

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

**"CARACTERIZACIÓN DE LODOS INDUSTRIALES SEDIMENTADOS GENERADOS DE UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA Y DETERMINACIÓN DE LA UTILIZACIÓN EFICIENTE DE
LOS MISMOS EN UNA RECICLADORA DE PLÁSTICO."**
TESIS DE GRADO

SILVIA PAMELA ROSALES BOBADILLA
CARNET 12087-12

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, SEPTIEMBRE DE 2018
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

"CARACTERIZACIÓN DE LODOS INDUSTRIALES SEDIMENTADOS GENERADOS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA Y DETERMINACIÓN DE LA UTILIZACIÓN EFICIENTE DE LOS MISMOS EN UNA RECICLADORA DE PLÁSTICO."

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA

POR

SILVIA PAMELA ROSALES BOBADILLA

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, SEPTIEMBRE DE 2018
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLES DE PENEDO

VICERECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PORYECCIÓN: ING. JOSE JUVENTIVO GÁLVEZ RUANO

VICERECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRIA, S.J.

VICERECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANA: MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA DE ZUNIGA

VICEDECANO: MGTR. OSMAN CARRILLO SOTO

SECRETARIA: MGTR MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN

DIRECTOR DE CARRERA: DR. MARIO RENE SANTIZO CALDERON

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

MGTR. ANNA MARGARITA RIOS GONZALEZ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. JOSE ANTONIO ROSAL CHICAS

MGTR. JOSÉ MANUEL CASTAÑEDA ORELLANA

MGTR. RYAN RENE RAMIREZ RODAS

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado de la estudiante SILVIA PAMELA ROSALES BOBADILLA, Carnet 12087-12 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA, del Campus Central, que consta en el Acta No. 02220-2018 de fecha 10 de septiembre de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

"CARACTERIZACIÓN DE LODOS INDUSTRIALES SEDIMENTADOS GENERADOS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA Y DETERMINACIÓN DE LA UTILIZACIÓN EFICIENTE DE LOS MISMOS EN UNA RECICLADORA DE PLÁSTICO."

Previo a conferírsele el título de INGENIERA QUÍMICA en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 18 días del mes de septiembre del año 2018.



MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN, SECRETARIA
INGENIERÍA
Universidad Rafael Landívar





Universidad
Rafael Landívar
Tradicón Jesuita en Guatemala

Facultad de Ingeniería

Teléfono: (502) 24262626

Directo: (502) 24262628

Campus Central, Vista Hermosa III, Zona 16

Guatemala, Ciudad. 01016

Guatemala, 04 de Julio del 2018

Magister
Alejandra Ortiz
Secretaria de Facultad
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Mgr. Ortiz:

Por este medio me dirijo a usted deseándole todas sus actividades se estén llevando con total éxito.

El motivo de la presente es para informarle que he tenido la oportunidad de revisar el informe final de Trabajo de Graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS INDUSTRIALES SEDIMENTADOS GENERADOS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA Y DETERMINACIÓN DE LA UTILIZACIÓN EFICIENTE DE LOS MISMOS EN UNA RECICLADORA DE PLÁSTICO**, de la estudiante **Silvia Pamela Rosales Bobadilla**, quién se identifica con número de carnet 12087-12.

Que después de haber revisado el informe final y de acuerdo con los requerimientos establecidos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar doy como **APROBADO** dicho trabajo.

Para los usos que al interesado le convengan,
Me suscribo de Ud.

Atentamente,

Mgr. Anna Margarita Ríos González

Asesor de Tesis

Universidad Rafael Landívar

AGRADECIMIENTOS

- A DIOS Por darme la bendición de por estudiar. Por darme la sabiduría y fortaleza de cada momento de dificultad en esta carrera.
- A MIS PADRES Por el amor y la paciencia que me han dado, por demostrarme a luchar cada día, por darme la oportunidad de continuar con mis estudios. Por su apoyo incondicional.
- A MIS HERMANOS Por estar siempre cuando los he necesitado. Por demostrarme su cariño.
- A MIS ABUELAS Por darme su amor, porque cada anécdota suya me dejo una lección de siempre luchar por los sueños.
- A MI NOVIO Y
A MIS AMIGOS Por su apoyo y su cariño. Por los momentos de diversión y por los momentos de estrés en toda la carrera.
- A MI ASESORA Por su paciencia y apoyo en la realización de esta investigación.
- A MIS
CATEDRATICOS Por sus enseñanzas, por inspirarme a ser mejor cada día, por enseñarme a tener criterio en cualquier situación.
- A UNIVERSIDAD
RAFAEL LANDÍVAR Por brindarme la oportunidad de tener una excelente educación. Por enseñarme que los valores son importantes y que se necesitan profesionales íntegros para tener una mejor Guatemala
- A LA RECICLADORA
DE PLÁSTICO Por apoyar la realización de esta investigación.

DEDICADO A
MACO, SILVIA, SOFIA Y SEBASTIAN

Porque ustedes han sido el pilar más importante de mi vida. Porque me han guiado por el buen camino, enseñándome a luchar día con día, siendo íntegros, responsables, valientes y honestos. Por todos los sacrificios y los esfuerzos que hicieron y harán por mí. Porque sin eso no sería la persona que soy hoy. Porque ustedes son mi hogar, mis personas favoritas.

A ti Maco, porque realmente te admiro, porque me enseñaste que para alcanzar los sueños hace falta extender las alas y volar. Los obstáculos no se superan imaginando que no existen sino afrontando los miedos y dado el 110% en todo que se tiene que hacer.

A ti Silvia, porque te admiro, porque me has apoyado incondicionalmente en todas las decisiones de mi vida. Por creer en mí. Por siempre alentarme a cumplir mis sueños y seguir a pesar de los momentos difíciles de la carrera. Por tus regaños y tus correcciones que me han hecho la persona que soy. Por enseñarme a tener ese corazón tan tuyo de ayudar al prójimo siempre.

**USTEDES SON MI MAYOR TESORO Y LA MAYOR BENDICIÓN QUE DIOS
PUDO DARME.**

“Las preguntas que no podemos contestar son las que más nos enseñan. Nos enseñan a pensar. Si le das a alguien una respuesta, lo único que obtiene es cierta información. Pero si le das una pregunta, el buscará sus propias respuestas”

**El nombre del viento
Patrick Rothfuss**

RESUMEN EJECUTIVO

La siguiente investigación se realizó con el objetivo de caracterizar los lodos industriales generados a partir de una planta de tratamiento de aguas residuales en una recicladora de plástico con parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con el fin de poder determinar la utilización eficiente de los lodos. Esta caracterización es importante ya que en ella se estableció la calidad de los lodos generados en el proceso, la cual es fundamental para conocer la buena disposición y utilización final de forma correcta.

La toma de muestras se realizó durante la época seca y estadísticamente se necesitaron cuatro muestreos de los parámetros deseados. El muestreo se realizó en dos partes, la primera fue el muestreo del agua residual en la entrada a la planta de tratamiento de agua y la segunda se realizó en el primer tanque de sedimentación donde se tomó la muestra compuesta de los lodos residuales.

