

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN EL VERTEDERO MUNICIPAL
CHOCONAL; ANTIGUA GUATEMALA
TESIS DE GRADO

MARÍA JOSÉ DE LEÓN PAYÉS
CARNET 10066-11

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, NOVIEMBRE DE 2018
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN EL VERTEDERO MUNICIPAL
CHOCONAL; ANTIGUA GUATEMALA

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR

MARÍA JOSÉ DE LEÓN PAYÉS

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, NOVIEMBRE DE 2018

CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
MGTR. NADIA MIJANGOS LÓPEZ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN
ING. LOURDES MARÍA BENAVENTE MEJÍA

Guatemala 05 de noviembre de 2018

Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado y revisado el trabajo de tesis para graduación del estudiante María José de León Payés, carné 1006611, titulada: “PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN EL VERTEDERO MUNICIPAL CHOCONAL; ANTIGUA GUATEMALA”.

El cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,

Mgter. Nadia Mijangos López
Colegiado Activo 1446
Asesora



Universidad
Rafael Landívar
Tradicón Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 061051-2018

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado de la estudiante MARÍA JOSÉ DE LEÓN PAYÉS, Carnet 10066-11 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 06198-2018 de fecha 1 de noviembre de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN EL VERTEDERO MUNICIPAL
CHOCONAL; ANTIGUA GUATEMALA**

Previo a conferirsele el título de INGENIERA AMBIENTAL en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 2 días del mes de noviembre del año 2018.

**MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar**



AGRADECIMIENTOS

A:

Dios que me dio la vida, la sabiduría y la bendición de poder concluir mis estudios universitarios.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por ser parte de mi formación.

Mgter. Nadia Mijangos López, por su asesoría, revisión y corrección del presente trabajo de tesis.

Municipalidad de Antigua Guatemala, por brindarme el apoyo necesario para el desarrollo del presente trabajo de tesis.

DEDICATORIA

A

Dios: Quién siempre me da su amor, fortaleza y me bendice diariamente con la vida y el amor de mi familia.

Mi madre: Graciela de León, por su amor, esfuerzo, apoyo incondicional, paciencia, dedicación, ejemplo de vida y profesionalismo y sobre todo por ser mi madre, padre y amiga.

Mi abuelita: Zoé Payés, por cuidarme con amor y esmero, ser una segunda madre para mí, por sus consejos y enseñanzas y por ser ese ángel que me cuida desde el cielo.

Mi abuelito: Antonio de León, por ser mi padre durante seis años y por inculcarme que siempre tenía que luchar por lo que quiero y nunca darme por vencida.

Mi tía: Amalia de Mencos, por ser ese pilar en mi vida y apoyarme durante toda mi carrera con sus consejos, oraciones y amor incondicional.

INDICE

RESUMEN	i
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Gestión integral de los residuos y desechos solidos	2
2.1.3 Barrido y aseo urbano.....	3
2.1.4 Recolección y transporte de RDS.....	3
2.1.5 Tratamiento de los RDS.	3
2.1.6 Disposición final de los RDS	3
2.2 Impactos generados por la mala disposición de los RDS.	5
2.2.2 Lixiviados	7
2.2.3 Intensidad de lluvia y generación de lixiviados en el Vertedero Choconal	15
2.3.4 Margo legal en conformidad con el tratamiento de los lixiviados para el Vertedero Choconal.....	15
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	20
4. OBJETIVOS	21
4.1 General	21
4.2 Específicos	21
5. METODOLOGÍA	22
5.1 Ambiente	22
5.2 Sujetos y/o unidades de análisis	23
5.3 Tipo de investigación.....	23
5.4 Instrumento.....	24
5.5.1 Consulta documental.....	25
5.5.2 Fase de campo.....	25
5.6 Análisis de la información	29
5.6.1 Fase de entrevistas y recolección de información.....	29
5.6.2 Desarrollo de un informe.....	29
5.6.3 Descripción del suelo y las condiciones del terreno.....	29
5.6.4 Construcción de propuestas de solución.....	29

5.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	30
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
6.1 Análisis fisicoquímico de lixiviados.....	31
6.1.1 Caracterización del lixiviado como agua residual de acuerdo con su naturaleza.	31
6.1.2 Caracterización del lixiviado de acuerdo con el tipo de aguas residuales presentes en el vertedero	32
6.1.3 Análisis del lixiviado y el sustrato del vertedero Choconal.....	39
6.1.4 Disposición del suelo para implementación de soluciones.	40
6.1.5 Planteamiento de la propuesta solución para el sistema de tratamiento de lixiviados de vertedero Choconal actualmente.....	40
7. CONCLUSIONES	47
8. RECOMENDACIONES	48
9. BIBLIOGRAFÍA	49
10. ANEXO	53
10.1 Fotografías del Vertedero Choconal.....	53
10.1.1 Primera visita de campo	53
10.1.2 Segunda visita de campo.....	55
10.1.3 Toma de muestras de lixiviado.....	56
10.2 Resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras de lixiviado	57
10.2.1 Primeros resultados del análisis fisicoquímico junio de 2017.....	57
10.2.2 Segundos resultados del análisis fisicoquímico agosto de 2017	59
10.2.3 Terceros resultados del análisis fisicoquímico octubre de 2017	61
10.3 Análisis de suelos	63
10.5 Tabla de Referencia.....	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamiento para el lixiviado de acuerdo con sus características.....	9
Tabla 2. Análisis fisicoquímico de los lixiviados.....	15
Tabla 3. Límites Máximos Permisibles de Descargas a Cuerpos Receptores para Aguas Residuales Municipales.....	19
Tabla 4. Muestras compuestas.....	26
Tabla 5. Cronograma de Actividades Realizadas.....	30
Tabla 6. Resultados de los análisis de lixiviados.....	31
Tabla 7. Resultados de las comparaciones de los resultados del DBO5 y DQO.....	33
Tabla 8. Cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006 para el Nt.....	34
Tabla 9. Cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 138-2017 para el Pb.....	36
Tabla 10. Cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006 para el As.....	38
Tabla 11. Valores mínimos de la razón de DQO y DBO5.....	65

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Vertedero Choconal.	23
Figura 2. Forma de llevar a cabo la extracción de Submuestras.	27
Figura 3. Forma de aplicar la técnica.	28
Figura 4. Resultados de DBO ₅ para cada uno de los muestreos efectuados.	34
Figura 5. Resultados del muestreo de P.	35
Figura 6. Resultados de las Muestras de Cd.	37
Figura 7. Comparación de todos los resultados con los LMP.	38
Figura 8. Placas Tectónicas de Guatemala.	40
Figura 9. Ingreso al Vertedero Choconal.	53
Figura 10. Zona de Descarga de desechos.	53
Figura 11. Cuarta plataforma.	54
Figura 12. Carretera para el paso de camiones y maquinaria pesada dentro del Vertedero Choconal.	54
Figura 13. Zona de Descarga de Camiones.	55
Figura 14. Rampa de Ingreso para Camiones.	55
Figura 15. Primera toma de muestras de lixiviado.	56
Figura 16. Segunda toma de muestras de lixiviado.	56

“PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN EL VERTEDERO MUNICIPAL CHOCONAL; ANTIGUA GUATEMALA”

RESUMEN

En este estudio se realizaron tres muestreos compuestos de los lixiviados del Vertedero Choconal. Estos líquidos son generados a partir de la degradación de la materia orgánica existente en los residuos y desechos sólidos, como producto de la infiltración de agua de lluvia. Se efectuaron los muestreos de la demanda bioquímica, la demanda química de oxígeno, el nitrógeno total, el fósforo total, el plomo, el cadmio y el arsénico en julio, agosto y octubre del 2017. Posteriormente los resultados de los análisis indicaron que únicamente las concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno, plomo y cadmio se encontraban fuera de los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006; y por su naturaleza estos lixiviados son de tipo industrial y doméstico. En lo que respecta a la condición del suelo, se determinó que no se corre ningún riesgo por fractura debido a la inexistencia de fallas geológicas; no obstante, la presencia de un porcentaje alto de arena en su composición puede provocar la contaminación del subsuelo. La solución propuesta consistió en: eliminar la contaminación por metales pesados mediante la prohibición final de los mismos en el vertedero y un programa de sensibilización y reciclaje de metales pesados con las empresas generadoras de Antigua Guatemala, Santa Lucía Milpas Altas y San Lucas Sacatepéquez; a su vez para la protección del manto freático se analizó y validó la instalación de una laguna anaeróbica, una geomembrana, y dos drenajes uno francés y uno pluvial perimetral.

1. INTRODUCCIÓN

El vertedero Choconal está ubicado en la Finca Florencia kilómetro 37.5 en la Antigua Guatemala, en la carretera de retorno de la Antigua hacia la ciudad capital. Este es el principal receptor de RDS, residuos y desechos sólidos, provenientes del municipio de Antigua Guatemala.

El manejo de los RDS y lixiviados en el vertedero no ha sido el adecuado y actualmente enfrenta retos para mejorar su funcionamiento.

Diariamente se generan lixiviados en el Vertedero Choconal producto de la degradación de la materia orgánica y la infiltración de agua de lluvia. Estos lixiviados atraviesan la capa de RDS y contaminan el suelo, las aguas superficiales y las subterráneas provocando impactos negativos como la proliferación de focos de infección, aumento de enfermedades por los vectores sanitarios, incremento en el riesgo de desastres que corren los trabajadores en la zona, repercusión negativa en el paisaje, entre otros.

Los impactos generados por la mala disposición de los residuos y desechos sólidos y el nulo tratamiento de los lixiviados no solamente dañan al medio ambiente como tal, sino afectan a la población que se encuentra asentada en la zona, a los trabajadores que acuden diariamente al vertedero y a los turistas que visitan Antigua Guatemala.

Por las razones antes expuestas es importante conocer las características fisicoquímicas y biológicas de los lixiviados, con la finalidad de determinar qué tipo de tratamiento es el más adecuado a implementar en las instalaciones del Vertedero Municipal Choconal.

Con la caracterización de lixiviados y la elaboración de una propuesta de solución para el tratamiento de los mismo, la Municipalidad de Antigua Guatemala podrá incorporar tecnologías más eficientes en la gestión y el manejo de su vertedero municipal. Con ello se disminuirán las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la descomposición de la materia orgánica y se evitara el cierre de este por ende el traslado de los RDS a otros vertederos fuera de la jurisdicción municipal.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Gestión integral de los residuos y desechos solidos

La gestión integral de los RDS consiste en toda serie de actividades que se asocian a la generación, separación, almacenamiento, recolección, transporte, barrido, tratamiento y disposición final. Estos procedimientos de gestión se llevan a cabo con la finalidad de armonizar con los mejores principios de la salud pública, la economía, la estética, la ingeniería y otras consideraciones de tipo ambiental (MARN, 2015).

Los desechos sólidos son aquellos materiales o productos post consumo, que nadie desea, irrecuperables que no tienen posibilidad de darles algún otro uso, siendo eliminados frecuentemente de maneras inadecuadas para el ambiente (MARN, 2015).

Los residuos sólidos constituyen materiales o productos post consumo, como las excretas humanas o animales, restos vegetales y materiales reciclables o reutilizables, que pueden ser sujeto de sistemas de gestión regulados una vez que han sido generados, los cuales cada vez más incluyen programas de separación, recolección selectiva y reciclaje de materiales (MARN, 2015).

Para fines de análisis en el presente documento la clasificación de RDS será: desechos sólidos (irrecuperables), residuos sólidos (reciclables y reutilizables) y materia orgánica (residuos orgánicos que se descomponen en para transformarse en abono).

2.1.1 Disposición inicial. Como parte de la disposición inicial de los RDS se da la separación en fuente la cual suele realizarse de forma manual en el vehículo recolector o en el sitio de disposición final. Ésta tiene el objetivo de seleccionar los desechos sólidos según el tipo tratado: plástico, papel, latas, vidrio, material orgánico, etc (Jaramillo,2002).

2.1.2 Transferencia de los desechos sólidos. La transferencia de los RDS se refiere al proceso de trasladado mediante vehículos de pequeña capacidad a camiones compactadores o camiones de basura, hasta llegar al vertedero o el relleno sanitario para la disposición final de los mismos o hasta llegar a un centro de transferencia (Jaramillo,2002).

2.1.3 Barrido y aseo urbano. El barrido y el aseo urbano se encuentran complementados con la recolección y tienen el principal propósito de mantener las vías y áreas públicas libres de todo tipo de RDS generado por el paso de peatones, eventos especiales, espectáculos masivos, el movimiento de materiales, entre otros. Es importante realizar el aseo con frecuencia para garantizar la limpieza de las ciudades (Jaramillo, 2002).

2.1.4 Recolección y transporte de RDS. La recolección y el transporte es el proceso mediante el cual se recogen los desechos sólidos de la vía pública, los hogares y las industrias para ser llevada posteriormente a una planta, vertedero o relleno sanitario para su disposición, selección o incineración. El transporte de RDS es una de las actividades más costosas en el proceso de gestión integral de los desechos sólidos, puede llegar a representar entre 80% a 90% del costo total del servicio (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo, 2010).

2.1.5 Tratamiento de los RDS. El tratamiento de los RDS comprende las formas y conceptos que permiten procesar los mismos para disminuir los potenciales impactos que puedan causar al medio ambiente. Este tipo de tratamiento puede abarcar todos o algunos procesos físicos, químicos, térmicos y biológicos, así como los métodos y técnicas para incinerar los desechos, el aprovechamiento de energía, la biotransformación de la materia orgánica, la producción de biocombustibles, el reciclaje de los materiales reutilizables, entre otros (Gaggero y Ordoñez, 2009).

2.1.6 Disposición final de los RDS. Ésta se llevará a cabo en un lugar previamente seleccionado, diseñado y operado para controlar los RDS generados sin causar daño o riesgos a la salud pública e impactos negativos al medio ambiente. Por lo antes descrito es importante utilizar los principios de ingeniería para llevar a cabo los procesos de confinamiento y aislamiento de los residuos en un área mínima, compactando y cubriendo de forma diaria los desechos, así como llevando a cabo el tratamiento de los lixiviados y biogases (Paniagua N, Giraldo E. y Castro L., 2011).

2.1.6.a Sitios para la disposición final de RDS. Para seleccionar los sitios de disposición final de RDS se toman en cuenta las siguientes consideraciones: (Molinas A., 2004)

- Establecer una distancia mínima de los cursos hídricos, áreas inundables y bañados, así como de las zonas urbanas.
- No implementar el vertedero o relleno cercano a rutas o carreteras.
- Determinar el coeficiente de permeabilidad del suelo, la pendiente, el uso y la ocupación del terreno y la profundidad del manto freático.

Los principales sitios para disposición final de desechos sólidos en Latinoamérica son los rellenos sanitarios y los vertederos a cielo abierto (Molinas A., 2004)

2.1.6.a.a Botaderos a cielo abierto. Un botadero o vertedero a cielo abierto es un área de disposición final de los RDS de forma descontrolada, en el cual se arrojan sobre el suelo los residuos o se entierran sin tomar en cuenta ningún tipo de procedimiento técnico como lo harían en un relleno sanitario (Matta, 2002).

