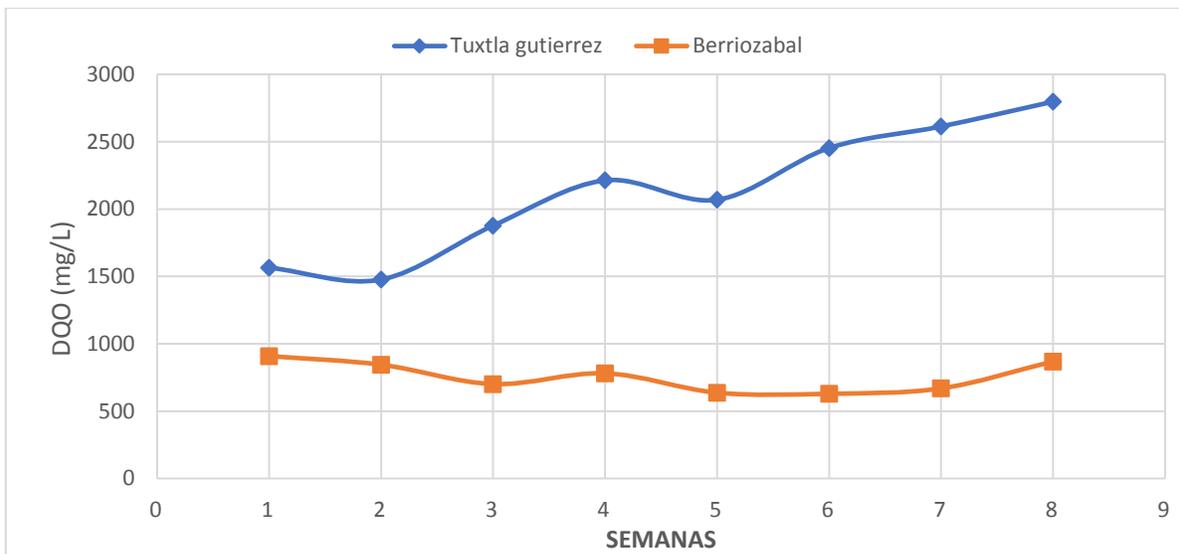


Figura 11 comparativa de la DQO mediante distinto material estabilizado con cargas hidráulica de 25 L/m<sup>3</sup> d

De la misma forma Ahora se observa en la figuras 12. la comparativa entre las con una carga hidraulica de 40 L/m<sup>3</sup> d, el efluente que operaba con el material estabilizado de Brriozabal disminuyo de 4512 mg/L DQO a 636.8 mg/L DQO. En comparacion del biorreactor que operaba con material estabilizado de tuxtla gutierrez, disminuyo de 4512 mg/L DQO a 1380.8 mg/L DQO.

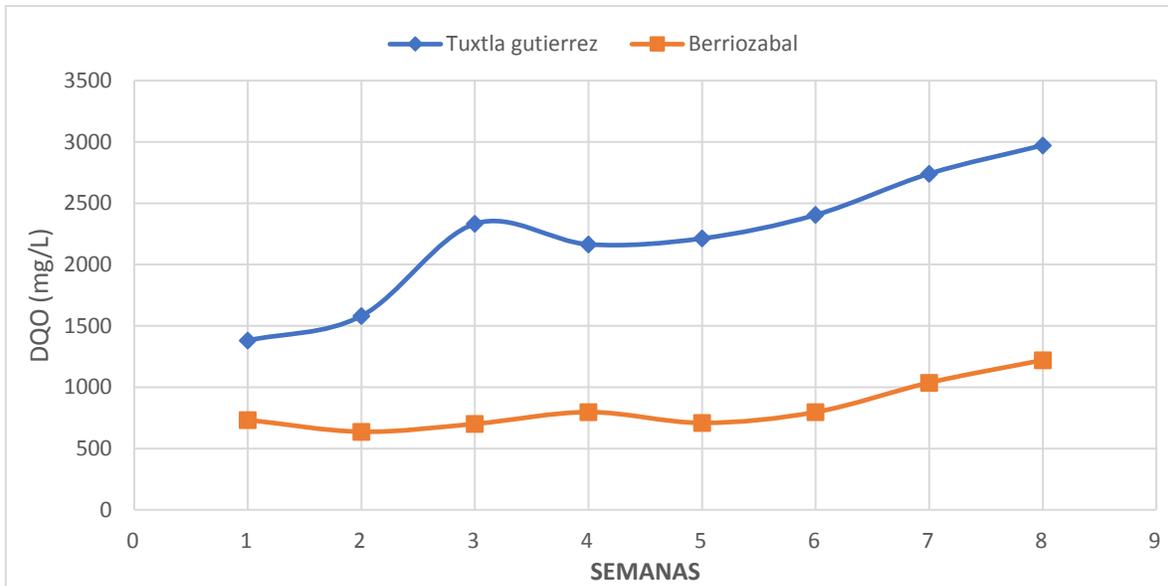


Figura 12 comparativa de la DQO mediante distinto material estabilizado con cargas hidráulica de 40 L/m<sup>3</sup> d