Para lograr caracterizar los lodos, se realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos al agua residual: demanda química de oxígeno la cual fue de 515 mg/L, demanda bioquímica de oxígeno la cual fue de 245mg/l, concentración de nitrógeno fue de 20.5mg/L y fósforo fue de 2.57mg/L. Se realizó análisis a los lodos residuales de la concentración de ciertos metales teniendo como resultado 10mg/kg de Arsénico, 258mg/kg de Plomo y 105 mg/kg de Cromo. También se analizó la concentración de Coliformes Fecales en los lodos la cual fue de 602,062 UFC/mL. Estos analices se realizaron para verificar el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Analizando las características fisicoquímicas y microbiológicas de los lodos se sugiere que la mejor opción para poder utilizarlos y disponer de ellos de manera adecuada, es la elaboración de compostaje o mejoradores de suelos.

Palabras Calves: Lodos residuales, característica de lodos residuales, tratamiento de agua, compostaje.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1. Lo escrito sobre el tema	2
1.2 Marco teórico	4
1.2.1. Aguas residuales	4
1.2.2. Caracterización de aguas residuales	5
1.2.3. Resumen de la caracterización de las aguas residuales.....	8
1.2.4. Calidad del agua.....	9
1.2.5. Importancia del tratamiento de aguas residuales	10
1.2.7. Planta de tratamiento de aguas residuales	11
1.2.8. Diferentes tratamientos de aguas residuales	12
1.2.9. Tratamiento preliminar	14
1.2.10. Tratamiento primario	15
1.2.11. Tratamiento secundario y terciario.....	15
1.2.12. Tratamiento de lodos.....	16
1.2.13. Tipos de lodos	16
1.2.14. Caracterización de lodos industriales	17
1.2.15. Flujo de lodos	19
1.2.16. Métodos del tratamiento de lodos.....	20
1.2.17. Alternativas de aprovechamiento para lodos	26
1.3. Planta de tratamiento de agua de la recicladora de plástico.....	30
1.4. Marco legal del tratamiento de lodos industriales en Guatemala.....	32
CAPITULO II	36
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	36
2.1. Objetivos.....	38
2.1.1. Objetivo general	38
2.1.2. Objetivos específicos	38
2.2. Hipótesis	38
2.3. Variables de estudio.....	39
2.4. Definición de los elementos de estudio	39
2.5. Alcances y límites	40
2.6. Aportes	42

CAPITULO III.....	43
MÉTODO.....	43
3.1. Sujetos y unidades de análisis	43
3.1.1. Sujetos de análisis.....	43
3.1.2. Unidades de análisis.....	43
3.2. Instrumentos	44
3.2.1. Equipo de captación de muestras.....	44
3.2.2. Equipo de protección personal	45
3.3. Procedimiento	46
3.3.1. Observación y recolección de información sobre la situación del problema	46
3.3.2. Realización del muestreo	46
3.4. Diseño y metodología de estadística.....	53
3.4.1. Localización.....	53
3.4.2. Número de muestras	53
3.4.3. Descripción de las unidades experimentales	55
CAPÍTULO IV.....	55
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	55
4.1. Situación actual de la disposición de lodos industriales	55
4.2. Resultados	58
CAPÍTULO V.....	63
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
CAPÍTULO VI.....	72
CONCLUSIONES	72
CAPÍTULO VII.....	73
RECOMENDACIONES	73
CAPÍTULO VIII.....	74
REFERENCIAS	74
ANEXOS.....	78
ANEXO A - Glosario	78
ANEXO B - Datos Históricos los lodos industriales y el agua residual de la planta de tratamiento de agua	81
ANEXO C - Resultados de los análisis del agua residual y de los lodos industriales de la planta de tratamiento de agua.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Balance Anaerobio de la Materia Orgánica (www.uasb.org).....	13
Figura 2. Balance Aerobio de la Materia Orgánica (www.uasb.org).....	14
Fuente: Romero. (2000)	19
Fuente: Romero. (2000)	20
Fuente: Elaboración propia, (2018)	31
Figura 6. Límites máximos permisibles para lodos	34
Figura 7. Cubeta utilizada.....	44
Figura 8. Recipientes utilizados.....	44
Figura 9. Hielera.....	44
Figura 10. Bata.....	45
Figura 11. Botas de hule	45
Figura 12. Lentes	45
Figura 13. Guantes de Látex	45
Figura 14. Mascarilla	46
Figura 15. Casco y chaleco refractivo.....	46
Figura 17. Diagrama del proceso de preparación de equipo de muestreo.....	47
Figura 18. Diagrama del proceso de la toma de muestra del agua residual	48
Figura 19. Captación de muestra del agua residual.....	48
Figura 21. Diagrama del proceso del muestro de los lodos	49
Figura 22. Captación de muestra del lodo residual.....	50
Figura 24. Diagrama del proceso de desinfección y secado de lodos.	51
Figura 25. Mezcla de lodo con cal hidratada	52
Figura 26. Mezcla de lodo con cal hidratada después de 4 días de secado al sol.	52
Figura 29. Gráfica para determinar el número de muestras del agua residual....	54
Figura 30. Muestra de Lodo Residual.....	56
Figura 31. Muestra de Lodo Residual.....	56
Figura 32. Muestra de Lodo Residual.....	57
Figura 33. Muestra de Lodo Residual.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de la caracterización de aguas residuales.	8
Tabla 2. Ventajas y Desventajas de las alternativas de aprovechamiento para los lodos.	28
Tabla 3. Equipo de recolección de muestras	44
Tabla 4. Equipo de protección personal.....	45
Tabla 5. Situación actual de la disposición de lodos industriales	56
Tabla 6. Concentración metales pesados en los lodos industriales	58
Tabla 7. Parámetros y Límites Máximos permisibles para la disposición en Aplicaciones al suelo de lodos residuales de la planta de tratamiento de agua, en la recicladora de plástico.	58
Tabla 8. Parámetros y Límites Máximos permisibles para la disposición en rellenos sanitarios de lodos industriales de la planta de tratamiento de agua, en la recicladora de plástico.....	59
Tabla 9. Parámetros y límites máximos permisibles para la disposición en confinamiento o asilamiento de lodos industriales de la planta de tratamiento de agua, en la recicladora de plástico	59
Tabla 10. Caudal de agua residual a la entrada de la planta de tratamiento de agua	60
Tabla 11. DBO, DQO y pH del agua residual de la planta de tratamiento de agua, en la recicladora de plástico.....	60
Tabla 12. Cantidad cualitativa de microorganismos patógenos, concentración de fósforo y nitrógeno presentes en el agua residual de la planta de tratamiento de agua, en la recicladora de plásticos.	61
Tabla 13. Cantidad cuantitativa de microrganismos patógenos y pH de los lodos residuales.	61
Tabla 14. Cantidad de Coliformes fecales en los lodos después de tratamientos desinfectantes.....	61
Tabla 15. Densidad de los lodos residuales	62
Tabla 16. Dimensiones del patio de secado.....	62
Tabla 17. Porcentaje de humedad perdida por secado al sol	62

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En los últimos años han aumentado las diferentes formas de conservar el medio ambiente ya que la humanidad lo ha contaminado y abusado de los recursos naturales por las diferentes actividades tanto industriales, agrícolas como domésticas que se realizan día con día. Por falta de responsabilidad ambiental se han descuidado la disposición final de los diferentes residuos líquidos, gaseosos y sólidos, ocasionando grandes impactos como consecuencia de las actividades industriales.