Este tipo de botaderos causa grandes impactos ambientales adversos al ambiente en especial al paisaje, suelo, agua y biota en la zona donde son instalados. Cabe destacar que este tipo de vertedero no es seleccionado mediante procesos rigurosos para el análisis de aspectos técnicos, ambientales y sociales por ello representan tantos riesgos para los seres humanos y el medio ambiente (Matta, 2002).

2.1.6.a.b Relleno sanitario. Técnica para la disposición final de los residuos sólidos en el suelo que puede llevarse a cabo sin perjudicar al medio ambiente u ocasionar molestias y peligros a la salud. Este método utiliza principios de ingeniería para el confinamiento de residuos sólidos en la menor superficie posible mediante la reducción de su volumen al mínimo (Gaggero y Ordoñez, 2009).

En un relleno sanitario se dispone de estrictos procedimientos operacionales y de control como los sistemas de impermeabilización con lo que se impide que los lixiviados y los agentes contaminantes lleguen al suelo y al manto freático (Gaggero y Ordoñez, 2009).

2.1.6.a.b.a *Reacciones producidas en un vertedero*. Los procesos más importantes que se llevan a cabo una vez son dispuestos los RDS en un vertedero son: (Gaggero y Ordoñez, 2009)

- Movimiento desigual del material disuelto debido a los gradientes de concentración y los procesos de osmosis.
- Oxidación química de los materiales.
- Descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas o aeróbicas que generan gases y lixiviados.
- Movimiento vertical de los lixiviados producidos en el vertedero por la diferencia de presiones.
- Escape de biogases y la difusión de estos a través del vertedero.
- Asentamiento desigual de los RDS debido a la consolidación del material en los vanos.
- Disolución de los materiales orgánicos e inorgánicos por el agua y los lixiviados que se mueven a través del montículo de RDS.

2.2 Impactos generados por la mala disposición de los RDS.

La mala disposición de los desechos sólidos genera problemas tales como: (Paniagua N, Giraldo E. y Castro L., 2011).

- Generación de focos de infección debido a la proliferación de animales que aumentan las enfermedades en la población, la contaminación en el suelo, agua y aire.
- Aumento en las enfermedades provocadas por los vectores sanitarios generados por los desechos sólidos mal dispuestos en cada una de las etapas de manejo.
- Contaminación de suelos que altera su estructura debido a la acción de los lixiviados que se infiltran, con ello el suelo no puede ser utilizado durante largos periodos de tiempo por la falta de nutrientes o el exceso de estos.
- Contaminación en el agua debido a la infiltración de lixiviados a las aguas superficiales y subterráneas.
- Al arrojar los lixiviados a los cuerpos de agua cercanos a los vertederos sin ningún tipo de tratamiento se acelera en ellos el proceso de eutrofización.
- La atmosfera también se ve perjudicada debido al material particulado que se levanta, los malos olores generados y a la emisión de metano por la descomposición de la materia orgánica y la quema deliberada o espontánea en el basurero.

- La acumulación de desechos sólidos en lugares clandestinos o en sitios no aptos trae consigo impactos negativos al paisaje.
 - Los individuos que trabajan en lugares con un mal manejo de los desechos sólidos se encuentran expuestos a accidentes y a riesgos sanitarios de todo tipo.
 - La disposición en lugares no controlados y clandestinos aumenta los riesgos de producir desastres por explosiones o derrumbes en el área.
 - Aumento en el ruido debido al movimiento de los camiones y la maquinaria pesada en la zona.
 - Generación de corrientes hacia las aguas superficiales próximas debido a la escorrentía y la lluvia que se encuentra en contacto con los desechos sólidos mal dispuestos en el vertedero.
 - Aglomeraciones de aves que generalmente vuelan de forma ordenada en círculos, asechando su alimento.
 - Altas cantidades de humo debido a las constantes quemas espontáneas o inducidas por parte de los recolectores de basura que eliminan los desechos que no les sirven para aprovechar los que se encuentran por debajo del cúmulo de estos en el vertedero.
 - Proliferación de moscas alrededor del botadero de basura hasta un kilómetro a la redonda.
 - Basura regada en las vías públicas debido a que los camiones que se dedican a transportar los desechos generan volquetas y dejan tirada parte de su carga en las calles y caminos.
 - Asentamiento de personas recicladoras o trabajadores en el vertedero que construyen viviendas precarias bajo condiciones inapropiadas, lo cual no solo afecta el paisaje del área, sino también, aumenta el riesgo de derrumbes o deslizamientos en dichas viviendas.
 - Incremento en la cantidad de perros callejeros que viven con los recicladores o trabajadores del relleno, que son portadores de enfermedades tanto para otros animales como para su misma especie
- 2.2.2 Composición de la basura.** La basura se puede clasificar dependiendo el tipo de material que contiene y de acuerdo a su degradabilidad. La clasificación de la basura de acuerdo al material que la compone es la siguiente: (Holguin, 2006)
- Desechos orgánicos: tipo de desecho que posee un origen biológico, ya sea de una planta, un animal, o un alimento; ejemplo: los restos de animales, papel, cartón y estiércol.
 - Desechos inorgánicos: tipo de desechos que no poseen un origen biológico, proviene de la materia inerte de la industria o procesos no naturales; ejemplo: el vidrio, plástico, metales y otros materiales.

La clasificación de acuerdo con el tiempo que los desechos se degradan por acción de bacterias y hongos es la siguiente: (Holguin, 2006)

- Desecho biodegradable: se descomponen de forma natural en un tiempo muy corto, ejemplos de ellos son los desechos orgánicos producto de los alimentos que se degradan rápidamente.
- Desecho no biodegradable: no se descomponen fácilmente debido ya que tardan mucho tiempo en hacerlo, ejemplo de ello es el vidrio que se descompone en 4.000 años, el plástico entre 100 y 1000 años, una lata de soda en 10 años y un chicle en 5 años.

2.2.1.a Biodegradación de la Basura. El proceso de biodegradación en un inicio se da bajo condiciones aeróbicas, el oxígeno del ambiente queda atrapado dentro de los desechos después de la compactación. Este aire no es renovado constantemente por lo cual se agota y se procede a una biodegradación en condiciones anaeróbicas (Collazos, 2013).

2.2.2 Lixiviados. Los lixiviados son líquidos generados a partir de la degradación de la materia orgánica existente en los RDS y se da como el producto de la infiltración de agua de lluvia que atraviesa la masa o capa de desechos dispuestos. Al atravesar dicha capa se disuelve, extrae y transporta con ellos distintas sustancias contaminantes al suelo y a las aguas superficiales y subterráneas (Gaggero y Ordoñez, 2009).

La composición química de los lixiviados es muy variable debido a que dependerá de la antigüedad del vertedero, así como de la composición de los desechos dispuestos en él. Esta composición química en su fase ácida de descomposición presenta bajos índices de pH y altas concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), nutrientes y metales pesados.

Cuando los lixiviados pasan por la fermentación del metano presentaran un rango de pH entre los 6.5 y 7.5, así mismo bajos niveles de DBO₅, DQO, nutrientes y metales pesados. Es importante destacar que la biodegradación del lixiviado varía con el tiempo (Gaggero y Ordoñez, 2009).

2.2.2.a Caracterización de lixiviados. Los lixiviados se consideran también aguas residuales. La caracterización de aguas residuales es la determinación de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales para reúso o lodos. (MARN, 2006)

2.2.2.b Calidad de los lixiviados. La calidad de los lixiviados variara dependiendo del tiempo de funcionamiento del vertedero y del país en el cual se encuentre instalado. En los países en vías de desarrollo se presentan altas concentraciones de DBO₅, amoniaco, metales y sustancias precipitables en comparación de los países ya desarrollados debido a los diferentes tipos de consumos alimenticios existentes (Noeggerath y Salinas, 2011).

Los lixiviados jóvenes son mucho más contaminantes que los viejos, debido a que con el pasar del tiempo las concentraciones disminuyen. En un vertedero siempre se tendrá una parte de lixiviados jóvenes de los RDS que acaban de ingresar (0-1 año) y viejos (5 en adelante) (Noeggerath y Salinas, 2011).

2.2.2.c Cantidad de lixiviados. La cantidad de los lixiviados depende de tres variables: el área rellenada, la cantidad de infiltración y el sistema de drenaje e impermeabilización utilizado. El área rellenada afecta debido a que a través de ella entran al agua y se ponen en contacto con los residuos. Cuando se aumenta el área rellenada los lixiviados se incrementan. La cantidad de infiltración dependerá de las operaciones en el relleno, la desviación de aguas de escorrentía, la precipitación pluvial y las infiltraciones subterráneas. Finalmente, los sistemas de drenaje son los que permitirán que los lixiviados no contaminen el suelo y las aguas subterráneas, con ellos se recolecta adecuadamente el lixiviado para su posterior tratamiento (Noeggerath y Salinas, 2011).

2.2.2.d Componentes fisicoquímicos y biológicos de los lixiviados para la determinación del sistema de tratamiento. Los sistemas de tratamiento de los lixiviados se seleccionan dependiendo de las características fisicoquímicas y biológicas de los lixiviados; en la siguiente tabla se muestran los parámetros para el tratamiento según las características del lixiviado: (Zapata, 2012)

Tabla 1. Tratamiento para el lixiviado de acuerdo con sus características.

<i>Metodología</i>	<i>Caracterización del Lixiviado</i>
Procesos de oxidación avanzada	Relación de DBO ₅ Y DQO elevada. Recalcitrantes.
Pretratamientos como Floculación, coagulación y stripping.	Alto contenido de ácidos húmicos y sales inorgánicas.
Evaporación	Lixiviados viejos
Tratamiento con sustancias absorbentes como el carbón activado y los biosorbentes	Lixiviados viejos
Tratamiento biológico	Alto contenido de materia orgánica y nutrientes como Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), Sulfuro (S) y Calcio (Ca).

2.2.2.e Factores que inciden en la generación de lixiviados. Los principales factores que inciden para que se genere biogás en un vertedero son: (Ministry of Environment British Columbia, 2010)

- Temperatura
- pH
- Antigüedad de los residuos
- Condiciones atmosféricas
- Densidad y volumen de los residuos
- Cobertura del vertedero
- Humedad
- Cantidad de nutrientes disponibles
- Composición del residuo vertido
- Radiación solar

2.2.2.f Variables de influencia para la generación de lixiviados. Las principales variables de influencia en la generación de lixiviados son: (Collazos, 2013)

- Cantidad de basura y los incrementos diarios de ella.
- La composición física y química de los desechos.
- Grado de descomposición en la basura.
- Grado de retención de líquidos en la basura.
- Tiempo durante el cual se produce la descomposición de la basura.
- Tipo de material de cobertura.
- Espesor del material de cobertura
- Área que se encuentra expuesta al agua de lluvia.
- Precipitación pluvial.
- Altitud o presión atmosférica
- Temperatura

2.2.2.g Tratamiento de lixiviados. El tratamiento de lixiviado se lleva a cabo mediante procesos de oxidación avanzada en los cuales se degradan los compuestos refractarios que contienen los lixiviados ya estabilizados. El procedimiento ocurre cuando estos compuestos orgánicos se convierten en radical hidroxilo en dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O) o también se descomponen en compuestos menos peligrosos al ambiente que pueden ser descartados mediante tratamientos biológicos (Collazos, 2013).

Existen muchas alternativas para la gestión y el tratamiento de lixiviados entre ellas la evaporación del lixiviado, el tratamiento seguido por la evacuación, la descarga a sistemas municipales de aguas residuales y la creación de lagunas de tratamiento para lixiviados (Collazos, 2013).

Es importante destacar que el tratamiento de los lixiviados puede ser llevado a cabo de forma in-situ como de forma ex-situ. La elección entre ambos tratamientos dependerá de la disponibilidad económica y técnica con la que se cuenta. El tratamiento más empleado es el in-situ el cual consiste en la aplicación de tratamientos disponibles dentro del vertedero o relleno sanitario. El tratamiento ex-situ es el cual se lleva a cabo mediante el traslado de los lixiviados hacia una planta de tratamiento de aguas residuales (Collazos, 2013).

2.2.2.g.a Evaporación de lixiviados. Este es un método en el cual se capta el lixiviado y se dispersa sobre grandes superficies con la finalidad de propiciar la evaporación. Los lixiviados que salen del

vertedero deben ser transportados por una tubería a un tanque de almacenamiento, del cual se bombea a otro tanque de almacenamiento ubicado en la parte alta del vertedero. Del tanque en lo alto del vertedero se esparcen los lixiviados mediante aspersores a las áreas que no se encuentran cubiertas de basura, en las cuales previamente se requiere de la instalación de plataformas o pisos terminados y cubiertos para la posterior evaporación (Collazos, 2013).

Un procedimiento muy común es el traslado de los lixiviados mediante tuberías a lagunas aledañas en época lluviosa para posteriormente ser esparcidas en las zonas de evaporación en el vertedero o relleno sanitario (Collazos, 2013).

2.2.2.g.b Tratamiento químico. Este tipo de tratamiento no difiere al tratamiento dado a las aguas residuales convencionales, consiste en disminuir los porcentajes de DBO₅, DQO, metales pesados y los diversos contaminantes presentes en los lixiviados (Collazos, 2013).

2.2.2.g.c Sistemas de lagunaje profundo. Este tipo de sistemas se encuentran basados en la depuración de los lixiviados mediante balsas o lagunas, debido a la acción de la flora bacteriana contenida en dichos líquidos. Las lagunas profundas admiten puntas de carga orgánica y también la combinación con otros sistemas como el riego o la pulverización. Las condiciones de depuración en este tipo de sistemas pueden ser aeróbicas o anaeróbicas (Yáñez F., 1993).

2.2.2.g.c.a Lagunas anaeróbicas. Este tipo de tratamiento actúa bajo condiciones de ausencia de aire u oxígeno libre, se caracteriza por una alta carga orgánica y un corto periodo de retención. Estas lagunas tienen un aspecto físico muy particular, la coloración de sus aguas es gris o negro. Algunas lagunas anaeróbicas en operaciones iniciales con cargas reducidas pueden presentar un color rosado debido a las bacterias de sulfuro (Yáñez F., 1993).

El proceso de degradación anaeróbico se da mediante tres fases sucesivas de descomposición. La primera fase es la de hidrólisis en la cual se da la conversión de los compuestos orgánicos complejos en otros más sencillos que son solubles en agua. La segunda etapa de fermentación acida se da cuando las bacterias formadoras de ácido degradan los compuestos más simples de la etapa anterior para formar productos intermedios como ácidos orgánicos y compuestos más simples, dentro de los ácidos pueden encontrarse los acéticos, propiónicos y butíricos. La tercera fase es la de fermentación del metano en la cual los microorganismos tanto aeróbicos como

anaeróbicos, toman los productos intermedios de la fase anterior para producir productos finales como los son el metano, dióxido de carbono, hidrogeno sulfurado y agua (Yáñez F., 1993).