La Figura 13. Se muestran los porcentaje de remocion, se puede observar que en el biorreactor que operaba con el material estabilizado de Berriozabal, que se llegaron a detectar una remacion maxima 86.06 % se puede observar que en las dos primeras semanas presento una leve variacion ya que los microorganismos tardaron en ese tiempo en adaptarse al medio para iniciar su proceso de remocion, en la tercera semana aumenta la degradacion de la materia organica. En comparacion del biorreactor que operaba con el material estabilizado de tuxtla gutierrez su maxima remocion fue de 67.27% a partir de la semana dos.

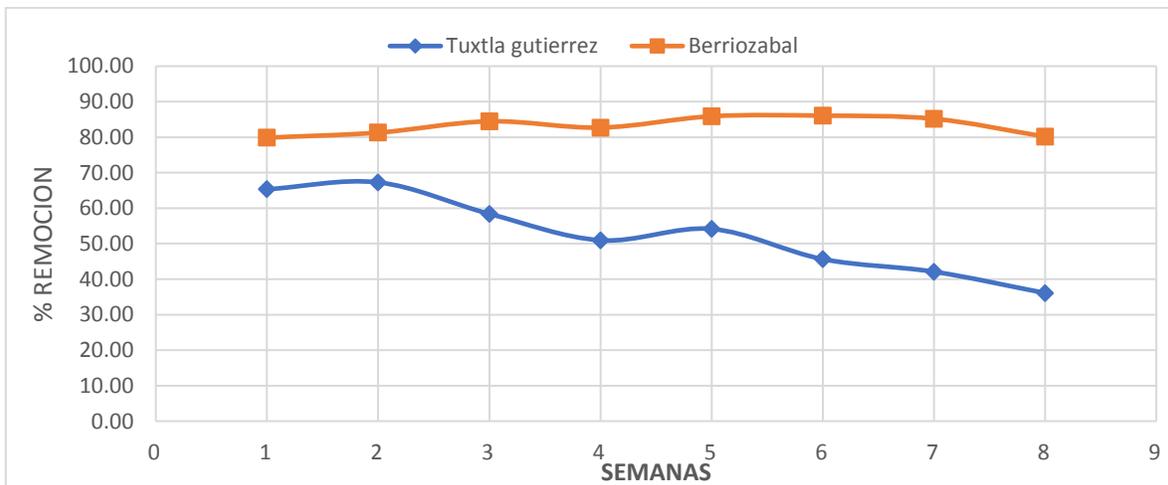


Figura 13 comparativa de la remoción de la DQO mediante distinto material estabilizado con cargas hidráulica de 25 L/m<sup>3</sup> d.

De la misma manera se observa que en la figura 14. en la segunda semana alcanzó su remoción máxima de 85.89 % para el biorreactor que operaba con el material estabilizado de berriozabal. Se observa que los microorganismos se adaptaron rápido al medio en las primeras semanas. El biorreactor que operaba con el material estabilizado de tuxtla, obtuvo una remoción máxima de 69.40 en la primera semana durante el proceso de monitoreo fue disminuyendo hasta alcanzar una eficiencia de remoción de 32.07 %. Se observa que los biorreactores que operaban con material estabilizado berriozabal a diferentes carga hidráulica permanecieron casi constante. Los trabajos reportados por Li *et al.* (2009) y Li *et al.* (2010) han documentado comportamientos similares en las remociones de DQO al usar sistemas BEME. Donde el primer biorreactor las remociones permanecen estables.