Al tratar de conservar el medio ambiente se propuso el tratamiento de aguas residuales, lo cual es una solución muy beneficiosa para tratamientos al final del tubo. Existen dos tipos de tratamiento de agua, aerobio y anaerobio, la diferencia es que, en el primero, el proceso de digestión necesita oxígeno y el segundo no lo requiere. Los tratamientos de agua buscan reducir la contaminación existente del agua por procesos industriales o actividades diarias.

Al final del tratamiento de agua se generan residuos sólidos llamados comúnmente lodos industriales o residuales. Estos lodos son material orgánico e inorgánico que logró coagularse y flocularse del agua residual. Estos pueden ser aprovechados beneficiosamente para otras actividades. Se pueden reutilizar como abono o compostaje, para mejorar las condiciones del suelo, también se pueden utilizar como ladrillos ecológicos, materia prima para eficiencia energética. Algunas otras formas sugieren utilizarlos como relleno para terrenos, todo esto dependiendo de la calidad y las características de los mismos.

Actualmente muchas empresas en Guatemala no logran encontrar una disposición adecuada de los mismos y tampoco tienen la responsabilidad de monitorearlos y si lo hacen no tienen el cuidado de verificar si se cumplen con la normativa. Por eso es muy importante formar la responsabilidad de que los lodos residuales pueden ser un peligro para la salud humana ya que pueden contener una combinación de compuestos tóxicos y microorganismos patógenos.

La idea de desarrollar esta investigación, surge de la responsabilidad ambiental que tiene la Recicladora de plástico de buscar una alternativa a la disposición final de los lodos generados de su planta de tratamiento de agua.

Para poder brindarles una mejor alternativa se analizará la calidad de los lodos por medio de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los lodos residuales verificando que cumplan con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos”.

1. Lo escrito sobre el tema

Montoya (1981) habla sobre que independientemente los lodos sean tratados o no, son un residuo que hay que saber cómo disponer, explica que hay dos formas generales para eso; la primera es la disposición en el agua, en el cual se menciona que es un método económico, en el que un cuerpo receptor de agua tiene un caudal que pueda proporcionar la dilución del lodo sin que exista riesgo de putrefacción por falta de oxígeno, además el cuerpo receptor debe de tener corrientes fuertes para evitar la sedimentación masiva del material orgánico.

La segunda es la disposición en la tierra, en la que los lodos pueden ser enterrados, formar parte de un relleno sanitario o servir como fertilizante y acondicionador de suelos.

Cuando los lodos son enterrados suele ser un método muy económico, se debe de tener en cuenta que hay una profundidad recomendada y que el lodo permanece húmedo y maloliente por un tiempo lo cual hace que se considere imposibilitado el terreno. Cuando los lodos son parte de un relleno son un problema para la población cercana a este ya que existe un ambiente maloliente. Cuando los lodos son utilizados como fertilizantes y/o acondicionadores del suelo; el lodo de las aguas residuales contiene nutrientes para la vida vegetal como el nitrógeno y fósforo.

También afirma que la utilización de lodos crudos (sin tratamiento de desinfección previo) no es correcto, ya que contiene microorganismos patógenos que son un riesgo potencial para la salud humana como para utilizarlos como fertilizantes o acondicionamiento del suelo.

Galindo (2010) en su trabajo de graduación menciona que en los países centroamericanos necesitan una ampliación en la infraestructura de tratamiento de aguas residuales. Ya que se estima que solo un 2 a 4% de aguas residuales son tratadas. A la vez no existe mucha información sobre qué hacer con los lodos residuales de estas plantas por lo que él realiza un estudio donde caracteriza y busca un tratamiento efectivo para los lodos provenientes de fosas sépticas. Él busco la primera etapa de un tratamiento de lodos, el cual consiste en diseñar un área de secado de lodos con el fin de reducir la humedad del lodo y poder ser reutilizado posteriormente.

Burga (2014) explica en su trabajo de graduación la forma en el que él valorizó los lodos que se generan en las lagunas de estabilización de la empresa Epsel S.A. en Perú, en ese momento no existía un tratamiento sobre cómo tratar los lodos. Burga menciona también, que los lodos sin tratamiento son un residuo causante de contaminación ambiental. Él propone un método para obtener un abono orgánico a partir de los lodos, como resultado del proceso de compostaje por pilas de volteo, ya que consideró que éste es el método más viable por la ubicación de la planta.

Díaz y Mejía (2013) en su trabajo de investigación hablan sobre la caracterización evaluación de los lodos activos para el mejoramiento de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica en San Marcos, Guatemala. Ellos buscaron mejorar la calidad fisicoquímica y microbiológica del afluente de las plantas de tratamiento de y poder buscar la mejor disposición de los lodos, los cuales debían de cumplir con los parámetros establecidos por el “Reglamento de las descargas y reusó de aguas residuales y de la disposición de los lodos” Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, del Ministerio de ambiente y Recursos Naturales. Ellos concluyeron que el agua y los lodos no pueden ser utilizados sin antes implementar mejoras en las unidades de pre tratamiento, cámara de contacto y sedimentadores. También recomendaron mejorar la eficiencia de la PTAR para que cumplan con los límites permisibles establecidos por el acuerdo Gubernativo 236-2006.

1.2 Marco teórico

1.2.1. Aguas residuales

En las diferentes actividades de la población, se generan distintos desechos, sólidos aguas residuales. Es el agua que ya fue utilizada por el ser humano en diferentes actividades cotidianas o industriales las cuales se han contaminado con sustancias peligrosas y/o microorganismos. Hammeken y Romero (2005).

Existen 4 fuentes fundamentales de aguas residuales:

- **Aguas pluviales:** se refieren al agua que entra en el sistema de alcantarillado que se origina durante los fenómenos meteorológicos con precipitación como la lluvia o granizo.

- **Aguas residuales domésticas o aguas negras:** estas son las más contaminantes ya que contienen heces, orina humana, sustancias tóxicas por la higiene personal o por una limpieza del lugar. Suelen contener una gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, sustancias tóxicas como jabones, detergentes, lejía, grasas y aceites.

- **Aguas residuales agrícolas:** son las que proceden de las labores agrícolas en las zonas rurales, se utilizan para el riego. Suelen contener pesticidas o fertilizantes.

- **Aguas residuales Industriales:** son las que proceden de los procesamientos realizados en fábricas. Su composición es muy variada ya que dependen de la actividad industrial. Suelen contener aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas. Sustancias químicas tóxicas. García y Pérez (1985).

1.2.2. Caracterización de aguas residuales

Según Davis y Masten (2005) el agua potable es un recurso muy importante el cual es fundamental tratar para poder reutilizarlo. Al reutilizarlo debemos de hablar sobre la caracterización del agua residual ya que éste debería de ser tomada en cuenta como una materia prima. Sus características ayudaran a tener un resultado o una guía para poder reutilizarla de la manera más eficiente.

- Características físicas: son importantes, ya que valorizan la turbiedad, el color, la temperatura, el olor y la cantidad total de sólidos totales suspendidos. Burga (2014)

-Olor: el olor es provocado cuando existe una reacción de descomposición de la materia orgánica, la cual genera gases los cuales son liberados provocando el olor. En Aguas residuales es común el olor ya que existe la presencia de sulfuro de hidrógeno, el cual se produce por la reducción de sulfatos por acción de microorganismos anaerobios. Burga (2014)

-Color: el color es debido a minerales o compuestos en el agua. En aguas residuales se tiene un color gris o negro. Este color es debido a la formación de sulfuros metálicos por la reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en la misma. Burga (2014)

-Turbiedad: es la característica que permite la transmisión de la luz de un agua. Esta transmisión puede ser afectada por la cantidad de materia suspendida en la misma. Los sólidos suspendidos pueden ser material orgánico, arcilla o la presencia de partículas de otras sustancias contaminantes. Davis y Masten (2005).