Para el diseño y la construcción de una laguna anaeróbica es importante tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Carga superficial: esta debe ser lo suficientemente alta para sobrepasar la carga facultativa, siendo esta última de 375 kg DBO₅/ Ha*día y la carga de diseño es superior a los 100 kg DBO₅/ Ha*día.
- Carga volumétrica: esta debe superar los 100 g DBO₅ / m³ x día.
- Profundidad: se recomienda entre los 2.5 y 5.0 metros.
- Eficiencias: estas dependerán del tipo de agua residual, por lo cual se debe tomar en cuenta que cuando se posee un 50% de reducción de DOB₅ el tiempo de retención es de 1 día, para el 60% de 2.5 días y para el 70% de 5 días.
- Acumulación de sólidos en el lixiviado: el intervalo de tasa de acumulación es de 0.08 a 0.113 L/ habitante * día (Yáñez F., 1993).

Las principales ventajas de las lagunas anaeróbicas son: su bajo costo, el reducido espacio para su construcción, lo atractivas que resultan para el tratamiento de desechos líquidos de altas concentraciones y su efectividad para el tratamiento de vertidos industriales biodegradables. Dentro de las principales desventajas de este tipo de tratamiento se encuentran que su proceso es muy sensible por lo cual puede implicar periodos de baja eficiencia con efluentes de calidad muy pobres, acumulación de natas, tasas bajas de mortalidad bacteriana, efluentes con alto contenido de materia orgánica y malos olores (Yáñez F., 1993).

2.2.2.g.c.a.1 Condiciones operativas de las lagunas anaeróbicas. Tomando en cuenta las etapas por las cuales los lixiviados deben pasar en la digestión anaeróbica es importante ajustar las condiciones operativas en las lagunas para producir la estabilización de la materia orgánica, el metano y el dióxido de carbono. Como punto de partida se debe tomar en cuenta que los tiempos de retención muy bajos no permiten que todas las fases se lleven a cabo, únicamente la fase hidrolítica y la acidogénica, produciendo con ello muy malos olores y muy baja eliminación de materia orgánica (CIDTA, 2016).

Cuando se posee baja carga orgánica y un tiempo de retención elevado se corre el riesgo de la formación de algas en la superficie, lo que conlleva a la producción de oxígeno que da muerte a las bacterias metanógenas y aumenta los malos olores en la planta. Otro factor importante es la temperatura, las bacterias metanógenas tienen un mayor crecimiento en altas temperaturas, un intervalo óptimo es el de 30-35 °C, esto implica que en verano la eficiencia de la laguna será muy superior. Por lo tanto, se debe mantener la planta en constante monitoreo para evaluar el equilibrio entre cada una de las fases para una correcta depuración (CIDTA, 2016).

Los mecanismos que permiten el buen funcionamiento de la laguna anaeróbica son:

- Abundancia en la carga orgánica durante la primera fase del tratamiento la cual permite que el oxígeno posiblemente presente se consuma en la zona adyacente a la entrada o en la superficie.
- Las lagunas anaeróbicas permiten la reducción de sulfatos a sulfuros, los cuales provocan la disminución en el crecimiento de algas.
- La falta de agitación en este tipo de lagunas permite que el aporte del oxígeno atmosférico sea despreciable (CIDTA, 2016).

Es importante establecer que la profundidad recomendada para este tipo de lagunas es entre los 2.5 metros y los 5.0 metros, en Latino América se recomiendan lagunas pequeñas, con profundidad media a alta y tiempos cortos de residencia (Yáñez F., 1993).

La conservación del calor es una de las razones por las cuales es necesario implementar lagunas pequeñas, profundas y con tiempo de residencia corto. La superficie expuesta a intercambiar calor con la atmósfera en estas es muy reducida. Otra opción es incorporar taludes de tierra para crear un sistema de aislamiento previniendo el enfriamiento de la laguna. Otras razones para el uso de este tipo de lagunajes son: la disminución en los requerimientos del terreno, puesto que, al construir lagunas profundas se reduce la superficie de la planta de lagunaje en un 40 a 50%; menor arrastre de sólidos; limpieza en intervalos de 3 a 6 años; así como menores costes de operación debido a que el fango se acumula normalmente en varios años (CIDTA, 2016).

En cuanto al tiempo de residencia se recomienda en este tipo de lagunas de 2 a 5 días dependiendo de la naturaleza del lixiviado y el clima en el lugar; este se debe ajustar con cuidado

debido a que esto permitirá que las fases se equilibren y se elimine la posibilidad de crecimiento de algas en la superficie (CIDTA, 2016).

2.2.2.g.d *Drenaje francés*. El drenaje francés es un tipo de sistema que permite redirigir el agua superficial y subterránea, básicamente es una zanja en el piso, rellena de material drenante compactado. En el fondo generalmente se disponen tubos drenantes perforados, de material poroso, que después de un relleno localizado de tierras, se aíslan de las aguas superficiales por una capa impermeable que sella su parte superior (Arriaga Y., 2014).

Los principales componentes del drenaje francés son una tubería de 4 pulgadas de diámetro, tela de jardinería y grava. El punto inicial o de partida deberá ser lo suficientemente profundo para captar el flujo esperado de agua, generalmente cuenta con una profundidad de 12 a 18 pulgadas. Se recomienda una pendiente para el alcantarillado de 1/8 a 1/4 de pulgada por pie sanitaria de longitud (Arriaga Y., 2014).

2.2.2.g.f *Geomembrana*. La utilización de este tipo de geotextil en vertederos permite evitar la fuga de agentes contaminantes y gases nocivos al medio ambiente. La elección del geotextil dependerá del tipo de vertedero, del entorno y la naturaleza de los residuos que se albergan (Texdelta, 2014).

La capa inferior, barrera estanca del vaso, se coloca a ambos lados de la geomembrana para proteger de perforaciones, sus funciones son el actuar como medio de control y fugas, impermeabilizar, drenar y ser la capa de seguridad. La capa superior, de cerramiento o sellado, evita la entrada de agua pluvial al vertedero e interfiere en los procesos de contaminación de estas, esta capa también impide que los agentes contaminantes salgan a la atmosfera mediante gases dañinos (Texdelta, 2014).

2.2.2.g.g *Recolección de lixiviados*. Para la recolección de lixiviados se debe partir de la localización de los sitios por donde los mismos se empozan o salen del montículo de basura. Una vez identificadas estas zonas se debe llevar a cabo la medición del caudal del lixiviado por métodos básicos (Yáñez F., 1993).

Ya localizados estos sitios se procede a construir canales para que el lixiviado salga por medio de la gravedad, el canal en tierra se sugiere que sean de 0.40 metros de alto por 0.40 metros de

ancho. Si se corre el riesgo que los canales se derrumben deberán colocarse piedra en su interior con el objetivo que actúen como filtro (Yáñez F., 1993).

Es recomendable el análisis fisicoquímico de los lixiviados recolectados, como mínimo se deben analizar los siguientes índices: (Yáñez F., 1993).

Tabla 2. Análisis fisicoquímico de los lixiviados.

Temperatura	Alcalinidad	Solidos disueltos
Ph	Calcio	Fenoles
DBO ₅	Potasio	Cianuros
Sólidos totales	Sodio	Tensoactivos
Nitrógeno total	Magnesio	Cromo total
Fósforo total	Hierro	Cadmio
Dureza	Cloruros	Plomo
DQO	Sulfatos	Mercurio

2.2.3 Intensidad de lluvia y generación de lixiviados en el Vertedero Choconal. Con respecto a la ubicación del sitio del vertedero los datos reportados por la estación Florencia, del Municipio de Santa Lucia Milpas Altas, Departamento de Sacatepéquez, para el año 2015, el promedio anual es de 1,388.70 mm y una precipitación máxima mensual de 248 mm en junio. La lluvia promedio que cae durante 24 horas, no supera los 250 mm.

Se estima que se genera en promedio un caudal de lixiviados de $Q_{\text{Lixiviados}} = 0.214$ litros/segundo, lo cual equivale a una producción diaria de 18.36 m³/día, considerando un factor de seguridad de FS= 1.25. Se estima que se podrán generar un volumen de 22 m³/día de lixiviados.

2.3.4 Margo legal en conformidad con el tratamiento de los lixiviados para el Vertedero Choconal. La base legal para el presente proyecto se describe a continuación:

a) Constitución Política de la República de Guatemala

- Artículo 97,- Medio Ambiente y Equilibrio Ecológico

“El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del

ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.”

- Artículo 119. Obligaciones del Estado.

“Son obligaciones fundamentales del Estado: en su inciso C. Adoptar medidas que sean necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales en forma eficiente.” (Congreso de la Republica de Guatemala,1993).

- b) Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente

- Artículo 1.

“El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional, propiciarán el desarrollo social, económico, científico y tecnológico que prevenga la contaminación del medio ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Por lo tanto, la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, suelo, subsuelo y el agua, deberán realizarse racionalmente.”

- Artículo 8.

“Para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características pueda producir deterioro a los recursos naturales renovables o no, al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional, será necesario previamente a su desarrollo un estudio de evaluación del impacto ambiental, realizado por técnicos en la materia y aprobado por la Comisión del Medio Ambiente. El funcionario que omitiere exigir el estudio de Impacto Ambiental de conformidad con este Artículo será responsable personalmente por incumplimiento de deberes, así como el particular que omitiere cumplir con dicho estudio de Impacto Ambiental será sancionado con una multa de Q.5,000.00 a Q.100,000.00. En caso de no cumplir con este requisito en el término de seis meses de haber sido multado, el negocio será clausurado en tanto no cumpla.”

- Artículo 15.

“El Gobierno velará por el mantenimiento de la cantidad del agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes para su inciso C Revisar permanentemente los sistemas de

disposición de agua servidas o contaminadas para que cumplan con las normas de higiene y saneamiento ambiental y fijar los requisitos.” (MARN,1986).

c) Código de Salud de Guatemala (Decreto 90-97 del Congreso de la República de Guatemala)

- Artículo 65: Enfermedades transmitidas por Vectores.

“El Ministerio de Salud, en coordinación con las demás instituciones del Sector que desarrollan acciones en esta área, administrará programas que promuevan la participación comunitaria para la protección del medio ambiente y la eliminación de los reservorios, que faciliten la proliferación de vectores que participan en la transmisión de estas enfermedades. Corresponde al Ministerio de Salud la autorización y control periódico de las empresas dedicadas a la eliminación de plagas y vectores.”

- Artículo 72: Programas de prevención y control de riesgos ambientales.

“El Ministerio de Salud, la Comisión Nacional del Medio Ambiente, las Municipalidades y la comunidad organizada con todas las otras instancias apropiadas, sean públicas o privadas, promoverán el desarrollo de programas de cuidado personal y de reducción de riesgos a la salud vinculados con desequilibrios ambientales u ocasionados por contaminantes químicos, físicos o biológicos el Ministerio de Salud velará por el cumplimiento de los acuerdos internacionales ratificados por Guatemala que prohíben el uso de sustancias dañinas al medio ambiente y en consecuencia al ser humano.” (Ministerio de Salud y Asistencia Social, 1997).

d) Código municipal (Decreto 12-2002 del Congreso de la República de Guatemala)

- Artículo 68. Competencias propias del municipio.

“Las competencias propias deberán cumplirse por el municipio, por dos o más municipios bajo convenio, o por mancomunidad de municipios, aplicable en su inciso A: Abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada; alcantarillado; alumbrado público; mercados; rastros; administración de cementerios y la autorización y control de los cementerios privados; recolección, tratamiento y disposición de desechos sólidos; limpieza y ornato.” (MUNI, 2002).

- e) Acuerdo Gubernativo 138-2017, Reforma al Acuerdo Gubernativo 236-2006, del 5 de Mayo, Reglamento de las Descargas y Reusó de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos

El Acuerdo Gubernativo 138-2017, La Reforma al Acuerdo Gubernativo 236-2006, del 5 de Mayo, Reglamento de las Descargas y Reusó de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, en adelante se denominará “reglamento”; así mismo en adelante los Límites Máximos Permisibles se denominarán “LMP”.

ARTICULO 2.

Se adiciona al Artículo 24:

- Artículo 24. Límites Máximos Permisibles de Descargas a Cuerpos Receptores para Aguas Residuales Municipales

“Las municipalidades y/o empresas encargadas del tratamiento de aguas residuales del alcantarillado público, cumplirán con los límites máximos permisibles para descargar a cuerpos receptores de la forma siguiente:

- 1) Con los límites máximos permisibles y plazos establecidos en la siguiente tabla, incluyendo solidos sedimentables:

Tabla 3. Límites Máximos Permisibles de Descargas a Cuerpos Receptores para Aguas Residuales Municipales.

		Descarga al alcantarillado público			
		Fecha máxima de cumplimiento			
		02/05/2019	02/05/2023	02/05/2027	02/05/2031
		Etapas			
Parámetros	Dimensionales	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	50	10	10	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramo por litro	250	100	100	100
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	275	200	100	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	150	70	20	20
Fósforo total	Miligramos por litro	40	20	10	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	NMP/100 ml	< 1 x 10 ⁷	< 1 x 10 ⁴	< 1 x 10 ⁴	< 1 x 10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	0,1	0,1	0,1	0,1
Cadmio	Miligramos por litro	0,1	0,1	0,1	0,1
Cianuro total	Miligramos por litro	1	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	3	3	3	3
Cromo total	Miligramos por litro	0,1	0,1	0,1	0,1
Mercurio	Miligramos por litro	0,02	0,02	0,01	0,01
Níquel	Miligramos por litro	2	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	0,4	0,4	0,4	0,4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1000	750	500	500

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El vertedero Choconal es administrado por la Municipalidad de La Antigua Guatemala, este no cuenta con la infraestructura y el sistema de tratamiento para lixiviados.

Diariamente la materia orgánica depositada en el vertedero se descompone debido a procesos físicos, químicos y biológicos, generando con ello un efluente de lixiviados el cual aumenta en época de invierno con la infiltración de agua de lluvia. Estos líquidos son altamente contaminantes y tóxicos con una carga elevada de materia orgánica, sales inorgánicas, nitrógeno, fósforo y metales pesados, los cuales atraviesan la capa de RDS y contaminan el suelo, así como las aguas superficiales y subterráneas.

Se debe realizar una caracterización de los lixiviados, conocer las condiciones del suelo y del terreno para construir una solución congruente a la realidad del municipio.

Ejecutar este trabajo de tesis es importante para conocer las características fisicoquímicas y biológicas de los lixiviados que se generan en el Vertedero Choconal y con ello proponer opciones de tratamiento.

De ser aprobada la presente propuesta y con los resultados obtenidos en la elaboración de esta tesis la Municipalidad de Antigua Guatemala podrá mejorar la gestión integral de sus lixiviados y reducir los impactos que causan el rebose de estos sin previo tratamiento al suelo y al manto freático. Siendo el objetivo primordial de la realización de esta tesis contribuir con la población del municipio de Antigua Guatemala en la reducción de los impactos negativos que el manejo no integrado del vertedero ha provocado, proponiendo alternativas de solución del tratamiento de estas aguas residuales de acuerdo a las condiciones reales de la municipalidad.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Plantear alternativas de solución para el tratamiento de los lixiviados del Vertedero Municipal Choconal de Antigua Guatemala, según su caracterización.

4.2 Específicos

- Caracterizar la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, pH, fósforo, nitrógeno, plomo, cadmio y arsénico, generados en los lixiviados del vertedero Choconal.
- Determinar las condiciones del suelo y disponibilidad de terreno para el implemento de las potenciales soluciones.
- Proponer las unidades de tratamiento de lixiviados identificadas como las mejores alternativas dentro del análisis del estudio.