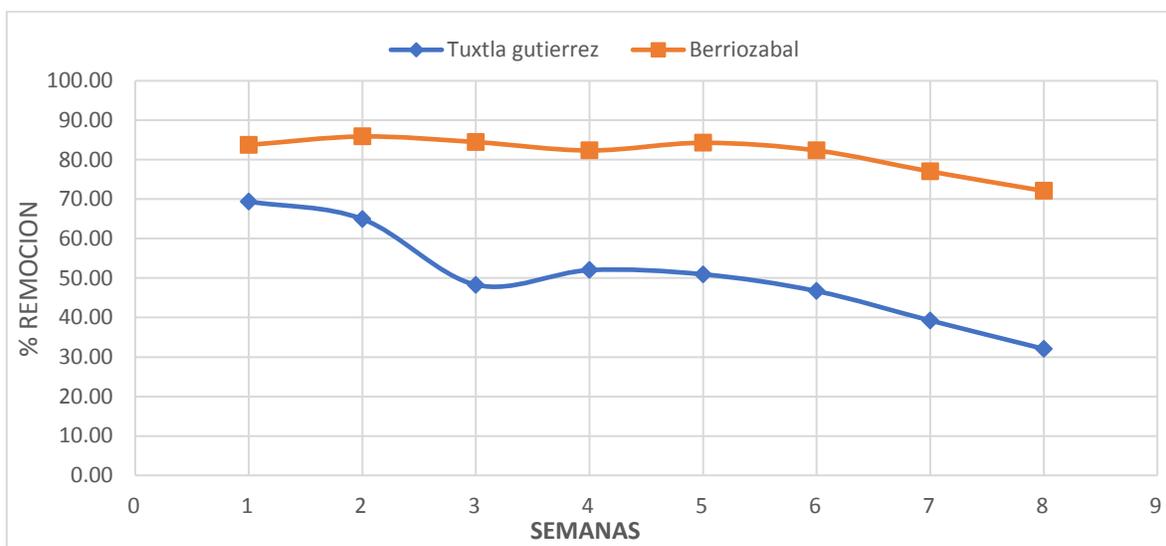


Figura 14 comparativa de la remoción de la DQO mediante distinto material estabilizado con cargas hidráulica de 40 L/m<sup>3</sup> d

#### 8.4 Cinética de DBO<sub>5</sub>.

En las figuras 15 se muestra una comparativa entre las distintos valores de concentración durante el periodo de muestreo como se puede observar, para en el caso de los biorreactores con una carga hidráulica de 25 L/m<sup>3</sup> d, el efluente que operaba con el material estabilizado de Berriozabal disminuyó de 900 mg/L DBO<sub>5</sub> a 50 mg/L DBO<sub>5</sub>, con una remoción de 94.4%. En comparación del biorreactor que operaba con material estabilizado de Tuxtla Gutierrez, disminuyó de 900 mg/L DBO<sub>5</sub> a 27 mg/L DBO<sub>5</sub> que alcanzó una remoción de 97 %.

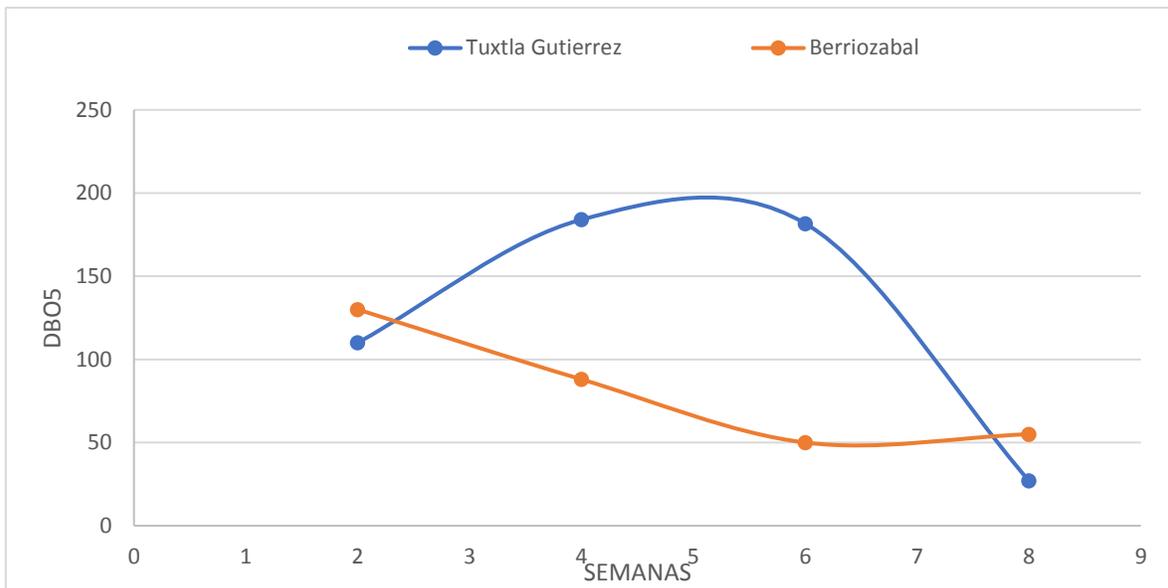


Figura 15 comparativa de la DQO mediante distinto material estabilizado con cargas hidráulica de 25 L/m<sup>3</sup> d