- Características químicas: al hablar sobre las características químicas de un agua residual, se limitan a unos cuantos factores importantes, ya que el número de características químicas es ilimitado. Davis y Masten (2005).

-Materia orgánica: la materia orgánica es un conjunto de componentes como carbono, hidrógeno y oxígeno principalmente, en algunos casos puede existir azufre, fósforo o hierro. En aguas residuales existen grupos de sustancias orgánicas como proteínas, hidratos de carbono, aceites y grasas. La materia orgánica se divide en sólidos en suspensión y sólidos filtrables. Burga (2014)

-Sólidos totales: se refieren a la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación, los sólidos sedimentables se definen como los compuestos que se sedimenta en el fondo de un recipiente en un período determinado. Estos se expresan en mg/L, constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual. Depto. de Sanidad de Nueva York (2005)

Para realizar un estudio de la concentración de esta materia orgánica hay varios métodos importantes:

-Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es el parámetro de contaminación más utilizado ya que es la determinación de la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica Burga (2014).

En los lodos, es importante esta capacidad ya que los microorganismos utilizan la materia orgánica coloidal y disuelta como alimento para llevar a cabo todas sus funciones metabólicas, como crecimiento y reproducción generando varios productos finales, diferentes gases y biomasa. Esto ayuda a que el agua residual se sedimente ya que la biomasa tiene un peso específico ligeramente superior al del agua Moeller (1997).

-Demanda química de oxígeno. (DQO) es el parámetro que determina el equivalente en oxígeno de la materia orgánica que puede oxidar un oxidante químico energético en un medio ácido. Davis y Masten (2005).

Se utiliza para la caracterización y regulación de la emisión de desechos industriales. También es una medida alternativa para determinar la demanda biológica de oxígeno cuando los residuos son demasiados tóxicos, Harris (2007)

-Características biológicas: es necesario tomar en cuenta las características biológicas ya que éstas tienen un importante papel en la reutilización de las aguas residuales ya que se determina el crecimiento de los microorganismos y organismos patógenos, los cuales son indicadores de toxicidad de las aguas. Burger (2014)

-Microorganismos: los principales grupos de organismos eucariotas, bacterias presentes en el agua. Al tener bacterias en el agua, realizan procesos descomposición y estabilización de la materia orgánica. Hammeken y Romero (2006).

-Organismos patógenos: son los organismos peligrosos que provienen de los desechos humanos que están infectados o son portadores de una enfermedad. Estos pueden ser bacterias, virus y protozoarios. Hammeken y Romero (2006).

En este caso se busca el número más probable de la existencia de coliformes. Los coliformes son bacterias gram-negativas. Se utilizan como indicadores que miden la calidad del agua. Un alto nivel de bacterias coliformes fecales indica la presencia en el agua de una gran cantidad de heces y materiales orgánicos sin tratar. Estas bacterias son peligrosas ya que tienen grandes efectos en la salud pública puede ser desde condiciones leves como infecciones agudas o hasta más graves como la fiebre tifoidea y la hepatitis. Organización Panamericana de la Salud (1988)

1.2.3. Resumen de la caracterización de las aguas residuales

Tabla 1. Resumen de la caracterización de aguas residuales.

	Propiedades de las Aguas Residuales	Contaminantes presentes en las Aguas Residuales	Efectos producidos por los contaminantes
Físicas	Las propiedades físicas de las aguas residuales, se las da por el contenido total de sólidos. Refiriéndose a materiales flotantes como el plástico, sustancias coloidales. Guerrer, (1997)	Son sustancias líquidas insolubles o sólidos que al entrar en contacto con el agua interfieren en su composición. Guerrer, (1997)	Algunos efectos físicos son el mal olor, cambio de color, mayor turbidez, cambios de temperatura. Romero (2000)
Químicas	Las propiedades químicas de las aguas residuales son proporcionadas por componentes de 3 grupos: Material Orgánico, inorgánico y componentes gaseosos. Romero (2000)	Son compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos en las aguas residuales. Romero (2000)	Algunos efectos químicos son la disminución de la concentración de oxígeno en el agua. Romero (2000)

	Propiedades de las Aguas Residuales	Contaminantes presentes en las Aguas Residuales	Efectos producidos por los contaminantes
Biológicas	Las propiedades biológicas de las aguas residuales son proporcionadas por la cantidad de microorganismos patógenos, los cuales son los encargados de transmitir enfermedades. Seónez (1995)	Son contaminantes como hongos, bacterias y virus. Algunos microorganismos son inofensivos y otros participan en la degradación de materia orgánica en las aguas residuales. Seónez (1995)	Los efectos nocivos de los contaminantes biológicos son la transferencia de enfermedades por los microorganismos patógenos. Y en algunos casos estos pueden provocar la muerte de plantas y animales Seónez (1995)

Fuente: Rodríguez y Sánchez, (2010)

1.2.4. Calidad del agua

El agua es uno de los recursos más importantes para los seres vivos, los seres humanos la utilizamos en una infinidad de actividades, ya sea del día a día, industrial o agrícola. Y para estos usos se necesita una calidad diferente del agua. Cuando se habla de calidad Davis y Masten (2005) proponen 4 factores importantes.

-Físicas: son características que forman parte de la apariencia del agua. En este caso se refieren al color, olor, sabor, turbiedad y temperatura. Davis y Masten (2005)

-Químicas: cuando se habla de las características químicas del agua se refieren a la identificación de los componentes y las concentraciones de estos. Davis y Masten (2005)

-Microbiológicas: para la salud de los seres humanos es importante caracterizar microbiológicamente el agua ya que existen organismos dañinos tales como bacterias, virus y protozoarios. Davis y Masten (2005)

-Radiológicas: es de suma importancia cuando se estudia el agua en zonas que son propensas a sustancias radiactivas. Davis y Masten (2005)

1.2.5. Importancia del tratamiento de aguas residuales

En la historia de los seres humanos se habla que desde sus inicios han utilizado de diferentes formas el agua, la utilizaban para beber o para las regar las siembras. En el año 1804, John Gibb, realizó el primer sistema de suministro de agua potable en Paisley, Escocia.

Posteriormente en 1806 empieza a funcionar la mayor planta de tratamiento de agua. Esta consistía en que el agua se sedimentada durante 12 horas antes de ser filtrada, estos estaban hechos de arena y carbón. Estas son las primeras plantas de tratamiento de agua que se construyeron en el mundo. Desde la revolución industrial el ser humano a sobrepoblado ciertas áreas del planeta por lo que han sido explotados ciertos recursos naturales. En este caso hablamos sobre el agua, el agua como se puede ver desde hace siglos es utilizada para diferentes actividades las cuales por un uso desmedido o un descontrol han provocado una contaminación en las mismas. Esta contaminación es importante tomarla en cuenta ya que naturalmente el ciclo hidrológico realizaba la tarea de descontaminar o desinfectar el agua. Pero el problema ha aumentado desconsideradamente ya que la naturaleza no puede realizar su labor de manera eficiente, esto ha llevado a la necesidad de optar por un tratamiento de aguas residuales. Lenntech (2011).