5. METODOLOGÍA

5.1 Ambiente

El Vertedero Municipal Choconal se encuentra ubicado en el municipio de Antigua Guatemala y localizado en la Finca Florencia, Santa Lucia Milpas Altas, en el carril de retorno hacia la ciudad capital desde Antigua Guatemala en el kilómetro 37.5 (Ver figura No. 1). Este vertedero cuenta con una extensión de 13,400m² y un frente operativo de 17 a 18 m de largo. Este se encuentra en la cuenca hidrográfica del río Achíguate y en la sub-cuenca del Guacalate que vierte sus aguas al Océano Pacífico. Esta cuenta con una elevación de 1,822 metros sobre el nivel del mar. Los RDS que ingresan al vertedero provienen principalmente de los restaurantes, viviendas, comercios y hoteles en Antigua Guatemala (MUNI ANTIGUA, 2014).

Diariamente al vertedero llegan 25 camiones de 10 y 4 toneladas. El cobro por la prestación del servicio de basura en Antigua Guatemala es de Q40.00 por servicio privado, el 80% de la población cuenta con dicho servicio el otro 20% dispone de sus RDS mediante el servicio municipal gratuito (MUNI ANTIGUA, 2014).

Para el manejo y control del vertedero se cuenta con 3 personas, un empleado para el control, otro para las maniobras y el ingeniero a cargo dentro de la Municipalidad de Antigua Guatemala. En el vertedero actualmente se encuentran aproximadamente de 100 a 125 perros, de los cuales un pequeño porcentaje acompaña a sus dueños a la labor de separación de desechos y la otra gran mayoría vive en condiciones deplorables dentro del vertedero (MUNI ANTIGUA, 2014).

En época de invierno en la parte baja del barranco sobre el cual se encuentra instalado el vertedero, corre un río intermitente de caudal bajo. A 500 metros en línea recta del vertedero del otro lado del barranco se encuentra ubicado un pequeño caserío (MUNI ANTIGUA, 2014).

La distribución y compactación de la basura se realiza mediante un tractor de oruga, 6D, el cual compacta diariamente los RDS y los cubre con material inerte (material de tipo ripio) para disminuir la cantidad de malos olores provenientes de dicho sitio. Hasta el momento en el vertedero se cuenta ya con 4 plataformas de compactación (MUNI ANTIGUA, 2014).

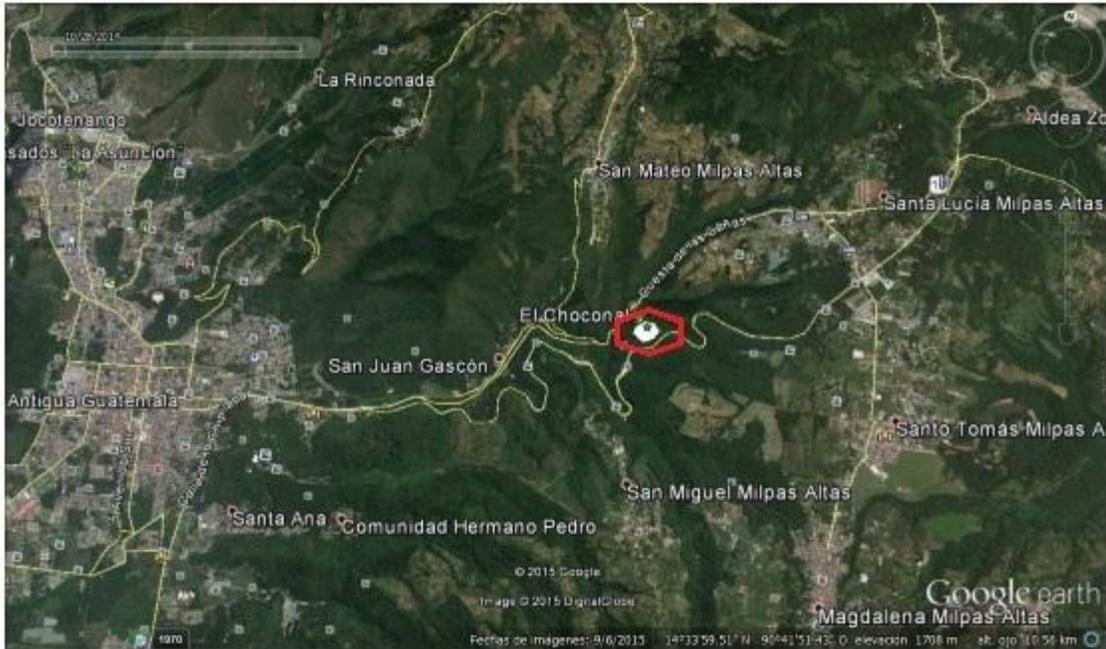


Figura 1. Ubicación del Vertedero Choconal.

5.2 Sujetos y/o unidades de análisis

Las unidades de análisis en el presente estudio se conformarán por el vertedero municipal Choconal que es la principal unidad de análisis, y en segundo plano por los lixiviados generados diariamente en las instalaciones del vertedero.

5.3 Tipo de investigación

El tipo de investigación será descriptiva, debido a que a lo largo de esta tesis se establecerán las características fisicoquímicas de los lixiviados mediante su caracterización, así como se establecerá el tipo de sistema más adecuado para su tratamiento.

5.4 Instrumento

Para la caracterización de los lixiviados se utilizarán los siguientes instrumentos:

- Material y equipo para toma de muestras
- *Recipientes:* (Camó, 2016)
 - Cubeta plástica
 - Jarra plástica graduada de 1 litro
 - 12 Recipientes de Plástico de 1 litros para muestras
 - Piceta

Equipo: (Camó, 2016)

- Papel pH

Equipo de Protección Personal: (Camó, 2016)

- Guantes
- Mascarilla
- Bata
- Lentes de laboratorio

Material para registro e identificación: (Camó, 2016)

- Etiquetas
- Cinta adhesiva
- Tabla portapapeles
- Ficha de registro
- Tijeras

Reactivos: (Camó, 2016)

- Ácido Sulfúrico
- Ácido Nítrico

Para el estudio de suelos se utilizarán los siguientes instrumentos:

- Material y equipo

- Pala
- Machete
- Bolsa Negra Plástica
- Cubeta **5.5 Procedimiento**

5.5.1 Consulta documental. En cuanto a la consulta de documentación se requerirá información técnica y de estudios afines al manejo de vertedero, que administra la Municipalidad de Antigua Guatemala. Esta municipalidad proporcionara la documentación requerida del manejo actual a detalle. A su vez se efectuará una investigación de las tecnologías disponibles para el tratamiento de lixiviados en la Biblioteca de la Universidad San Carlos de Guatemala y en fuentes disponibles en la red.

5.5.2 Fase de campo.

5.5.2.a Caracterización de lixiviados.

5.5.2.a.a Recolección de lixiviados. El procedimiento para llevar a cabo la recolección de lixiviados partirá de la localización de los sitios por donde se empozan o salen del montículo de basura en el vertedero.

Una vez localizados estos sitios se procederá a la colocación de canales de tubería para la toma de muestras del lixiviado.

5.5.2.a.b Toma de muestras de lixiviados.

- Frecuencia de Toma de Muestra

Para este proyecto se realizarán 3 muestreos durante la época de lluvia para determinar el comportamiento de la calidad fisicoquímica de los lixiviados en las siguientes fechas:

- 11 de junio de 2017, inicio de época de lluvia
- 7 de agosto de 2017, época alta de precipitación pluvial
- 24 de octubre de 2017, época de inicio de reducción de precipitación pluvial
- Número de Muestras

El número de muestras simples requeridas para conformar una muestra compuesta se definirá con base a los establecido en Artículo 49 de la Frecuencia de toma de Muestras del Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos: (MARN, 2006)

Tabla 4. Muestras compuestas.

<i>Horas diarias que opera la actividad que genera el lixiviado</i>	<i>Número mínimo de muestras simples para conformar una muestra compuesta</i>	<i>Intervalo mínimo en horas entre toma de muestra simples</i>
Menor que 8	2	2
De 8 a 12	3	3
Mayor a 12	4	3

(MARN, 2006)

Con base en la Tabla 4. se estableció que el Vertedero Choconal opera de 8 a 12 horas diarias de actividades que generan lixiviado, por ello se establecerá que la cantidad de muestras simples para conformar una compuesta será de 3.

- Parámetros muestreados

Los siguientes parámetros serán los analizados en las muestras de lixiviado:

- DBO₅
- DQO
- N_T
- Pt
- Plomo
- Cadmio
- Arsénico

- Etiqueta

Las muestras del lixiviado deben de estar identificadas, por ello se realizarán las etiquetas un día antes del muestreo y se cubrirán completamente con cinta adhesiva transparente para evitar que la información se borre (Camó, 2016).

La etiqueta para las muestras de Lixiviado del Vertedero Choconal será la siguiente:

Fecha de Muestreo:	
Investigación:	
Ubicación:	
Muestra:	
Análisis a realizar por muestra:	
Responsable:	
Vertedero Choconal, Antigua Guatemala	

5.5.2.a Determinación de las condiciones del suelo.

5.5.2.a.a *Proceso de excavación.* Este proceso se llevará a cabo con los materiales antes descritos. La profundidad a la cual se hará la excavación es de 20 cm. aproximadamente. La forma en que se llevara a cabo la extracción de la tierra se muestra en la Figura No. 2.

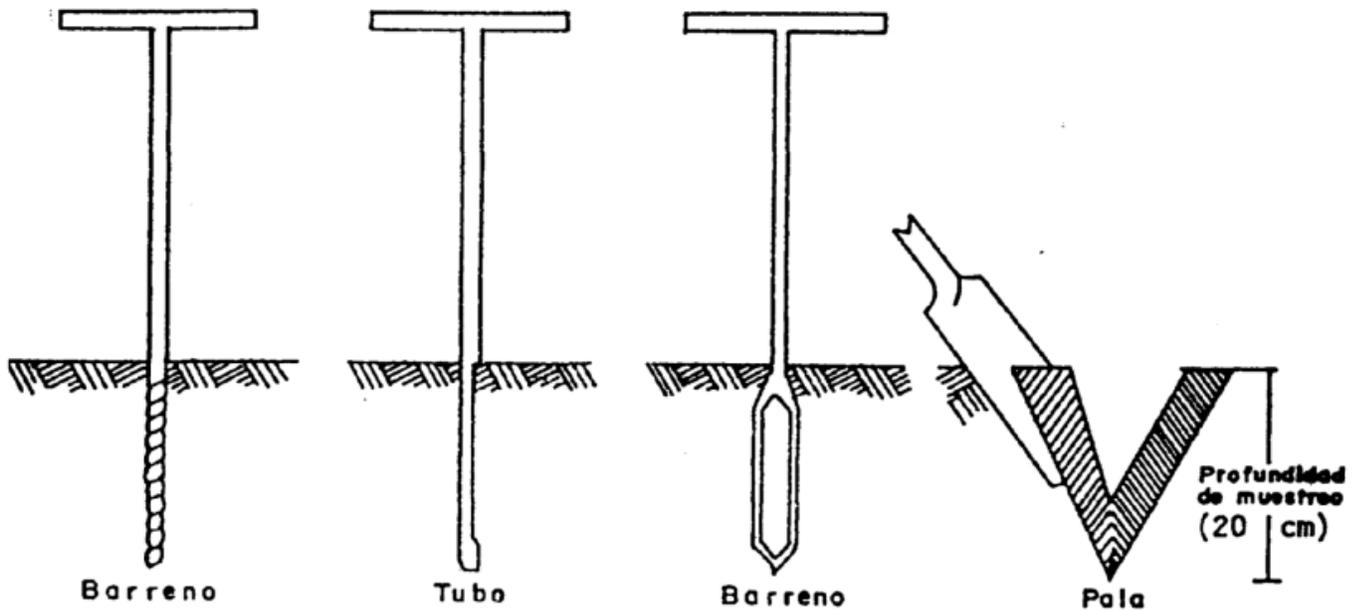


Figura 2. Forma de llevar a cabo la extracción de Submuestras.

La muestra del suelo será extraída con la técnica que se muestra en la Figura 3.

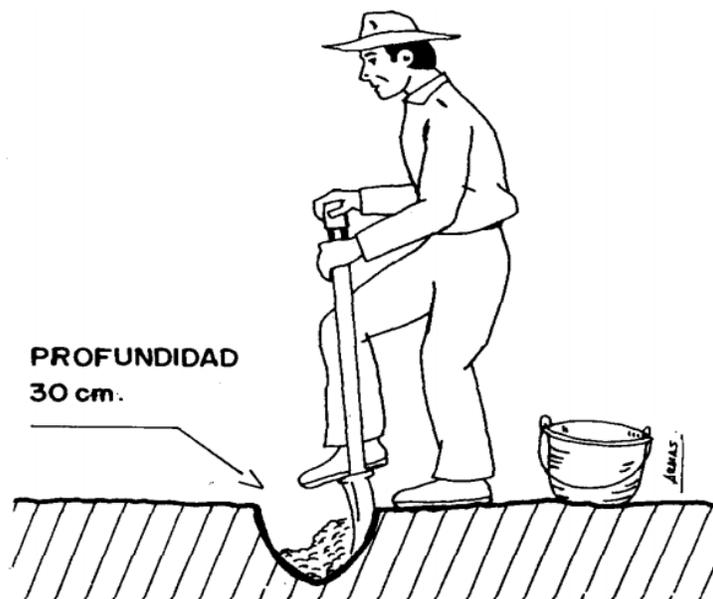


Figura 3. Forma de aplicar la técnica.

5.5.2.a.b Toma de muestra. El procedimiento para la toma de muestras será el siguiente:

- Se seleccionarán los lugares a muestrear al azar en forma de zig-zag. Se tomará una distancia de 20 a 30 cm. entre cada una.
- Se depositará la muestra en un balde o cubeta.
- Se tomarán 10 muestras
- Se homogenizarán las muestras de suelo y se recolectará 1kg. de toda la mezcla.
- Se colocará la muestra final en una bolsa plástica
- Se identificará la muestra con una pequeña etiqueta con la información del lugar de toma de muestra, el encargado, profundidad y la fecha.

5.5.2.a.c Traslado de muestras al laboratorio. Las muestras de suelo serán trasladadas a un laboratorio para el análisis de sus características físicas en una bolsa de plástico y con una etiqueta que contenga la información básica antes mencionada.

5.5.2.d.d *Análisis de laboratorio*. Las muestras recabadas serán analizadas en los laboratorios de la Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos, UVIGER en la Facultad de Agronomía de la Universidad San Carlos de Guatemala.

5.6 Análisis de la información

5.6.1 Fase de entrevistas y recolección de información. Esta fase se llevará a cabo mediante la entrevista al Ingeniero a cargo del Vertedero Choconal, las principales interrogantes serán enfocadas a conocer los datos del manejo general del vertedero.

5.6.2 Desarrollo de un informe. En el desarrollo del informe se llevará a cabo como primer punto la investigación para conocer la gestión integral de los RDS, los impactos negativos generados por su mala disposición, así como sus posibles tratamientos. Además, se recabará información sobre el manejo y funcionamiento del vertedero Choconal. Una vez recolectados todos estos datos se llevará a cabo la caracterización de los lixiviados presentes en la época de lluvia. Con los resultados de dicha caracterización se establecerá en el presente informe el tratamiento más adecuado a implementar en el vertedero.