De la misma forma Ahora se observa en la figuras 16. la comparativa entre las con una carga hidráulica de 40 L/m<sup>3</sup> d, el efluente que operaba con el material estabilizado de Berriozabal disminuyó de 900 mg/L DBO<sub>5</sub> a 81 mg/L DBO<sub>5</sub> con una remoción 91%. En comparación del biorreactor que operaba con material estabilizado de tuxtla gutierrez, disminuyó de 900 mg/L DBO<sub>5</sub> a 132 mg/L DBO<sub>5</sub>. Que alcanzó una remoción 85.3%. los resultados de remoción que operaron con material estabilizado de berriozabal chiapas a diferentes carga hidráulica permanecen una remoción superior a 90%. se ha documentado Porcentajes de remoción similares en DBO<sub>5</sub> por (Xie et al., 2012; Hassan y Xie, 2014).

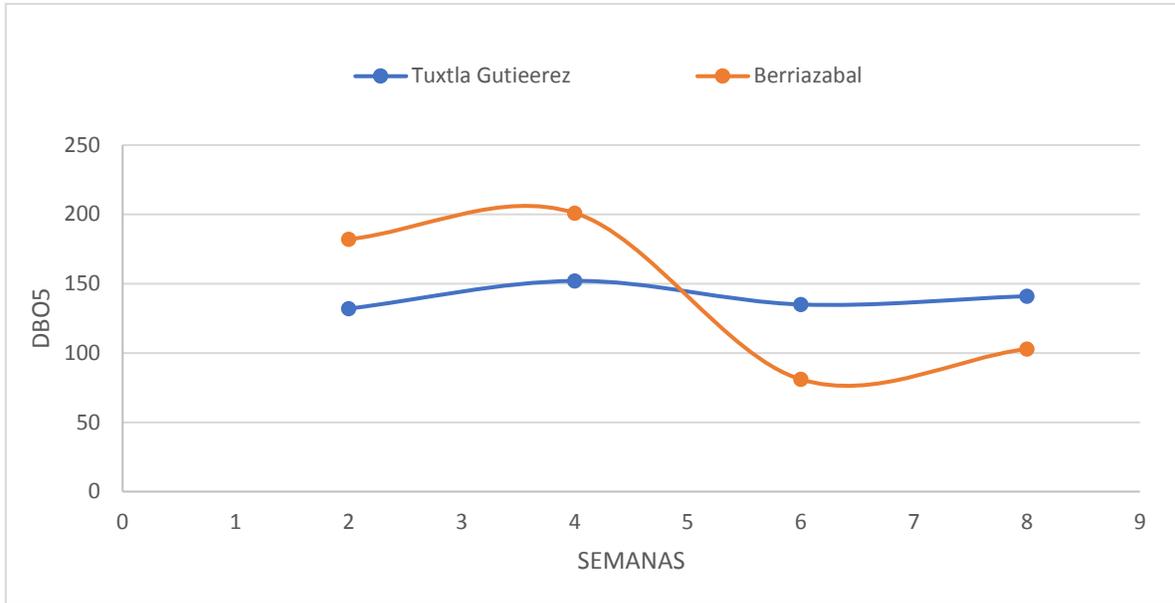


Figura 16 comparativa de la DQO mediante distinto material estabilizado con cargas hidráulica de 40 L/m3 d



### 8.5 Cinética de PH

La figura 17 se muestra una relación entre los valores de los PH de los efluentes durante el periodo de muestreo como se puede observar, en la figura 17, los efluentes que operaba con el material estabilizado de tuxtla gutierrez fue aumentando de forma trascendente en cambio el de berriozabal fue aumentando hasta la semana cuatro, y luego disminuyeron en la semana cinco, en la figura 18. los efluentes que operaron con la materia estabilizado de berriozabal permanecieron contantes durante el perriodo de monitoreo, a coparacion la de tuxtla gutierrez, fueron aumentando durante el tiempo de monitoreo.