Esta necesidad se basa en una conciencia con la salud pública y el medio ambiente. Ya que, si el agua no es tratada y está contaminada con sustancias o microorganismos, posteriormente se llega a verter en ríos, lagos o en un lugar donde es posible que llegue hasta los mantos freáticos, y existan daños ecológicos irrevertibles en el entorno ambiental lo cual provocará paralelamente enfermedades en las comunidades aledañas.

Además, es importante tener presente la reutilización de aguas residuales para actividades humanas que necesiten consumo de agua que no requieran ser esencialmente potable. Por ejemplo, se podrían utilizar para riego de zonas verdes.

1.2.6. Caudal

Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto por unidad de tiempo. Normalmente se conoce como flujo volumétrico. Mott (2006)

La fórmula que se utiliza es:

$$Q = A \times v$$

Ecuación 1. Fórmula de flujo volumétrico (Caudal)

Siendo

A es el área del ducto

v es la velocidad del fluido

Esta medida es importante conocerla ya que con ella se hacen las estimaciones para dimensionar la planta de tratamiento de agua.

1.2.7. Planta de tratamiento de aguas residuales

Un sistema de tratamiento de aguas residuales tiene como objetivo la eliminación de los componentes contaminantes o nocivos para la salud humana y el medio ambiente. Este tratamiento de aguas residuales es seleccionado de acuerdo a los contaminantes que se buscan remover.

Existen diferentes sistemas de tratamiento que implican procesos biológicos y fisicoquímicos. Para la selección de los diferentes sistemas de tratamiento se necesita saber el tipo de fuente de agua y la calidad deseada. Una planta generalmente tiene los siguientes sistemas de operación según Henry y Heinke (1999):

-Floculación

-Filtración

-Sedimentación

-Desinfección

Existen diferentes procesos para la degradación de la materia presente en el agua, estos se realizan de forma aerobia o anaerobia. Se diferencian ya que el aerobio realiza todo su proceso en presencia de oxígeno, mientras que anaerobio no. Para elegir un proceso de tratamiento existen diferentes factores como, la eficiencia de la planta, el entorno, y el tipo de agua a tratar y el más importante es el área donde se planea montar la planta de tratamiento de agua. Cuando se cuenta con un terreno extenso o varios terrenos que cuenten con una gran pendiente lo cual facilita el flujo del agua por gravedad se recomienda un proceso aerobio, de lo contrario es preferible uno anaerobio ya que estos tienen la opción de ser subterráneos. Recinos y Barrios (2010)

1.2.8. Diferentes tratamientos de aguas residuales

Existen dos tipos importantes de tratamientos de aguas residuales, los cuales son mediante un proceso aeróbico o un proceso anaeróbico. Aunque es el mismo fin, el proceso es muy diferente en los dos.

1.2.8.1. Digestión Anaeróbica:

Es un proceso de fermentación que ocurre en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales. El proceso se realiza la conversión de la materia orgánica a metano y Dióxido de carbono en ausencia de oxígeno, esto con diferentes tipos de bacterias. Rodríguez (2010).

Para las aguas residuales con alta carga orgánica (2,000 a 30,000 mg DBO/L) la digestión anaerobia es la adecuada. Esto se realiza en un reactor anaerobio cerrado para evitar el contacto del aire, la materia orgánica soluble y coloidal, se transforma en ácidos volátiles que, a su vez, se transforma en metano y dióxido de carbono. El lodo producido en los procesos de tratamiento de aguas residuales está compuesto de la materia orgánica contenido en el agua residual. La digestión de lodos se aplica con el propósito de producir un compuesto final más estable y eliminar cualquier microorganismo patógeno presente en el lodo crudo.

El resultado de la digestión es reducir el contenido volátil a cerca del 50% y los sólidos a aproximadamente un 70% de los valores originales.

1.2.8.2. Digestión aeróbica:

La digestión aerobia consiste en la descomposición biológica de la materia orgánica en presencia de oxígeno. Este proceso es equivalente al de compostaje de una deyección de consistencia sólida, el medio es líquido y solo tiene como objetivo la reducción de la materia orgánica. La concentración de materia orgánica es elevada, se puede llegar a conseguir un incremento significativo de temperatura y producir un ambiente termofílico (temperaturas mayores a 45°C). Agencia de residuos de Catalunya (2004)

1.2.8.3. Balance de materia

En el campo de tratamiento de aguas residuales, la contaminación orgánica es evaluada a través de la Demanda química de oxígeno (DQO) la cual mide la concentración de materia orgánica. Para poder comparar el tratamiento anaerobio y el tratamiento aerobio se necesita ver el balance de DQO.

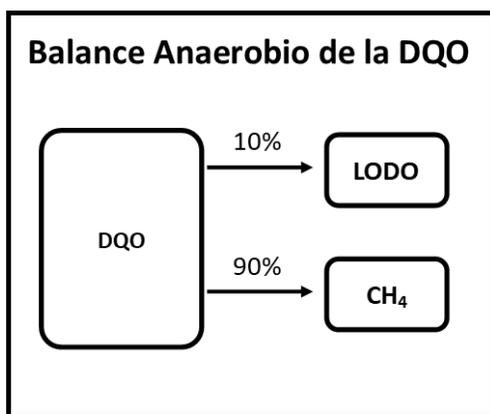


Figura 1. Balance Anaerobio de la Materia Orgánica (www.uasb.org)

La digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica, ya que no hay presencia de un oxidante en el proceso. Esto se debe a la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. La DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 -97%), una mínima parte de la DQO

es convertida en lodo (3-10%). En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía libre es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido. Rodríguez (2010)

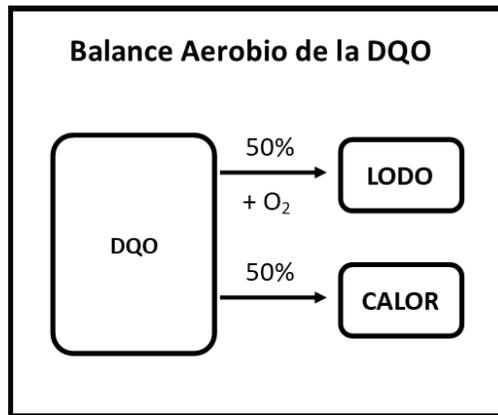


Figura 2. Balance Aerobio de la Materia Orgánica (www.uasb.org)

En este tratamiento se llevan a cabo procesos catabólicos oxidativos. Como el catabolismo oxidativo requiere la presencia de un oxidante de la materia orgánica y normalmente este no está presente en a las aguas residuales, requiere ser introducido artificialmente. La forma más conveniente de introducir un oxidante es por la disolución de oxígeno de la atmósfera, utilizando la aireación mecánica, lo que implica altos costos operacionales del sistema de tratamiento. Adicionalmente la mayor parte de la DQO de la materia orgánica es convertida en lodo, que cuenta con un alto contenido de material vivo que debe ser estabilizado. Rodríguez (2010)

1.2.9. Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar tiene como objetivo la disminución de sólidos en suspensión. En este caso se utiliza el cribado; es el proceso que se emplea para la reducción de los sólidos en suspensión de tamaños distintos. Se tienen unas rejillas donde pasa el agua dejando en las mismas los sólidos. Estos sólidos son recogidos y se destruyen incinerándolos o se tratan por procesos de digestión anaerobia. Aparte de este proceso se utiliza trampas de grasa para retener por flotación el material graso que contiene el agua. Ramalho (1993)

1.2.10. Tratamiento primario

El tratamiento primario busca retirar la mayoría de los sólidos suspendidos que no fueron eliminados en el tratamiento preliminar. Para este caso se utiliza el proceso de sedimentación, este proceso sigue tratando de separar sólidos en suspensión. La separación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentra, que acaba en el depósito de las materias en suspensión. La sedimentación puede producirse en una o varias etapas o en varios de los puntos de todo el proceso de tratamiento.