5.6.3 Descripción del suelo y las condiciones del terreno. Se llevará a cabo el análisis de las características de las muestras de suelo tomadas del vertedero Choconal para establecer las posibles soluciones de tratamiento para la última capa de compactación del vertedero y establecer el lugar más factible para la instalación de los sistemas de tratamiento para los lixiviados. Los parámetros evaluados serán el porcentaje de arcilla, limo y arena, y su humedad.

5.6.4 Construcción de propuestas de solución. Para el desarrollo de las propuestas de solución, se identificarán medidas correctivas y acciones a implementar de carácter inmediato en las instalaciones del Vertedero Choconal; así como se elaborará un plan de manejo de los residuos sólidos para las empresas generadoras de metales pesados ubicadas en los municipios de Antigua Guatemala, Santa Lucía Milpas Altas y San Lucas Sacatepéquez. Las soluciones planteadas se basarán en el análisis de los resultados a obtener de los estudios de aguas residuales a efectuar a los lixiviados del vertedero.

5.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 5. Cronograma de Actividades Realizadas.

ACTIVIDADES	E N E R O	F E B R E R O	M A R Z O	A B R I L	M A Y O	J U N I O	J U L I O	A G O S T O	S E P T I E M B R E	O C T U B R E	N O V I E M B R E	D I C I E M B R E	E N E R O	F E B R E R O	M A R Z O	A B R I L	M A Y O
Recolección de Información secundaria	■	■								■	■						
Vertedero Choconal,		■															
Visita No. 2 Vertedero Choconal, Entrevista a Jefe de Maniobras			■														
Visita No. 3 Vertedero Choconal, Recoleccion de Informacion financiera, estudio de condicion del suelo y del terreno para brindar solucion				■													
Muestreo y análisis de laboratorio No.1					■												
Muestreo y análisis de laboratorio No.2							■										
Muestreo y análisis de laboratorio No. 3									■								
Analisis de Resultados y generacion de alternativas de solucion de tratamiento													■	■	■		
Elaboracion de Informe Final													■	■	■	■	
Entrega del Informe Final																	■

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Análisis fisicoquímico de lixiviados

Tabla 6. Resultados de los análisis de lixiviados.

<i>Fecha</i>	<i>No. Muestra</i>	<i>DBO₅ mg/L</i>	<i>DQO mg/L</i>	<i>N mg/L</i>	<i>P mg/L</i>	<i>Pb mg/L</i>	<i>Cd mg/L</i>	<i>As mg/L</i>
11/7/2017	1	6,970	4,879	5	14	0.3	1.04	0.07
07/8/2017	2	5,590	4,192	21	8	1.1	0.51	0.0113
24/10/2017	3	2,350	1,483	17	66	0.15	0.57	0.0004

Para la recolección del lixiviado se realizaron 9 muestreos simples para conformar 3 compuestos. Las muestras corresponden a diferentes meses de la época de lluvia del año, esto se debe a que la concentración del lixiviado disminuirá conforme esta avanza. En verano estos no corren y se encuentran concentrados por lo cual, al caer la primera precipitación, se infiltran a través de la celda de desechos sólidos hasta el manto freático por acción del agua de lluvia que los transporta. Por esto el primer muestreo fue efectuado en el mes de Julio, el siguiente en el mes de agosto, y el último en el mes de octubre debido a que en este periodo se obtuvo la mayor infiltración por lo cual los lixiviados se encontraron mayormente diluidos.

Estos lixiviados pertenecen a un vertedero no controlado. Los parámetros muestreados fueron DQO, DBO₅, N, P, Pb, Cd y As. Los parámetros restantes que requiere el reglamento no fueron monitoreados debido a asuntos financieros, únicamente fueron muestreados estos 7 en los Laboratorios de la Universidad de San Carlos de Guatemala en sus unidades de Laboratorio de Investigación Química Ambiental y Laboratorio de Análisis Fisicoquímico y Microbiológico.

6.1.1 Caracterización del lixiviado como agua residual de acuerdo con su naturaleza. En el Plan de Desarrollo Municipal de Sacatepéquez se detallan algunas de las principales actividades realizadas en el municipio, a partir de estas se definieron los posibles orígenes de los nutrientes y metales pesados presentes en las muestras analizadas.

La naturaleza de los lixiviados se vio reflejada en los resultados de sus parámetros, en cuanto al DBO₅ y DQO. Estos en altas concentraciones reflejan la presencia de una elevada carga de materia

orgánica, provenientes posiblemente de actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos, así como la descomposición de frutas, verduras, resto alimenticios, papel higiénico, pañales, toallas sanitarias, hojarasca, entre otros.

Los resultados del nitrógeno establecieron que la naturaleza del lixiviado es de tipo industrial, proveniente posiblemente de actividades relacionadas con la elaboración de alimentos como leches, sopas, consomés y chocolates de empresas de fabricación de alimentos y el empaquetamiento de frutas y carnes. En cuanto al fósforo total se estableció que su origen podría ser el empaquetado de frutas y carnes, la fabricación de galvanizado para la elaboración de artesanías de hierro forjado y muebles coloniales; por otra parte, su presencia puede provenir de materia fecal presente en los pañales y papeles higiénicos, en los restos de jabones y sus envoltorios; así como proviene de ciertos residuos alimenticios.

El origen de la presencia de Pb, Cd y As en los lixiviados analizados podría derivarse de la industria de la extracción de recursos mineros como el basalto que es rico en silicatos de magnesio y hierro, así como de la fabricación de artesanías de hierro forjado y la elaboración de muebles de tipo colonial.

6.1.2 Caracterización del lixiviado de acuerdo con el tipo de aguas residuales presentes en el vertedero

6.1.2.a Análisis de la biodegradabilidad de los lixiviados. Los procesos de biodegradación llevados a cabo en un vertedero se encuentran presentes tanto en materiales orgánicos como inorgánicos. Los procesos de oxidación involucran el consumo de oxígeno en el agua, por esta razón es indispensable medir la cantidad de DBO₅ en las muestras de lixiviado. Este permite medir la cantidad de oxígeno en el agua necesario para la descomposición de los materiales biodegradables. Para la medición de la carga inorgánica en las aguas es necesario medir el DQO. Comúnmente la cantidad de DQO supera la de DBO₅ debido a que muchas sustancias orgánicas se pueden oxidar químicamente pero no biológicamente.

En este inciso se determinó la relación entre el DQO y el DBO₅. Este índice establece el grado de biodegradabilidad de las aguas residuales y su posible tratamiento. En base al resultado de la razón de DQO y DBO₅, se determinó que los resultados obtenidos presentan un rango de 0.63 a 0.75 (ver Tabla 11. en Anexos), indicando con ello que se cuenta con “Materia orgánica muy

degradable” por lo cual la descomposición biológica debe ser la base del sistema de tratamiento para los lixiviados a tratarse (Ver Tabla 7.)

Guatemala cuenta con una composición de los desechos en la cual, del total de estos, el 78 % corresponde a desechos orgánicos y el 22% a desechos inorgánicos según la OPS (Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud). Esto se ve reflejado en los resultados obtenidos en los cuales los valores de DQO superan a los de DBO₅. (Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud: División de Salud y Ambiente, 2005).

Tabla 7. Resultados de las comparaciones de los resultados del DBO₅ y DQO.

<i>Análisis</i>	<i>Dimensionales</i>	<i>Valores 1er Muestreo</i>	<i>Valores 2do Muestreo</i>	<i>Valores 3er muestreo</i>
DBO ₅	mg/L	6,970	5,590	2,350
DQO	mg/L	4,879	4,192	1,483
DQO/DBO ₅	N/V	0.7	0.75	0.63
Recomendación de Tratamiento		Materia orgánica muy degradable	Materia orgánica muy degradable	Materia orgánica muy degradable

6.1.2.b Caracterización del lixiviado de acuerdo con el cumplimiento de los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo 138-2017.

6.1.2.b.a Análisis de DBO₅ como índices de contaminación de materia orgánica

Demanda Biológica de Oxígeno

Los resultados de los muestreos realizados de acuerdo con la Tabla 6., mostraron el incumplimiento de los LMP del Acuerdo Gubernativo 138-2017. Los lixiviados en la época seca se concentran debido al proceso de descomposición de la materia orgánica, por ello los altos niveles de DBO₅. Con el inicio de la temporada de lluvia estos se empiezan a mover por la infiltración. Es importante destacar que en Guatemala aproximadamente el 78% de los desechos se conforman de materia orgánica, esto se ve reflejado en los resultados para DBO₅ que superan el LMP de 250 ml/L, para la etapa uno del Artículo 2 del Acuerdo Gubernativo 138-2017 (Ver figura 4.).



Figura 4. Resultados de DBO₅ para cada uno de los muestreos efectuados.

6.1.2.b.b Análisis del cumplimiento de los nutrientes de acuerdo con el reglamento

Nitrógeno Total

Los resultados de los muestreos para Nitrógeno Total presentados en la Tabla 6., mostraron el cumplimiento de los LMP para la etapa uno del Artículo 2 del Acuerdo Gubernativo 138-2017 (Ver Tabla 8.).

Tabla 8. Cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006 para el Nt.

Muestreo	Parámetro	Dimensional	LMP en la segunda etapa de cumplimiento	Resultado
1	Nt	mg/L	150	5
2		mg/L		21
3		mg/L		17

Fosforo Total

Debido a un error de laboratorio la tercera muestra se descartó. Mediante el análisis de dos muestras de Fosforo total se determinó de acuerdo con la Tabla 6, que los parámetros de Pt cumplen con los LMP del reglamento (Ver Figura 5.).

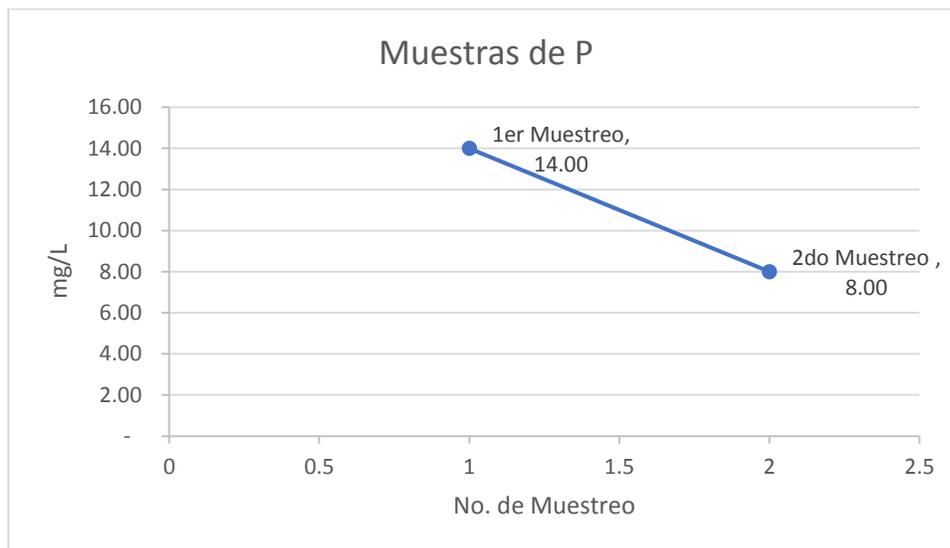


Figura 5. Resultados del muestreo de P.

6.1.2.b.c Análisis del cumplimiento con los establecido en el Acuerdo Gubernativo 138-2017 para metales pesados

Plomo

Los resultados de los muestreos realizados de acuerdo con la Tabla 6., mostraron el cumplimiento de los LMP del reglamento para la etapa uno del año 2019 en el primer y último muestreo. Sin embargo, el segundo muestreo no cumple con los LMP establecidos en el Artículo 2 del Acuerdo Gubernativo 138-2017.

Los valores de Pb superaron significativamente el LMP de 0.4 mg/L (ver Tabla 9.) del reglamento, lo cual pone en riesgo las aguas subterráneas por introducción de elementos químicos metálicos.

Como se mencionaba anteriormente en el Plan de Desarrollo Municipal de Sacatepéquez algunas de las principales actividades en el municipio son la extracción de recursos mineros como el basalto que es rico en silicatos de magnesio y hierro, así como de la fabricación de artesanías de

hierro forjado y la elaboración de muebles de tipo colonial, de estas los posibles residuos son metálicos como el Pb. Es importante establecer exactamente las actividades de las cuales proviene su origen y evitar la disposición final en el vertedero.

El Pb puede causar múltiples efectos no deseados en la salud como el incremento de la presión sanguínea, daño a los riñones, abortos, perturbación del sistema nervioso, daño cerebral, disminución de la fertilidad del hombre, perturbación en el comportamiento agresivo, hipersensibilidad en niños, entre otros (Lenntech B.V., 2018).

En cuanto a los impactos ambientales causados por el plomo al ecosistema, se encuentra el envenenamiento de organismos terrestres y acuáticos, la interferencia en las funciones normales del fitoplancton, la perturbación de las funciones del suelo, entre otras.

Tabla 9. Cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 138-2017 para el Pb.

Muestreo	Parámetro	Dimensional	Lmp en la segunda etapa de cumplimiento	Resultado
1	Pb	mg/L	0.4	0.3
2		mg/L		1.1
3		mg/L		0.15

Nota: Los resultados para el color rojo no cumplen con lo establecido en el Art. 24 del Acuerdo 239-2006 y los verdes para los datos que si cumplen con lo establecido.

Cadmio

Los resultados de las muestras de Cd detalladas en la Tabla 6, mostraron el incumplimiento de los LMP del reglamento correspondiente a la primera etapa del año 2019 (Ver Figura 6.). El origen de esta elevada cantidad de Cd es de tipo industrial, posiblemente proveniente de la extracción de recursos mineros como el basalto, así como de la fabricación de artesanías de hierro forjado y la elaboración de muebles de tipo colonial.

Cuando se dan incendios en los vertederos, existen procesos químicos de combustión, entre los cuales se liberan gases tóxicos con partículas de Cd. Las comunidades cercanas a un vertedero podrían inhalar aire contaminado con Cd, dañando severamente sus pulmones. En el caso de

ingesta, manipulación de alimentos o saneamientos con agua contaminada con cadmio los riñones se podrían ver afectados, cuando el Cd ingresa a la corriente sanguínea (Lenntech B.V., 2018).

En cuanto al impacto ambiental en los ecosistemas el Cd en los suelos es extremadamente peligroso, se adhiere a las plantas y envenena a los animales que las consumen, las lombrices y otros organismos esenciales para el suelo son sensibles a envenenarse a muy bajas concentraciones (Lenntech B.V., 2018).