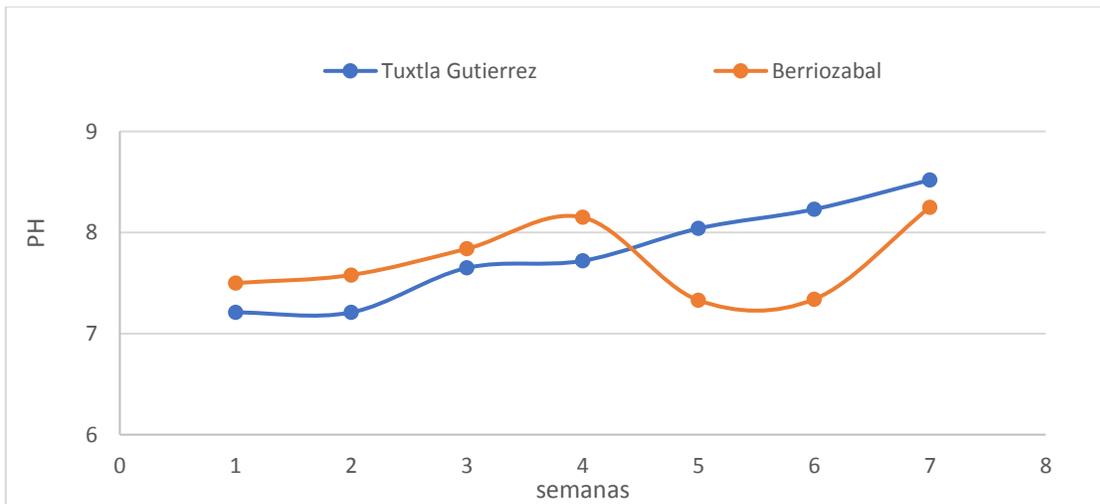


Figura 17 intervalo de PH de los efluentes con carga hidráulica de 25 L/m3 d.

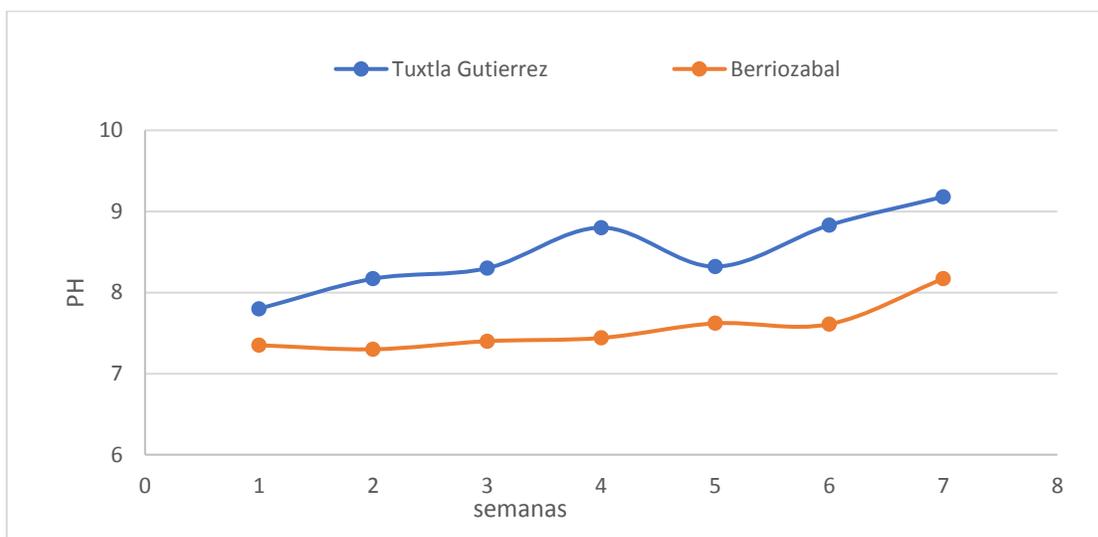


Figura 18 intervalo de PH de los efluentes con carga hidráulica de 40 L/m<sup>3</sup> d.

### 8.6 Cinética de color (unidades Pt/Co)

En la Figura 19 se muestra la cinética de determinación de color en unida de Pt/Co la comparativa entre las distintas valores de concentracion durante el periodo de muestreo como se puede observar, para en el caso de los biorreactores con una carga hidraulica de 25 L/m<sup>3</sup> d, el efluente que operaba con el material estabilizado de Berriozabal el color disminuyó de 24825 Pt/Co a 520 Pt/Co, con una remocion de 97.90%. En comparacion del biorreactor que operaba con material estabilizado de Tuxtla Gutierrez, disminuyó de 24824 Pt/Co a 4040 Pt/Co que alcanzó una remoción de 83.72%. En general el BEME (biorreactor empacado con material estabilizado) presentaron una remoción superior del 83.72-97.90% para las diferentes cargas hidráulicas. Al igual reportado por Lei et al. (2007), Li et al. (2010) y Hassan y Xie (2014) demostraron remociones de color superiores al 80% quienes trabajaron con BEME.