En una planta típica de lodos activos, la sedimentación se utiliza en tres de las fases del tratamiento. Ramalho (1993)

- En los desarenadores, en los cuales la materia inorgánica se elimina del agua.
- En los Clarificadores o sedimentores primarios, que proceden al reactor biológico, y en el cual los sólidos se separan.
- En los Clarificadores o sedimentores secundarios, que siguen al reactor biológico, se separan del afluente tratado.

1.2.11. Tratamiento secundario y terciario

En el tratamiento secundario permite regular los parámetros fisicoquímicos del agua al eliminar los componentes orgánicos presentes mediante los procesos biológicos que incluyen a las bacterias. Es esta etapa se elimina el fósforo y nitrógeno. Recinos y Barrios (2010)

En el tratamiento terciario, es un tratamiento avanzado que busca aumentar la calidad del agua tratada en el tratamiento secundario convencional mediante la mejora de sus parámetros fisicoquímicos o microbiológicos. Este tratamiento elimina del agua tratada los excesos de nutrientes compuestos tóxicos o microorganismos patógenos. Ramalho (1993)

1.2.12. Tratamiento de lodos

De los tratamientos posteriores mencionados, se produce un subproducto el cuales son los lodos, son sólidos que contienen muchos componentes que se eliminaron del agua, los cuales deben ser estabilizados mediante procesos aerobios o anaerobios. Se necesita caracterizarlos conforme a su composición, olor, consistencia y su carga microbiana. En base a estas características se puede brindar una disposición final. Los lodos tienen diferentes disposiciones ya que pueden ser utilizados como fertilizantes o se neutralizan y se utilizan como relleno. (Recinos y barrios, 2010).

1.2.13. Tipos de lodos

A lo largo del proceso de tratamiento de aguas residuales específicamente en los tanques de sedimentación se generan sólidos o lodos, según Romero (2003) se pueden clasificar de la siguiente forma:

-Sólidos gruesos del cribado: son sustancias sólidas que contienen material orgánico e inorgánico grueso retenido sobre la rejilla.

-Arena y material del desarenador: contiene arena y sólidos pesados que se sedimentan muy rápidamente.

-Espuma y grasa: esto tipo incluye material que flota en la superficie del tanque de sedimentación, los cuales pueden contener grasas y aceites, materiales de densidad relativa menor a 1.

-Lodo primario: son los que provienen de la sedimentación primaria de aguas residuales, tienen las características; lodo gris, pegajosos, de olor ofensivo, son fáciles de digerir.

-Lodo químico: este lodo es precipitado químicamente con sales metálicas, es de color oscuro o rojo cuando contiene demasiado hierro. Cuando se utiliza cal, el lodo es gris, no tiene un olor desagradable como el primario, es gelatinoso por los hidróxidos de hierro o aluminio. Se puede descomponer como los lodos primarios, pero a menor velocidad, produciendo gas y aumentando la densidad.

-Lodo activado: es de color café y floculante. Si es oscuro puede ser séptico. Si es de color claro puede estar subaireado y sedimentar lentamente. En buenas condiciones no tiene olor ofensivo, tiene un olor característico a Tierra.

1.2.14. Caracterización de lodos industriales

Para poder Caracterizar los lodos, se tiene que saber que varían dependiendo de su origen, su edad, del tipo del proceso del que proviene y de la fuente original de los mismos. Es imprescindible determinar una serie de parámetros físicos-químicos y microbiológicos mediante métodos normalizados, con el objetivo de conocer si el valor de estos parámetros se encuentra dentro del intervalo que relaciona valores máximos y mínimos permitidos. Mahamud, Gutiérrez y Saltle (1996).

-Parámetros físico-químicos relevantes en los lodos

Los parámetros físicos son importantes para la calidad y la composición de los lodos. Estos nos darán una base para poder caracterizar el lodo con el fin de encontrarle una disposición final al mismo.

Los parámetros son los siguientes:

-Determinación de pH

El termino pH es utilizado para determinar si una solución es acida o básica, es la forma de medir la concentración de iones hidronio de una disolución. La escala de pH se divide en dos partes, los valores de 0 a 7 indican una acidez, los valores de 7 a 14 indican una basicidad y el valor 7 una neutralidad. Romero (2000)

-Determinación de humedad

Es la cantidad de agua que tiene un cuerpo, la mayoría de materias conocidas como orgánicas e inorgánicas contienen agua en su composición. Montoya (2011)

-Determinación de demanda biológica de oxígeno (DBO)

La demanda biológica de oxígeno es la capacidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. En condiciones, esta demanda se cuantifica a 20°C, el ensayo estándar se realiza a cinco días de incubación y se conoce convencionalmente como DBO/5 y se expresa en mg/L. Romero (2000)

-Determinación de demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno se usa para medir el equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general Dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos se utiliza el Sulfato de plata. Romero (2000)

-Parámetros microbiológicos relevantes en los lodos

Los parámetros microbiológicos son importantes en los lodos para determinar algunos factores que puedan influir en alguna utilización posterior de los mismos. En el capítulo VIII del Acuerdo Gubernativo 236-2006 menciona que para la utilización de lodos como abono se necesita que la carga microbiana sea menor a las dos mil unidades formadoras de colonia por kilogramo de Coliformes fecales (E. Coli).

-Coliformes totales y fecales

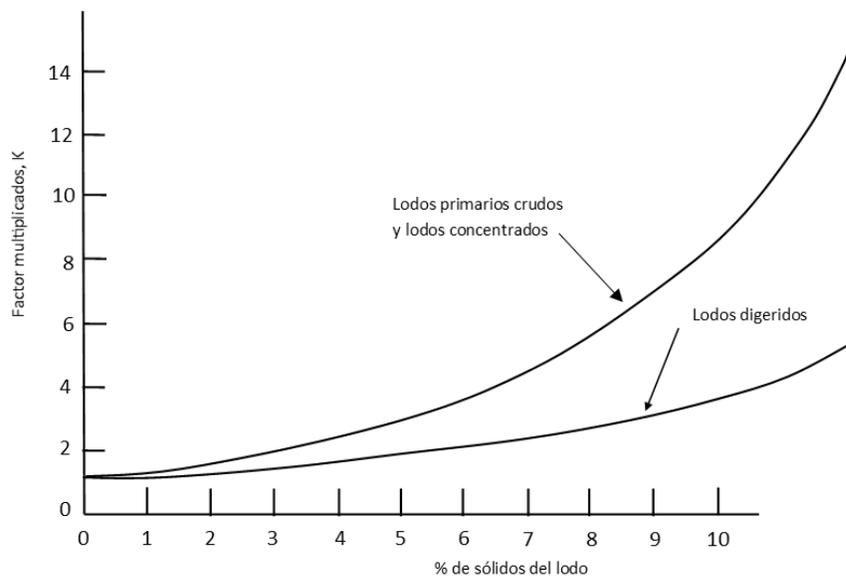
Los coliformes son bacilos cortos que se han definido como bacterias aerobias o anaerobias facultativas que fermentan la lactosa con producción de gas. Las principales especies de bacterias coliformes son E. Coli y Enterobacter Aerogenes. El grupo de coliformes fecales incluyen a los coliformes capaces de crecer a

temperatura elevada 44.5 a 45 °C. La Escherichia Coli, tiene una temperatura óptima de crecimiento del microorganismo de 37 ° C con un pH de 7 a 7.5. Este microorganismo es termo sensible y puede ser destruido con facilidad a temperaturas de pasteurización. Esta Bacteria es un microorganismo patógeno el cual es un indicador de contaminación en el agua. Ramírez (2008)