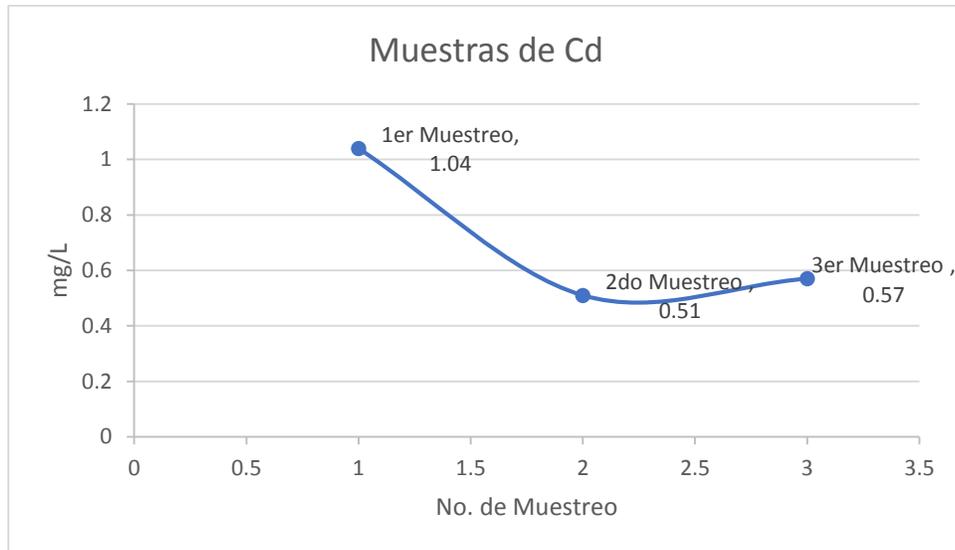


Figura 6. Resultados de las Muestras de Cd.

6.1.2.b.c.a *Repercusión de la presencia de altos niveles de metales pesados en los lixiviados.* La presencia de metales pesados en lixiviados, aun en cantidades pequeñas puede anular la acción de las bacterias anaeróbicas en las plantas de tratamiento y contaminar el manto freático.

6.1.2.b.c.b *Análisis del cumplimiento con los establecido en el Acuerdo Gubernativo 138-2017 para el arsénico*

Arsénico

Mediante el análisis llevado a cabo se determinó de acuerdo con la Tabla 6, que los parámetros de As si cumplen con los LMP del Acuerdo Gubernativo 138-2017 en su primera etapa de Cumplimiento para el año 2019 (Ver Tabla 10.)

Tabla 10. Cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006 para el As.

Muestreo	Parámetro	Dimensional	Lmp en la segunda etapa de cumplimiento	Resultado
1	As	mg/L	0.1	0.07
2		mg/L		0.0113
3		mg/L		0.0004

Comparación de todos los resultados con los LMP

A continuación, se presenta una gráfica que muestra todos los resultados obtenidos de la caracterización comparados con su LMP establecido por el Acuerdo 236-2006 (Ver Figura 7.).

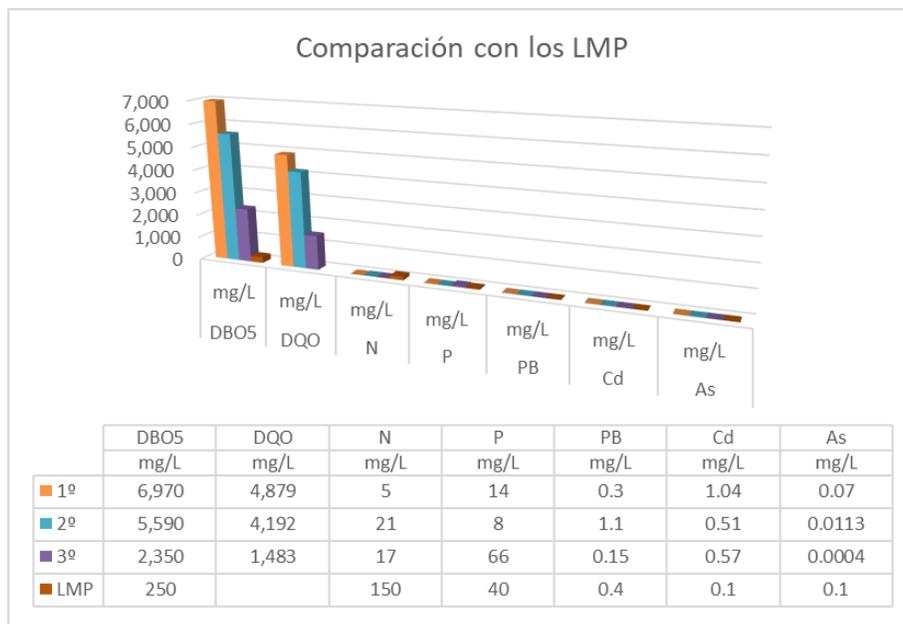


Figura 7. Comparación de todos los resultados con los LMP.

6.1.3 Análisis del lixiviado y el sustrato del vertedero Choconal. El nivel freático bajo el Vertedero Choconal se encuentra ubicado a una profundidad mayor a los 100 metros. Este cuenta con una barrera natural de roca que conforma su estrato, la cual actúa como una barrera geológica para evitar la contaminación de los mantos acuíferos subterráneos debido a la percolación de lixiviados (MUNI ANTIGUA, 2015).

Según la capacidad de Uso de la Tierra para Guatemala el vertedero se encuentra en un suelo Clase VII, lo cual indica que es apropiado para la explotación forestal, ubicándose sobre un manto de piedra natural y un suelo de tipo cauque (MUNI ANTIGUA, 2015).

Según la clasificación de reconocimiento de los suelos de Guatemala de Simmons, el municipio de Santa Lucia Milpas Altas donde se encuentra ubicado el vertedero presenta una serie de suelos Alotenango y Cauque. La serie Alotenango indica suelos excesivamente drenados, característicos de lugares inclinados a muy inclinados, de color café oscuro a café muy oscuro de consistencia suelta, fertilidad regular, textura franca arenosa y de erosión alta. La profundidad de estos suelos está entre los 25 a 50 cm de espesor. La serie de suelos Cauque pertenece a relieves ondulados a fuertemente inclinados, con drenaje interno muy bueno de color café muy claro, de textura franco-arcillosa y profundidad de 75 cm (MUNI ANTIGUA, 2015).

De acuerdo con el estudio de suelos efectuado y analizados en la unidad de UVIGER el tipo de suelo conformado en el vertedero es de 31.04% arcilla, 27.30% limo y 65.22% arena, para más detalle ver anexo. Debido a la constitución del suelo anteriormente descrita y por el alto porcentaje de arena se corre el riesgo de una significativa infiltración de lixiviados al manto freático.

El vertedero se encuentra situado en la Región Central de Guatemala por lo cual su topografía es montañosa y volcánica, con presencia de mesetas. Afortunadamente en el área no se encuentra ninguna falla geológica regional (Ver Figura 8.), por ello no existe el riesgo de fracturas en la barrera natural de roca que conforma el estrato de la ANTIGUA, 2015).

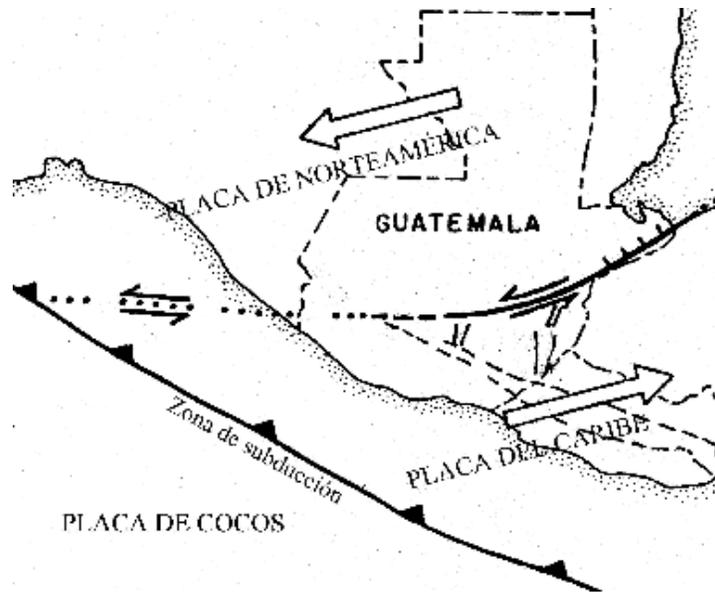


Figura 8. Placas Tectónicas de Guatemala.

6.1.4 Disposición del suelo para implementación de soluciones. El área total del vertedero es de 13,400 m² y de la finca de Florencia propiedad de la Municipalidad de Antigua Guatemala donde se ejecutan las operaciones de este es de 3,724,057.4249 m². Por ello se dispone de área suficiente para la implementación de las soluciones que se plantearan en los siguientes incisos. (MUNI ANTIGUA, 2015).

6.1.5 Planteamiento de la propuesta solución para el sistema de tratamiento de lixiviados de vertedero Choconal actualmente. Con base en los resultados de los estudios técnicos efectuados a lo largo de esta tesis, se presentan a continuación una serie de medidas de carácter inmediato a implementar en el Vertedero Choconal.

6.1.5.a Medidas preventivas de contaminación de metales pesados al manto freático. Como previamente se menciona la presencia de metales pesados como el plomo y el cadmio, en los lixiviados analizados en el vertedero crearon la necesidad de implementar medidas preventivas para erradicar dicha contaminación. Por lo antes descrito fue necesario desarrollar un reglamento municipal en el cual se prohíba la disposición de estos en el vertedero. Las medidas preventivas para evitar la contaminación en el manto freático son las siguientes:

6.1.5.a.a Identificación y programa de sensibilización con empresas generadoras de metales pesados. La Municipalidad de Antigua Guatemala deberá organizar programas en los cuales se

creen alianzas estratégicas y grupos de trabajo para disminuir la disposición final de metales pesados en el Vertedero Choconal.

Las principales acciones que deben efectuarse como parte del Programa son:

- La Municipalidad de Antigua Guatemala deberá llevar a cabo la identificación de las empresas generadoras de metales pesados en los municipios de Antigua Guatemala, Santa Lucia Milpas Altas y San Lucas Sacatepéquez.
- Una vez identificadas las empresas deberán ser convocadas a una reunión en las instalaciones de la Municipalidad de Antigua Guatemala con objetivo de establecer un acercamiento para darles a conocer que a partir del año en curso queda terminantemente prohibida la disposición final de metales pesados en el vertedero.
- Posteriormente se espera sostener múltiples reuniones que creen la sensibilización del daño que ocasiona la presencia en las aguas y el suelo de los metales pesados provenientes de estas industrias.
- Una vez logrado la sensibilización se deberán hacer alianzas estratégicas y grupos de trabajo conjuntamente para llevar a cabo la separación en fuente y el reciclaje de las chatarras.
- Es importante convocar a una reunión entre los proveedores de servicios de chatarrerías y reciclaje, y estas empresas.
- Es indispensable la creación de un centro de acopio municipal de metales pesados.
- Finalmente es necesario que la MUNI Antigua establezca un plan de monitoreo para verificar el monitoreo del presente programa.

6.1.5.a.b Separación de metales pesados en la fuente. La separación de metales pesados se llevará a cabo directamente en las fábricas de artesanías de hierro forjado, ventas de baterías de automóviles y fábricas de elaboración de muebles de tipo colonial presentes en los municipios de Santa Lucia Milpas Altas, San Lucas Sacatepéquez y Antigua Guatemala. Una vez llevado a cabo este proceso es necesaria la clasificación de los desechos metalúrgicos que pueden ser reutilizados, reciclados o que simplemente deben ser conducidos a una chatarrera para su disposición final.

Los desechos de metales pesados que no pueden ser reciclados pueden ser enviados a las siguientes chatarrerías:

- i. Chatarrera Acción- 27 Avenida 9-30 Zona 4 Mixco Finca el Naranja
- ii. Chatarrería Guerra – 7 Av. 29-50 z.3

6.1.5.a.c Reciclaje de metales pesados. El plomo es un material muy fácil de ser reciclado, se puede utilizar un número indefinido de veces cuando se somete a procesos de afinado y fusión para producir plomo secundario. En el caso del cadmio puede reciclarse de diversas fuentes como las baterías de vehículos y sus repuestos, así como de los aparatos y piezas eléctricas. Por ello es importante tomar en cuenta las siguientes recicladoras como una opción para la disposición de los desechos fuera del vertedero Choconal.

Principales recicladoras de metales:

- Recipa – 22 Av. 42-61 Z.12
- Recicladora las Tres Marías - tel.: 2464-7834
- Corporación de Reciclaje de Metales S.A. - 6c 0-25 Z. 12
- Recicladora de Metales Trébol 6 C 0-25 Z-12

6.1.5.b Reducción de la disposición final de los desechos orgánicos en el vertedero Choconal. Es importante tomar en cuenta la necesidad de reducir la cantidad de desechos orgánicos que ingresan diariamente al Vertedero Choconal, debido a que incrementan los valores de la demanda bioquímica de oxígeno; así como aumentan la humedad presente en el montículo de RDS, generando con ello una mayor cantidad de lixiviados. Por lo antes descrito es indispensable que la Municipalidad de Antigua Guatemala cree programas en los cuales establezcan medidas para la reducción de la disposición final de los desechos orgánicos en el vertedero. Una alternativa podrá ser la separación en fuente de los desechos orgánicos, los cuales pueden ser aprovechados para la generación de compostaje para plantas ornamentales de los viveros de la zona y para los jardines de Antigua Guatemala.

6.1.5.b Estructura de retención de lixiviados y transporte a sistema de tratamiento. De acuerdo con el presente trabajo de tesis se valida el proyecto planteado por la Municipalidad de Antigua Guatemala, en cuanto a la implementación de una geomembrana, drenaje francés y laguna anaeróbica para el transporte y tratamiento de los lixiviados.

6.1.5.c.a *Geomembrana*. Como parte del sistema de tratamiento de los lixiviados dentro del Vertedero Choconal, se propone la impermeabilización de toda superficie del montículo de RDS, a partir de la cuarta plataforma de compactación; así como para el área donde será instalada en un futuro la laguna anaeróbica a proponer (MUNI ANTIGUA, 2015).

El procedimiento será el siguiente:

- Se llevará a cabo la impermeabilización por medio de 0.50 m de arcilla de una zona dentro del vertedero que se encuentre libre de raíces y troncos, donde se emplazará la laguna de lixiviados.
- Se utilizará una geomembrana capaz de resistir los rayos UV, de polietileno (HDPE), con alta resistencia física y suficiente resistencia a productos químicos. Esta geomembrana deberá unir con un traslape no menor al de su especificación técnica (2 pies), en sentido contrario a la pendiente de evacuación de los lixiviados en el vertedero para con ello certificar la hermeticidad de la geomembrana (MUNI ANTIGUA, 2015).

6.1.5.c.b *Drenaje francés*. Se propone la construcción de al menos tres zanjas para el drenado de los lixiviados atrapados dentro del área del vertedero, con su respectivo relleno de piedra para favorecer la infiltración y el drenado de los lixiviados (MUNI ANTIGUA, 2015).

Los lixiviados serán evacuados por las tuberías de conducción de PVC ranuradas de un diámetro de 4", a través de zanjas de evacuación hacia las cunetas de manejo y conducción de lixiviados, las cuales serán de concreto reforzado de una base inferior de 0.10 metros, una altura de espejo de agua de 0.20 metros máximo y un ancho libre de espejo de agua de 0.30 metros. Esta tubería tendrá una capacidad hidráulica de conducir de 5.39 a 7.62 L/s, a una velocidad de 0.67 a 0.94 m/s. Las cunetas tendrán la capacidad hidráulica para conducir los lixiviados hasta la laguna anaeróbica a construir (MUNI ANTIGUA, 2015).