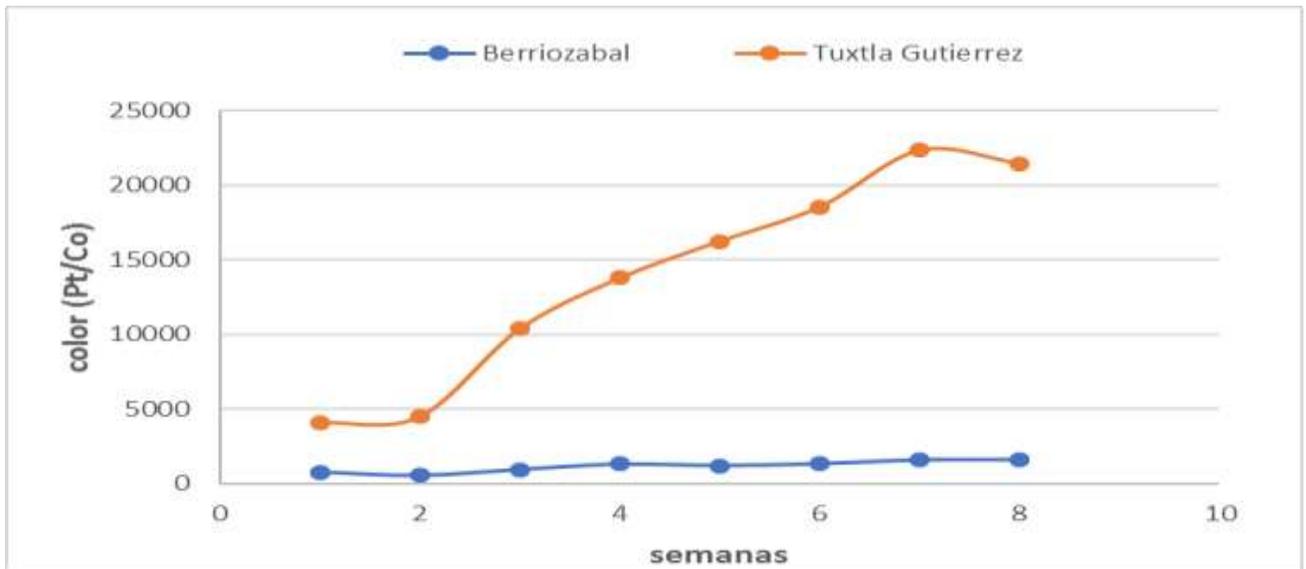


Figura 19. comparativa de color con el proceso de material estabilizado de Berriozábal y Tuxtla Gutiérrez con una carga hidráulica de 25L/m3 d.

De la misma forma Ahora se observa en la figuras 20. la comparativa entre las con una carga hidraulica de 40 L/m3 d, el efluente que operaba con el material estabilizado de Brriozabal disminuyo de 24825 Pt/Co a 510 Pt/Co con una remocion 97.94%. En comparacion del biorreactor que operaba con material estabilizado de tuxtla gutierrez, disminuyo de 24825 Pt/Co a 5580 Pt/Co. Que alcanzo una remocion 77.52%.