1.2.15. Flujo de lodos

Los lodos de una planta de tratamiento de agua residuales requieren trasporte para su tratamiento y disposición. Existen diferentes mecanismos o bombas que nos ayudan a moverlo de lugar. Los lodos diluidos de concentraciones de sólidos menores del 3%, se comportan como el agua es decir se pueden considerar fluidos newtonianos. Los lodos concentrados son fluidos no newtonianos y existe una pérdida de energía la cual no es proporcional a la velocidad de flujo ya que la viscosidad del lodo no es constante. Romero (2000)

Figura 3. Flujo de lodos



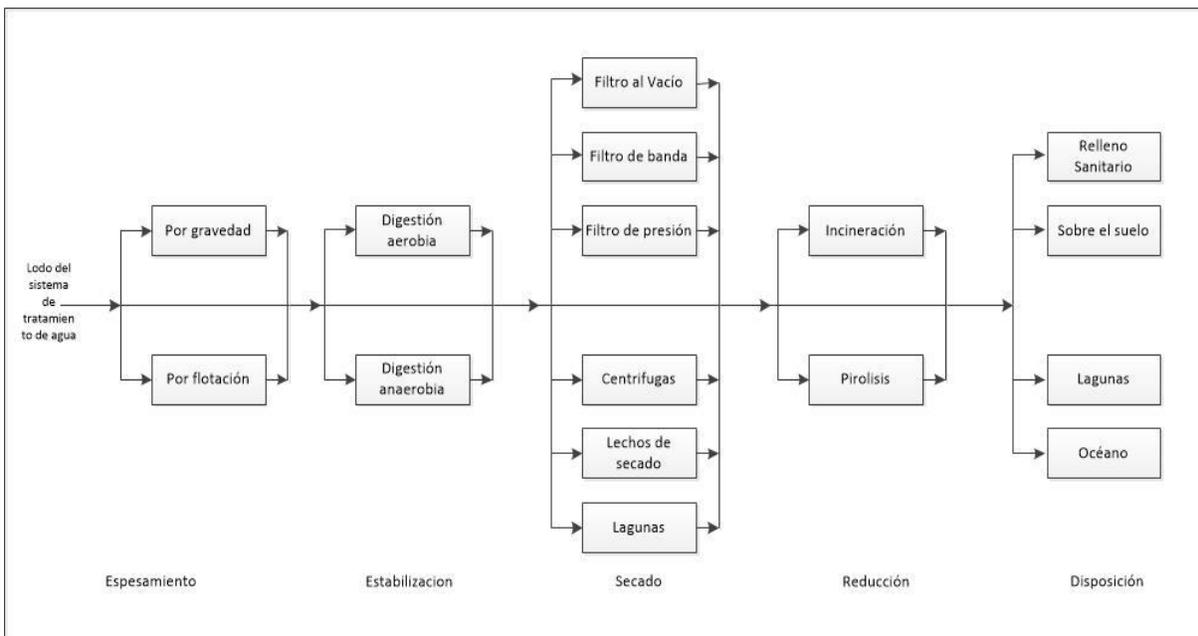
Fuente: Romero. (2000)

1.2.16. Métodos del tratamiento de lodos

El tratamiento y disposición final eficiente de los lodos de una planta de tratamiento de agua residuales se requiere conocer las características de los sólidos y del lodo a procesar, así como la aptitud de los diferentes sistemas de procesamiento y la facilidad de acceso a las diferentes opciones de disposición final. Romero (2000)

Existen diferentes procesos de tratamiento y disposición de lodos, como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 4. Procesos tratamientos



Fuente: Romero. (2000)

La figura anterior muestra los procesos por los cuales pueden pasar los lodos, está el espesamiento, el cual es un mecanismo en donde se trata de aumentar la concentración de los lodos. Luego está la estabilización donde se reducen la presencia de patógenos, elimina olores desagradables y reducen su potencia de putrefacción. Existen dos tipos de estabilización: aerobia y anaerobia. Después está el proceso de secado donde se consigue reducir el peso de los lodos, mediante la evaporación de agua que existe en los mismos.

Posteriormente este el proceso de reducción, este proceso se realiza por medio de la incineración y la pirolisis, la diferencia entre estos procesos esta que en la pirolisis se tiene una eficiencia energética. Y por último esta la disposición final donde se busca encontrar una forma de manejarlos, ya sea depositarlos en vertederos, encontrar aplicaciones al suelo o incinerarlos.

1.2.16.1. Espesamiento de lodos de aguas residuales

El espesamiento es, generalmente, la primera etapa del tratamiento de lodos, se puede realizar por gravedad o por flotación con aire disuelto. Lo cual mejora la operación de los digestores, rebajar el costo de la digestión y reducir el volumen del lodo. Normalmente se utiliza para reducir el costo de los tratamientos o procesos aplicados después del espesamiento. Romero (2000)

- Espesamiento por gravedad

La sedimentación es un método común para separar sólidos de líquidos en tratamiento de agua. Los espesadores por gravedad son sedimentadores dotados con barredora de lodos para producir un lodo más concentrado que el lodo aplicado. El rendimiento de un espesador gravitacional puede mejorarse agregando coagulantes. El lodo del tratamiento con lodos activados es difícil de espesar, por lo cual se prefiere mezclarlo con lodo primario. El lodo primario y el lodo de cal sedimentan más fácilmente y permiten obtener una concentración alta de sólido sin añadirle ningún químico. Cuando se realicen espesamiento por gravedad de lodos activados solos, se deben de tener en cuenta las siguientes precauciones. Romero (2000)

- * Si la temperatura del agua residual es mayor a 20°C, solo se debe usar espesamiento por gravedad.
- * Se debe mantener el lodo en el espesador menos de 18 horas para reducir efectos indeseables de la actividad biológica.