Es importante destacar que las zanjas deberán estar orientadas en dirección este-oeste, es decir en el sentido largo de la construcción de las plataformas de desechos sólidos. La pendiente en el fondo de las zanjas deberá ser no menor o igual al 2%. Finalmente se llevará a cabo la impermeabilización en la parte superior de las zanjas para evitar el ingreso de aguas de lluvia (MUNI ANTIGUA, 2015).

6.1.5.c.b.a *Cálculo del caudal de lixiviados.* la determinación del caudal medio de lixiviados se desarrolló en base a la metodología del método suizo presentado a continuación:

$$Q = \frac{P * A * K}{t}$$

Para lo cual:

Q = Caudal medio de lixiviado o Líquido percolado (l/s)

P = Precipitación media anual (mm/año)

A = Área superficial del Vertedero (m²)

t = Segundos en un año (s/año)

K = Coeficiente del grado de compactación de los desechos (MUNI ANTIGUA, 2015).

El volumen de lixiviado es generado en función a la precipitación pluvial, no solo por la escorrentía superficial, también las lluvias que caen en el vertedero pueden aumentar dichas cantidades (MUNI ANTIGUA, 2015).

En base a lo anterior se determinó que el caudal medio de lixiviados calculado para el área del Vertedero El Choconal, correspondiente a 13,400 m², aportando un caudal de lixiviados de Q = 0.214 L/s (MUNI ANTIGUA, 2015).

6.1.5.c.c *Drenaje pluvial perimetral.* En época de lluvia se genera una escorrentía superficial de agua por lo cual es indispensable desviarla para evitar que llegue a la zona de operación y confinamiento de los desechos sólidos, así como a laguna anaeróbica que se propone construir. Este drenaje consistirá en una serie de cunetas de hormigón no reforzado de 5 a 8 mm de espesor, de sección trapezoidal (MUNI ANTIGUA, 2015).

Las cunetas perimetrales diseñadas para el manejo exterior de las aguas de lluvia provenientes de áreas ajenas al vertedero se construirán con una dimensión de 0.35 m, una altura espejo de agua máxima de 0.50 y un ancho libre del espejo de agua de 0.85 m. Las cunetas perimetrales destinadas al manejo interior de las aguas de lluvia provenientes de zonas ajenas al vertedero tendrán una base inferior de 0.30 m, una altura de espejo de agua máxima de 0.45 m y un ancho libre del espejo de agua de 0.75 m (MUNI ANTIGUA, 2015).

6.1.5.c.c.a *Diseño del canal de manejo de las aguas de escorrentía superficial.* El Caudal de diseño de los canales y cunetas pluviales fueron calculado en base a la siguiente formula:

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6}$$

Para lo cual:

Q = Caudal pico de escorrentía en m³/s

I = Intensidad de lluvia en mm/hora

A = Área de la cuenca tributaria en km²

C = Coeficiente de escorrentía

Este cálculo de la intensidad de lluvia se desarrolló mediante la fórmula establecida para la estación meteorológica INSIVUMEH del municipio de Guatemala, Guatemala (MUNI ANTIGUA, 2015).

6.1.5.c.d *Laguna anaeróbica.* A partir del caudal medio de lixiviados y el aporte de agua de lluvia sobre el área de confinamiento, se diseñaron las dimensiones y el volumen para el almacenamiento y retención de los lixiviados por medio de una laguna anaeróbica. Se estima que el tiempo de retención hidráulico será de aproximadamente de 3.5 a 5 días. La capacidad de almacenamiento máxima será de 150 m³, tomando en cuenta la ocurrencia de un evento con una precipitación máxima de 250 mm/día (MUNI ANTIGUA, 2015).

La laguna anaeróbica tendrá un ancho de 6 m, un largo de 10 m, una profundidad de 3 m y una profundidad efectiva de almacenamiento de agua de 2.5 m. El punto de descarga de la laguna será el rio intermitente ubicado en la parte baja del Vertedero Choconal, por ello contará con la condición de ente generador nuevo y deberá cumplir previo a su descarga con los LMP establecidos en el Artículo 21 del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Para el mantenimiento de la laguna anaeróbica será indispensable el control de la acumulación de lodos en la laguna, la conservación de taludes, la eliminación de la vegetación, la inspección del sellado de las uniones de la geomembrana, la lubricación de las compuertas y la limpieza de las rejas.

6.1.5.c.d.a Cálculo del volumen de la laguna anaeróbica.

$$V = Q * T$$

Para lo cual:

V = Volumen de la laguna en m³

Q = Caudal de Lixiviados en m³/día

T = Tiempo de Retención

En base a lo anterior se determinó un sistema de conducción y almacenamiento de lixiviados por medio de la construcción de una laguna anaeróbica (MUNI ANTIGUA, 2015).

7. CONCLUSIONES

- En base a los resultados de la caracterización de los lixiviados del Vertedero Choconal se determinó que las alternativas de solución para la disminución de DBO_5 serán la construcción de una laguna anaeróbica, la instalación de una geomembrana, un drenaje francés y un drenaje pluvial perimetral; para la disminución de metales pesados será indispensable la creación de un programa municipal de sensibilización con las empresas generadoras de metales pesados, así como la implementación de la separación en fuente y el reciclaje en las industrias metalúrgicas asentadas en Antigua Guatemala, Santa Lucía Milpas Altas y San Lucas Sacatepéquez.
- La Finca Florencia cuenta con la disponibilidad de espacio físico que puede ser aprovechado para la ejecución de las soluciones planteadas a lo largo de este trabajo de tesis. Siendo indispensable la implementación del programa de sensibilización con las empresas generadoras de metales pesados que se encuentran ubicadas en las cercanías del proyecto, logrando con ello erradicar en su totalidad la presencia de los mismos en el vertedero.
- Los lixiviados de acuerdo con su naturaleza son tipo industriales, provenientes de actividades del municipio como la elaboración y empaquetado de alimentos, fabricación de galvanizado para la elaboración de artesanías de hierro forjado y muebles coloniales, así como la extracción de recursos mineros; y domésticos provenientes posiblemente de actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos, así como la descomposición de frutas, verduras, resto alimenticios, papel higiénico, pañales, toallas sanitarias, hojarasca, entre otros.
- A partir de la caracterización de la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, fósforo, nitrógeno, plomo, cadmio y arsénico se determinó que el DBO_5 , Pb y Cd, se determinó que la demanda bioquímica de oxígeno, el plomo y el cadmio no cumplieron con los límites máximos permisibles establecidos en El Acuerdo Gubernativo 138-2017, La Reforma al Acuerdo Gubernativo 236-2006, Reglamento de las Descargas y Reusó de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.
- Se determinó que el vertedero se encuentra situado en la Región Central de Guatemala, su suelo es de Clase VII, de tipo Alotenango y Cauque. Este se encuentra sobre una barrera natural de roca en su estrato, la cual no corre ningún riesgo de fractura debido a la inexistencia de fallas geológicas a nivel regional. Sin embargo, la presencia de alto contenido de arena crea la necesidad de la instalación de una geomembrana para evitar el riesgo de contaminación del subsuelo.

8. RECOMENDACIONES

- Poner en marcha el Programa Municipal de Sensibilización con las Empresas Generadoras de Metales Pesados, en cada una de sus directrices tanto en la Antigua Guatemala, como en Santa Lucia Milpas Altas y San Lucas Sacatepéquez.
- Realizar la efectiva instalación técnica en el área disponible para el vertedero dentro de Finca Florencia de las unidades de protección del manto freático propuestas en este trabajo de tesis.
- Efectuar la contratación y capacitación de personal para el manejo y operación de la laguna anaeróbica y de las unidades de protección del manto freático a construir.
- De ser construida la laguna anaeróbica en el Vertedero Choconal monitorear dos veces al año los máximos permisibles del Reglamento de las Descargas y Reusó de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, para los parámetros analizados, con la finalidad de establecer si el tratamiento está cumpliendo con la finalidad de disminuir el DBO₅, Pb y Cd.
- Llevar a cabo la caracterización de los lixiviados en los parámetros restantes no analizados en este trabajo de tesis, para determinar otras posibles alternativas de solución para su tratamiento.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga Y. (2012) Drenaje Frances y Drenajes en muro de Contención. Consultado el 4 de Febrero de 2018.

Disponibilidad y acceso para documentos en línea:

<https://prezi.com/pv77zng5bfgu/drenaje-frances-y-drenajes-en-muros-de-contencion/>

- Barras F (2013) Anejo IX Planes de Gestión, emergencias y vigilancia ambiental del Vertedero. Lanzarote, África. Consultado el 2 de Febrero de 2017.

Disponibilidad y acceso para documentos en línea:

<http://www.cabildodelanzarote.com/contratacion/GESTI%C3%93N%20COMPLEJO%20AMBIENTAL%20ZONZAMAS/Anexo%20al%20pliego%20de%20prescripciones%20t%C3%A9cnicas/Documento%20n%C2%BA%201Memoria%20y%20Anejos/Anejos/Anejo%20IX%20Gestion%20vertedero/Anejo%20IX%20Gestion%20vertedero.pdf>

- Camó A. (2016) Caracterización de los 20 parámetros según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, de las Aguas Residuales del Beneficio Húmedo Tecnificado Nuevo Sendero. Licenciatura en Ciencias Ambientales con Énfasis en Gestión Ambiental. Guatemala, Guatemala. Universidad Rafael Landívar. 144 pp.
- Castillo C (2011) Diseño de experimentos al Completo Azar. Guatemala, Guatemala. Consultado el 30 de Marzo de 2017.

Disponibilidad y acceso para documentos en línea:

<http://reyesestadistica.blogspot.com/2011/07/disenio-de-experimentos-al-completo-azar.html>

- Ciaries (2016) Fabricas de Cal. Barcelona, España. Consultado el 19 de Marzo de 2017.

Disponible en Red: <http://ciaries.com/es/medio-ambiente/>

- CIDTA (2016) Lagunas Anaerobias, Salamanca, España. Consultado el 31 de Enero de 2018.

Disponible en Red:

<http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/anaerobias.PDF>

- Collazos H. (2013) Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios. 4ª. Edición., Editorial de la Escuela Colombiana de Ingeniera.
- Congreso de la Republica de Guatemala (1993) Constitución Política de la Republica de Guatemala. Artículo 97, Artículo 119.
- Delgadillo O., Camacho A., Pérez L., y Andrade M. (2010) Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba, Bolivia. Consultado el 31 de enero de 2017.

Disponibilidad y acceso para documentos en línea: http://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2013/02/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf

- Gaggero E. y Ordoñez M (2009) Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Buenos Aires, Argentina. Consultado el 1 de febrero de 2017.

Disponibilidad y acceso para documentos en línea: http://www.opds.gba.gov.ar/uploaded/File/residuos_03_10.pdf

- Holguin Álvarez (2006) Características Generales de los Desechos. Guayaquil, Ecuador. 154 pp.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo (2010) Riesgos laborales en empresas de gestión y tratamiento de residuos: clasificación y actividades. España. Consultado el 10 de febrero de 2017.

Disponibilidad y acceso para documentos en línea:

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_675.pdf

- Jaramillo J. (2002) Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales. Colombia. Consultado el 10 de febrero de 2017.

Disponibilidad y acceso para documentos en línea:

http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidades/unidad2.pdf

- Lenntech B.V. (2018) Cadmio. Consultado el 17 de febrero de 2018.

Disponibilidad y acceso para documentos en línea:

<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm>

- Lenntech B.V. (2018) Plomo. Consultado el 17 de febrero de 2018.

Disponibilidad y acceso para documentos en línea:

<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/pb.htm#ixzz57cGvV0Cg>

- MARN (1986) Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente. Artículo 1, Artículo 8, Artículo 15.
- MARN (2015) Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos. Guatemala, Guatemala. 89 pp.
- MARN (2006) Reglamento de las descargas y reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Guatemala, Guatemala. 24 pp.
- Matta A. (2002) Saneamiento y cierre de Botaderos a Cielo Abierto. Colombia. Consultado el 2 de febrero de 2017.
- Ministry of Environment of British Columbia (2010). “Landfill Gas Management Facilities Design Guidelines”. CRA. Provincial de British Columbia, Canada. 230 pp.
- Ministry of Environment, Ontario, Canada (2008).” A Guideline on the Regulatory and Approval Requirements for Landfill Gas Capture Facilities”. Ontario, Canada. 347 pp.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia de Salud (1997) Código de Salud. Artículo 65, Artículo 72.
- Molinas A. (2004) Criterios para la selección de áreas para la disposición final de los Residuos Sólidos en Rellenos Sanitarios. Asunción, Paraguay. Consultado el 11 de Mayo de 2017.

Disponibilidad y acceso para documentos en línea:

http://www.seam.gov.py/sites/default/files/resolucion_282_04.pdf

- MUNI ANTIGUA (2014) Vertedero Choconal, entrevista. Municipalidad de Antigua Guatemala.
- MUNI (2002) Código Municipal Artículo 68.
- MUNI ANTIGUA (2015) Diagnostico Ambiental Vertedero El Choconal. Antigua Guatemala, Sacatepéquez, Guatemala. 709 pp.
- Noeggerath, F., Salinas, I. (2011) Análisis comparativo de tecnologías para el tratamiento de lixiviados en rellenos sanitarios. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas.

- OIT (2003) La seguridad y la Salud de las Industrias de Metales no Ferrosos. Ginebra, Suiza.
- Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud: División de Salud y Ambiente (2005). Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Washington, DC.
- Paniagua N, Giraldo E. y Castro L. (2011) Guía para el adecuado manejo de los residuos sólidos y peligrosos. Enviago, Colombia. Consultado el 1 de febrero de 2017.

Disponibilidad y acceso para documentos en línea:

http://www.ambientalex.info/guias/Guia_manejo_residuos_sp.pdf

- Rocha J. (2001) Obras Hidráulicas I. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia.
- Veliz R (2015) Métodos para el Muestreo de Suelos. Guatemala, Universidad Rafael Landívar.
- Texdelta (2014) Geotextiles para vertederos y depósitos. Consultado el 4 de Febrero de 2018.

Disponibilidad y acceso para documentos en línea: <https://texdelta.com/blog/geotextiles-para-vertederos-y-depositos/>

- UNIPLOM (2004) Plomo, Hechos y Realidades. Consultado el 17 de Febrero de 2018.

Disponibilidad y acceso para documentos en línea: <http://www.uniplom.es/recuperacion.htm>

- Yáñez F. (1993) Lagunas de Estabilización Teoría, Diseño, Evaluación y Mantenimiento. Imprenta Monsalve. 441 pp.
- Zapata A. (2012) Un Método de Gestión Ambiental de Lixiviados Mediante una Biobarrera Secuencial. Ingeniero Biológico. Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 81 pp.

10. ANEXO

10.1 Fotografías del Vertedero Choconal

10.1.1 Primera visita de campo



Figura 9. Ingreso al Vertedero Choconal.



Figura 10. Zona de Descarga de desechos.



Figura 11. Cuarta plataforma.



Figura 12. Carretera para el paso de camiones y maquinaria pesada dentro del Vertedero Choconal.