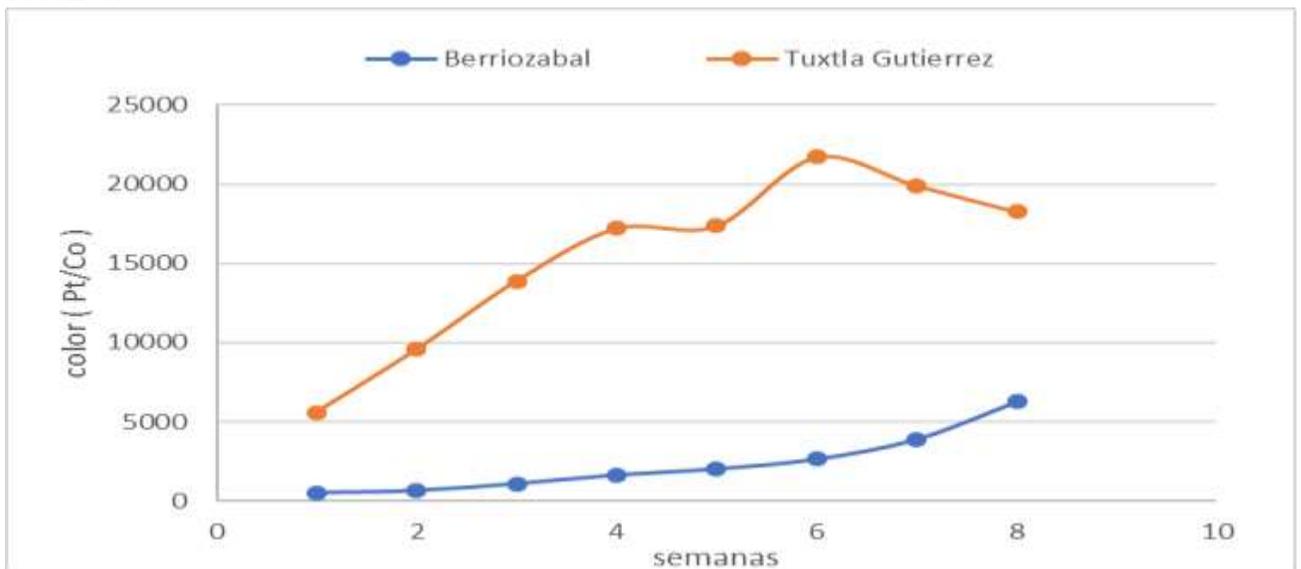


Figura 20. comparativa de color con el proceso de material estabilizado de Berriozábal y Tuxtla Gutiérrez con una carga hidráulica de 40L/m3 d.

## 9 conclusiones:

- Se construyeron los biorreactores con dos tipos de material establecido a escala laboratorio en el que se mostraron los influentes alta remociones.
- Se caracterizaron los influentes antes de operar a través del biorreactor se encontraron altas concentraciones de materia orgánica se estableció como lixiviado intermedio debido por sus parámetros obtenido.
- Se monitorio los biorreactores con diferentes materiales establecidos para el tratamiento de lixiviados el cual se probaron a dos cargas hidráulicas (25 y 40 L/m<sup>3</sup> -d); los mayores porcentajes de remoción en DQO, color y DBO5 fueron en 86.06, 97.94 y 97%, respectivamente.
- Por otro lado, los biorreactores que operaban con material estabilizado de Berriozábal el porcentaje de remoción demostraron ser semi-estable, a distintas cargas hidráulica en la carga orgánica en el efluente (DQO de 77 a 85.66 % y color de 510 a 6270 unidades Pt-Co.
- Así mismo, se evaluó el alto contenido de alcalinidad del influente.

## 10 Referencias

INEGI, 2010. Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. Relleno sanitario por entidad federativa. 1 pág.

Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P. F., y Zepeda, F. (1997). Diagnóstico de la situación del manejo de los residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo.

Ramos Alvariño, C., Gutiérrez Navarrete, J., Rodríguez Petit, X., y Agramonte Hernández, M. (2010). Filtro biológico en el tratamiento de lixiviados. Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 41.

Li Hongjiang y Zhao Youcai. (30 de mayo de 2018). Tres etapas de la edad en el archivo bio filtro para el tratamiento de lixiviados tierra. Revista de Ciencias Ambientales, 3, 7.

Méndez novelo, r. i., Pietrogiovanna bronca, j. a., santos ocampo, b., sauri riancho, m. r., giácoman vallejos, g., y castillo borges, e. r. (2010). Determinación de la duración óptima de reacción Fenton en un tratamiento de lixiviados por Fenton-adsorción. Revista internacional de contaminación ambiental, 26 (3), 211-220.

Warith, MA, y Sharma, R. (1998). Revisión técnica de métodos para mejorar la degradación biológica en rellenos sanitarios. Revista de investigación de la calidad del agua, 33 (3), 417-438.

Cicek, N., Macomber, J., Davel, J., Suidan, M. T., Audic, J., Genestet, P. (2001) Efecto del tiempo de retención de sólidos sobre el rendimiento y las características biológicas de un biorreactor de membrana. Ciencia y tecnología del agua 43 (11): 43-50.

Haarstad, K., Mæhlum, T. (1999) Aspectos importantes de la producción y el tratamiento a largo plazo de los lixiviados de residuos sólidos municipales. Waste Management & Research 17 (6): 470-477.

Noeggerath, F., Salinas, I. 2011. Análisis comparativo de tecnologías para el tratamiento de lixiviados en rellenos sanitarios. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas.

Giraldo, E. 2002. Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios: Avances Recientes. Facultad de Ingeniería Universidad de los Andes.

Tchobanoglous, G., Thiesen, H., Vigil, S. 1994. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Volumen I. McGraw Hill / Interamericana de España, S.A. España.

Giraldo, E. (2001). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes. Revista de ingeniería, (14), 44-55.

RENOU S., GIVAUDAN J., POULAIN S., DIRASSOUYAN F. y MOULIN P., (2008), Tratamiento de lixiviados de vertederos: Revisión y oportunidad, Diario de materiales peligrosos, vol. 150, p. 468-493.

Johannessen, L.M. 1999. Nota de orientación sobre la recuperación del gas de tierra de los residuos municipales de tierras sólidas

Li H., Gu, Y., Zhao, Y. y Wen, Z. (2010). Tratamiento de lixiviados utilizando un biofiltro de basura envejecido de demostración. Revista de Ciencias Ambientales, 22 (7), 1116-1122.

Lei, Y., Shen, Z., Huang, R. y Wang, W. (2007). Tratamiento de lixiviados de vertedero mediante biorreactor de residuos viejos y electrooxidación. Water Research, 41 (11), 2417-2426

Li, H., Zhao, Y., Shi, L. y Gu, Y. (2009). Biofiltro de basura envejecida en tres etapas para el tratamiento de lixiviados de vertederos. Revista de ciencias ambientales, 21, 70-75.

Kjeldsen P, Barlaz MA, Rooker AP (2002) com- Presente y largo plazo la posición de los RSU lixiviados de vertedero: una revisión. Crit Rev Environ Sci Technol 32: 297 -336

Renou S, Givaudan JG, Poulain S, Dirassouyanb F, Moulin P (2008) Tratamiento de lixiviados de vertedero: una revisión y oportunidad. J Hazard Mater 150: 468 – 493

Kurniawan, T. A; Lo, W-H y chan, G.Y.S. 2006. Tratamientos fisicoquímicos para la eliminación de contaminantes recalcitrantes del lixiviado de vertederos. Diario de materiales peligrosos B129; 80-100

Wiszniewski J, Robert D, Surmacz - Gorska J, Miksch K, Weber JV los métodos de tratamiento de lixiviados (2006) Vertedero: una revisión. Environ Chem Cartas 4:51 - 61

Silva AC, Dezotti M, Sant'Anna GL Jr (2004) Tratamiento y desintoxicación de un relleno sanitario de lixiviados. Quemofera 55: 207–21

J Colomer, A Gallardo. Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos. 1ra edición, Limusa, Universidad Politécnica de Valencia, 9-24 (2007).

S Mohajeri, M Isa, H Aziz. Investigación del tratamiento de lixiviados en vertederos mediante procesos avanzados de oxidación. 1er Coloquio de Ingeniería Civil (CEC '06), Asociación de Postgraduados en Ingeniería Civil y Oficiales de Investigación (ACEPRO), Escuela de Ingeniería Civil, Universiti Sains, Malasia. (2006)

L Borzacconi, I López, E Arcia, L Cardelino, A Castagna, M Viñas. Comparación de tratamientos aerobios y anaerobios aplicados a lixiviado de relleno sanitario. XXV

Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, México. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). Pp. 1-8 (1996).

E Giraldo. Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: Avances recientes. Revista de Ingeniería Universidad de los Andes, 14, 44-55 (2001).

Stegmann, R., Heyer, K. U., Cossu, R. (2005) Leachate treatment. Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management & Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. 3 - 7 October 2005. 2005 by CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Italy.

Espinace, R. A. J., Palma, G., Szanto, N. (1997) Asentamiento en un vertedero controlado a escala con recirculación de líquidos lixiviados. 4º Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica, 21 al 24 de Octubre de 1997.

Renou, S.; Givaudan, J.G.; Poulain, S.; Dirassouyan, F. y Moulin, P. 2008. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. Journal of Hazardous Materials, 150, 468-49.

Christensen, T. H.; Cossu, R. y Stegmann, R. &quot;Landfilling of Waste: Biogas&quot; ISBN 0 419 19400 2, E&amp;FN Spon, Londres, 1996

Stegman, R. ; Spendlin, H. &quot;Research activities on enhancement of biochemical processes in sanitary landfills&quot; Water poll. Res. J. Canada, 21, 1986

Xie B., Xiong S., Liang S., Hu C., Zhang X. y Lu J. (2012). Rendimiento y composiciones bacterianas de reactores de basura envejecidos que tratan lixiviados de vertederos maduros. Tecnología Biosource. 103. 71-77

Xie, B., Lv, Z., Lv, B. y Gu Y. (2010). Tratamiento de lixiviados de vertederos maduros por biofiltros y oxidación fenton. Gestión de residuos, 30, 2108-2112