10.2.2 Segunda visita de campo



Figura 13. Zona de Descarga de Camiones.



Figura 14. Rampa de Ingreso para Camiones.

10.1.3 Toma de muestras de lixiviado



Figura 15. Primera toma de muestras de lixiviado.



Figura 16. Segunda toma de muestras de lixiviado

10.2 Resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras de lixiviado

10.2.1 Primeros resultados del análisis fisicoquímico junio de 2017

10.2.1.a Análisis de arsénico



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE ANÁLISIS INORGÁNICO

No. 1707353



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
QUÍMICA Y AMBIENTAL
-LIQA-

Fecha: 17 de julio de 2017

INFORME DE ANALISIS FISICOQUÍMICO

A continuación, se presenta el informe con el resultado del análisis fisicoquímico solicitado a una muestra de agua residual.

INFORMACIÓN DEL INTERESADO

Nombre / Institución:	María José de León		
Con atención a:	María José de León		
Dirección:	Ciudad de Guatemala		
Teléfono de contacto:	3058-4540	e-mail:	dominatordeleon2@gmail.com

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS

Tipo de muestra:	Agua residual	Análisis solicitados: Arsénico disuelto
Cantidad de muestras:	01 (una muestra)	
Tipo de envase o embalaje:	Recipiente de plástico con tapa hermética.	
Origen de la muestra:	Vertedero Choconal, Antigua Guatemala. 10/07/2017	
Fecha de recepción:	11 de julio de 2017, 10:00 h.	

RESULTADOS

No.	ID MUESTRA INTERESADO	ID MUESTRA LIQA	RESULTADO Arsénico (As)
1.	Vertedero Choconal	353-01	0,0007 mg/L
Límite de cuantificación:			0,0004 mg/L

Observaciones:

Metodos utilizados

La determinación de arsénico está basada en: "3114 C. Continuous Hydride Generation Atomic Absorption Method". Standard Methods for the Examination of water and wastewater. 20th Edition. (1998). APHA-AWWA-APCF.

ND. No detectado. mg/L: miligramos de Arsénico por cada litro de muestra de agua.

Vo. Bo

M.Sc. Félix Ricardo Vélez Fuentes
Director LIQA, Área Química.

FRVF/rnf
20170717



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN QUÍMICA Y AMBIENTAL (LIQA)
S2: Primer piso, Edificio T-12, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
Universidad de San Carlos de Guatemala, Zona 12, Guatemala. 01012
☎: 00 (502) 2443 6622. Ext.: 1276 🌐: <http://liqa-usac.blogspot.com/> LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN QUÍMICA Y AMBIENTAL

10.3.1.b Análisis de nitrógeno total, fosforo total, cadmio, plomo, DBO₅ y DQO

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

Laboratorio de Análisis Físicoquímicos
y Microbiológicos LAFYM

1

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

No. de ingreso: 1553	No. de muestras: 1 (una)
Dirigido a: María José De León	Captadas por: Personal ajeno a LAFYM Captación: 10/07/17 10:00 horas
Captación: Entrada a Planta tratamiento	Ingreso al laboratorio: 11/07/17 9:05 horas
Tipo de muestra: Residual	Inicio del análisis: 11/07/17
Envase: Recipiente no proporcionado por LAFYM	Reporte final: 17/07/17

ANÁLISIS	RESULTADO
Cadmio	1,04 mg/L
DQO	6 970,0 mg/L
DBO ₅	4 879,0 mg/L
Plomo	0,3 mg/L
Nitrógeno Total	5,0 mg/L
Fósforo Total	14,0 mg/L

Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater*, 22 ed. 2005

*Prohibida la parcial o total reproducción por el cliente u otra persona, sin la debida autorización escrita por parte del laboratorio LAFYM

*Este informe pertenece única y exclusivamente a la muestra descrita, tal y como fue recibida en el laboratorio.

Hugo Charón, QB
Analista



Lina Ana E. Spínola García, QB
Jefe de Lab LAFYM

Lina Ana E. Spínola García
QUÍMICA BIÓLOGA
C.O.L. 2329

10.2.2 Segundos resultados del análisis fisicoquímico agosto de 2017

10.2.2.a Análisis de arsénico



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA
 ESCUELA DE QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE ANÁLISIS INORGÁNICO

No. 1708360



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
 QUÍMICA Y AMBIENTAL
 -LIQA-

Fecha: 14 de agosto de 2017

INFORME DE ANALISIS FISICOQUÍMICO

A continuación, se presenta el informe con el resultado del análisis fisicoquímico solicitados a una muestra de agua residual.

INFORMACIÓN DEL INTERESADO

Nombre / Institución:	María José de León		
Con atención a:	María José de León		
Dirección:	Ciudad de Guatemala		
Teléfono de contacto:	3058-4540	e-mail:	

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS

Tipo de muestra:	Lixiviado de agua residual	Análisis solicitados: Arsénico disponible
Cantidad de muestras:	01 (una)	
Tipo de envase o embalaje:	Recipiente de plástico con tapa hermética.	
Origen de la muestra:	Vertedero Choconal, Antigua Guatemala.	
Fecha de recepción:	07 de agosto de 2017, 12:00 h.	

RESULTADOS

No.	ID MUESTRA INTERESADO	ID MUESTRA LIQA	RESULTADO Arsénico (As)
1.	Lixiviado de agua residual	360-01	0,0113 mg/L
Límite de cuantificación:			0,0004 mg/L

Observaciones:

Métodos utilizados

La determinación de arsénico está basada en: "3114 C. Continuous Hydride Generation Atomic Absorption Method". Standard Methods for the Examination of water and wastewater. 20th Edition. (1998). APHA-AWWA-APCF.

ND: No detectado. mg/L: miligramos de Arsénico por cada litro de muestra de agua.

Vo. Bo

M.Sc. Félix Ricardo Veliz Fuentes.
 Director LIQA, Área Química.

FRVF/vl
 20170814



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN QUÍMICA Y AMBIENTAL (LIQA)
 2º Primer piso, Edificio T-12, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
 Universidad de San Carlos de Guatemala, Zona 12, Guatemala 01012
 ☎: 00 (502) 2413 9412. 🌐: <http://liqa-usac.blogspot.com/>

10.2.2.b Análisis de nitrógeno total, fosforo total, cadmio, plomo, DBO₅ y DQO

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

Laboratorio de Análisis Físicoquímicos
y Microbiológicos LAFYM

1

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

No. de ingreso: 1655	No. de muestras: 1 (una)
Dirigido a: María José De León	Captadas por: Personal ajeno a LAFYM Captación: 07/08/17 9:00 horas
Captación: No indica	Ingreso al laboratorio: 07/08/17 10:30 horas
Tipo de muestra: Residual	Inicio del análisis: 07/08/17
Envase: Recipiente no proporcionado por LAFYM	Reporte final: 14/08/17

ANÁLISIS	RESULTADO
Cadmio	0,51 mg/L
DQO	5 590,0 mg/L
DBO ₅	4 192.50 mg/L
Plomo	1,1 mg/L
Nitrógeno Total	21,0 mg/L
Fósforo Total	8,0 mg/L

Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 21 ed.2,805*

*Prohibida la parcial o total reproducción por el cliente u otra persona, sin la debida autorización escrita por parte del laboratorio LAFYM

*Este informe pertenece única y exclusivamente a la muestra descrita, tal y como fue recibida en el laboratorio.

[Handwritten Signature]
Hugo Chaves, QB
Analista



[Handwritten Signature]
Linda Ana T. Rodríguez, QB
Asistente LAFYM

Linda Ana T. Rodríguez
QUÍMICA BIÓLOGA
C.O.L. 2323

10.2.3 Terceros resultados del análisis fisicoquímico octubre de 2017

10.2.3.a Análisis de arsénico



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE ANÁLISIS INORGÁNICO

No. **1710386**



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
QUÍMICA Y AMBIENTAL
-LIQA-

Fecha: 31 de octubre de 2017

INFORME DE ANALISIS FISICOQUÍMICO

A continuación, se presenta el informe con el resultado del análisis fisicoquímico solicitados a una muestra de agua residual.

INFORMACIÓN DEL INTERESADO

Nombre / Institución:	María José de León		
Con atención a:	María José de León		
Dirección:	Ciudad de Guatemala		
Teléfono de contacto:	3058-4540	e-mail:	dominatordeleon2@gmail.com

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS

Tipo de muestra:	Lixiviado de agua residual (última muestra)	Análisis solicitados: Arsénico disponible
Cantidad de muestras:	01 (una)	
Tipo de envase o embalaje:	Recipiente de plástico con tapa hermética.	
Origen de la muestra:	Vertedero Choconal, Antigua Guatemala.	
Fecha de recepción:	25 de octubre de 2017, 11:00 h.	

RESULTADOS

No.	ID MUESTRA INTERESADO	ID MUESTRA LIQA	RESULTADO Arsénico (As)
1.	Lixiviado de agua residual	386-01	ND
Límite de cuantificación:			0,0004 mg/L

Observaciones:

Métodos utilizados

La determinación de arsénico está basada en: "3114 C. Continuous Hydride Generation Atomic Absorption Method". Standard Methods for the Examination of water and wastewater. 20th Edition. (1998). APHA-AWWA-APCF.

ND: No detectado (por abajo del límite de cuantificación). mg/L: miligramos de Arsénico por cada litro de muestra de agua.

Vo. Bo M.Sc. Felix Ricardo Véliz Fuentes.
Director LIQA, Área Química.

FRVF/rvf
20171102

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN QUÍMICA Y AMBIENTAL (LIQA)
D: Primer piso, Edificio T-12, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
Universidad de San Carlos de Guatemala, Zona 12, Guatemala. 01012.
T: 502 (502) 2418 9412. E: <http://liqa-usac.blogspot.com/>

10.2.3.b Análisis de nitrógeno total, fosforo total, cadmio, plomo, DBO₅ y DQO



Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos - LAFYM

3a. Calle 6-47, Zona 1
Centro Histórico, Guatemala Ciudad
Tel: 2253-1319
Email: lafymusac@gmail.com

Empresa : MARIA JOSE DE LEON

Fecha de toma de la muestra : 25/10/2017 08:00

N° de la muestra : 2534 (Protocolo firmado)

Fecha de recepción : 25/10/2017 09:32

Temperatura : Refrigeración

Número de lote : AGUA RESIDUAL ULTIMO MUESTREO

Muestra : AGUA

Captación : Captado por personal ajeno a LAFYM en un envase que no es de LAFYM

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

ANÁLISIS	RESULTADO
Cadmio	0,57 mg/L
DQO	2 350,0 mg/L
DBO ₅	1 482,3 mg/L
Plomo	0,15 mg/L
Nitrógeno Total	17,0 mg/L
Fósforo Total	66,0 mg/L

*Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 21 ed. 2005.

Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006.

10.3 Análisis de suelos

- Formulas a utilizar

$$\text{peso suelo seco} = \frac{\text{peso suelo humedo}}{1 + \% \text{ de agua (decimales)}}$$

$$\% \text{ arcilla + limo(suspensión)} = \frac{(\text{lectura suspensión}) - (\text{lectura agente dispersante}) \pm (\text{corrección por temperatura})}{\text{peso suelo seco en gramos}} * 100$$

$$\% \text{ arcilla (suspensión)} = \frac{(\text{lectura suspensión}) - (\text{lectura agente dispersante}) \pm (\text{corrección por temperatura})}{\text{peso suelo seco en gramos}}$$

Los resultados obtenidos después de utilizar el Hidrómetro son los siguientes.

No. Lectura	Temperatura	Hidrómetro
1. 40 segundos	23.33°	23.66 gr/cm ³
2. 2 horas	24°	10.66 gr/cm ³

$$\text{peso suelo seco} = \frac{50}{1 + 0,05} = 47,62 \text{ gramos}$$

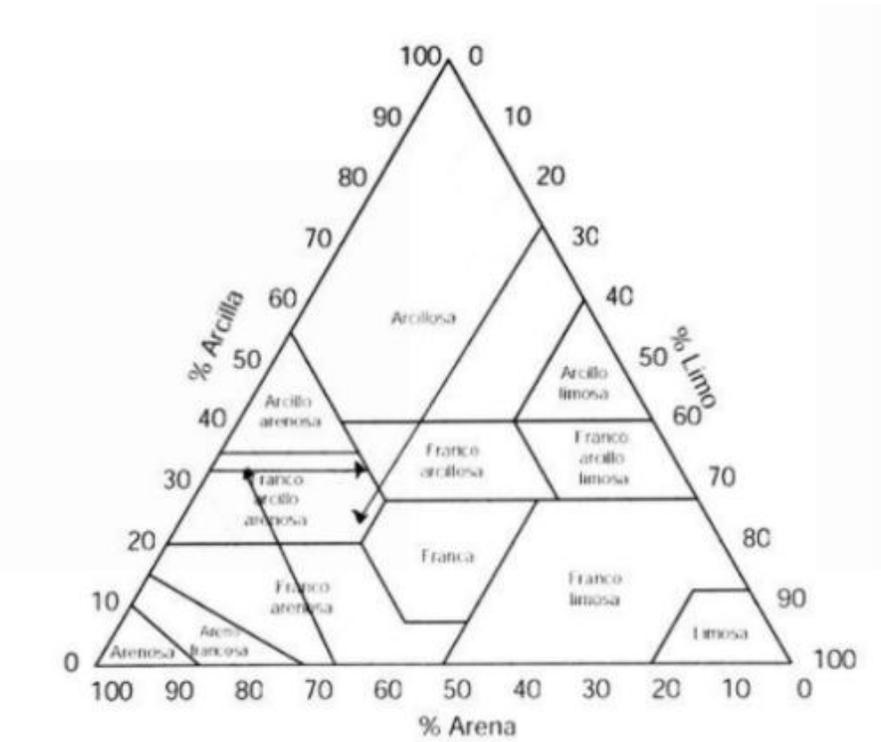
$$\% \text{ arcilla + limo(suspensión)} = \frac{(24) - (23,66) \pm (1,44)}{47,62} * 100 = 3,74\%$$

$$\% \text{ arcilla (suspensión)} = \frac{24 - 10,66 \pm (1,44)}{47,62} * 100 = 31,04\%$$

$$\% \text{ limo} = 31,04\% - 3,74\% = 27,3\%$$

$$\% \text{ arena} = 100\% - 31,04\% - 3,74\% = 65,22\%$$

% arcilla	31.04
% limo	27.30
% arena	65.22



10.5 Tabla de Referencia

Tabla 11. Valores mínimos de la razón de DQO y DBO₅.

Cuadro 9: Valores mínimos de la razón de DQO y DBO₅.¹

Recomendación de Tratamiento	Valor
	DQO/DBO ₅
Materia orgánica muy degradable	1.5
Aguas residuales fáciles de tratar biológicamente	2
Aguas residuales accesibles a un tratamiento biológico	2.5
Aguas residuales inaccesibles a un tratamiento biológico o que necesitan aclimatación (adaptación)	5
Ambiente tóxico que no permite la aclimatación (adaptación)	>10

Fuente: Manual de Disposición de Aguas Residuales CEPIS/OPS/OMS y Water Quality Criteria, EU

Fuente: Manual de Disposición de Aguas Residuales CEPIS/OPS/OMS y Water Quality Criteria, EU