- Espesamiento por flotación

Es un método que se aplica a los lodos con características gelatinosas como los lodos activados y a los lodos livianos de filtros percoladores. Para lodos primarios y lodos combinados se prefiere utilizar el método por gravedad. El espesamiento por flotación con aire disuelto es una separación de sólidos del líquido mediante la introducción de burbujas finas de aire dentro de la fase líquida. Las burbujas se adhieren a los sólidos y el empuje combinado del gas y sólidos hacen que suban a la superficie del líquido donde son removidos. Romero (2000)

1.2.16.2. Digestión de lodos de aguas residual.

La digestión de lodos se aplica con el propósito de producir un compuesto final más estable y eliminar cualquier microorganismo patógeno presente en el lodo crudo. Se puede realizar la digestión de dos formas, una aerobia que es cuando el proceso necesita oxígeno y la anaerobia que es cuando no se necesita oxígeno. Romero (2000)

- Digestión anaerobia

El lodo producido en los procesos de tratamiento de aguas residuales está compuesto de la materia orgánica contenía en el agua residual cruda, en forma diferente, pero también susceptible de descomponían. La digestión anaerobia se usa principalmente para estabilizar los lodos primarios y secundarios. El primario es un lodo digerible con fuerte olor desagradable. Romero (2000)

La reducción de sólidos volátiles es el criterio usado para medir el rendimiento de los procesos de digestión de lodos. El resultado de la digestión es reducir el contenido volátil a cerca del 50% y los sólidos aproximadamente 70% de los valores originales Los sólidos orgánicos remanentes son homogéneos, estables, con olor a alquitrán. Romero (2000)

El proceso convencional de digestión anaerobia se efectúa en dos etapas, la primera con calentamiento y mezclado, lo que produce una mayor cantidad de gas y la segunda es una etapa de asentamiento tranquilo usada para almacenamiento,

espesamiento del lodo digerido y la formación de un sobrenadante claro. El sobrenadante es material orgánico soluble para otro tratamiento y el lodo digerido es extraído para secado y disposición final. Romero (2000)

- Digestión aerobia

La digestión aerobia de aguas residuales es el método más usado en plantas con caudales menores de 19 m³/d para estabilizar su componente orgánico. El proceso de digestión aerobia permite reducir la concentración de sólidos volátiles en un 35 a 50%. Romero (2000)

Según Romero entre las ventajas del proceso de digestión aerobia de lodos se señalan las siguientes:

- * Para plantas menor a 220L/s
- * Es más fácil que operar un proceso anaerobio
- * No genera malos olores
- * Reduce el contenido de carga microbiana
- * Reduce el contenido de grasas y aceites en el lodo.
- * Produce un sobrenadante de DBO, Bajo.

1.2.16.3. Estabilización con Cal de los lodos residuales

La adición de cal para estabilización de lodos es un proceso sencillo que permite eliminar olores y microorganismos patógenos mediante la creación de un pH igual a 12 durante doce horas.

Cuando se agrega cal, los microorganismos que producen los gases olorosos de la descomposición anaerobia son destruidos o inactivados.

Según Romero la adicción de cal a los lodos mejor las características de secado y sedimentación de lodo, reduce el poder fertilizante y aumenta su alcalinidad.

El criterio recomendado para dosificar es:

- * Tratar el lodo en forma líquida.
- * Dosificar suficiente cal para elevar el pH del lodo a 12.5 y mantenerlo así durante 30min para asegurar que el pH en 12 se mantenga durante 12.

1.2.16.4. Acondicionamiento de Lodos

El acondicionamiento de lodos es necesario para obtener un lodo espesado o desaguado de buena concentración de sólidos, cuando se usan procesos mecánicos de espesamiento o secado. Según Romero hay 3 tipos de acondicionamiento principales los cuales son:

- Acondicionamiento con compuestos químicos orgánicos

El acondicionamiento con polímeros orgánicos, compuestos de cadenas largas de monómeros, moléculas solubles en agua, aniónicos, no iónicos o cationes, es un proceso complejo de desestabilización de partículas mediante neutralización de cargas y floculación.

Los polímeros utilizados suelen tener un peso molecular de 20,000 a 10,000, que son los coagulantes primarios, los cuales son solubles en agua.

- Acondicionamiento con compuestos químicos inorgánicos

Este acondicionamiento se utiliza compuesto como la cal, cloruro férrico, sulfato ferroso o cloruro de aluminio posteriormente se realiza una filtración al vacío. La ventaja de este método es que el lodo seco es utilizado para suelos agrícolas o compostaje.

- Acondicionamiento físico térmico

El tratamiento de lodos con calor es un proceso de estabilización y acondicionamiento que supone calentar el lodo a presión durante un período apropiado. La temperatura requerida para el proceso es de 176 a 260°C, durante 15 a 30 min. Este proceso permite obtener un lodo concentrado, esterilizado, fácil de desaguar, porque tiende a ser fácil su filtración al vacío.

1.2.16.5. Secado de lodos

Es el proceso donde se busca disminuir la cantidad de agua del lodo a menos de un 85%. En la selección del método de secado de un lodo conocer las características fisicoquímicas y microbiológicas para tener una idea clara de cual método utilizar y cuál será su disposición final.

Según Romero hay varios puntos importantes que mencionar para el secado de lodos:

- * Facilitar el manejo de lodos. Un lodo seco permite su manejo con cargadores o carretillas.
- * Aumentar su valor calórico del lodo para facilitar su incineración.
- * Minimizar la producción de lixiviados al disponer el lodo en un relleno sanitario.
- * Reducir la humedad para disminuir el volumen del lodo, facilitar su manejo y hacer más económico su tratamiento posterior y su disposición final.

El secado de lodos depende de la forma en que se encuentra el agua, es decir existen 4 tipos de formas de aguas, el agua libre la cual no se asocia al lodo ni es influida por sus partículas suspendidas; el agua intersticial, es el agua que se encuentra entre las cavidades e intersecciones de los lodos y de los organismos; el agua Vecinal, es la forma del agua que esta por capas de moléculas fuertemente adheridas a la superficie de las partículas por enlaces de hidrogeno, no tiene libertad de movimiento y permanece adherida a las superficies. Y el agua de hidratación, es el agua que está asociada químicamente a las partículas y solo se puede remover con energía térmica. Romero (2000)

1.2.17. Alternativas de aprovechamiento para lodos

Los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales tienen una alta cantidad de materia orgánica por lo que se consideran idealmente para fertilizantes. Alrededor de un 3% de concentración de nitrógeno y fósforo tienen los sólidos de los lodos. Los lodos pierden progresivamente su contenido de nitrógeno y fósforo, según se reduce su contenido de agua. Nemeron (1977)

La composición de abonos con lodos crudos filtrados proporciona un material orgánico estable, semejante al humus, que se puede utilizar como acondicionador de terreno y como una fuente de nutrientes para las plantas. Ramila y Rojas (2008)

Los lodos son residuos, que contiene compuestos nocivos como el arsénico y el mercurio y otros compuestos muy beneficiosos como el nitrógeno y fósforo. En algunos casos estos pueden ser peligrosos para la salud por la presencia de sustancias tóxicas, compuestos químicos, virus o bacterias que llegan a causar enfermedades, por lo que se requiere un manejo adecuado como la neutralización de agentes patógenos, estabilización, filtración y secado previo para poder prevenir impactos negativos a la salud y el medio ambiente Metcalf & Eddy (1977)

1.2.17.1. Compostaje de lodos

El compostaje de lodos es la degradación biológica controlada de materiales orgánicos hasta formar un compuesto estable, de color oscuro, textura suelta y olor a tierra similar al humus, denominado compost, según Romero.

Este proceso se puede realizar de forma aerobia o anaerobia. El compostaje aerobio provoca una aceleración en la descomposición del material orgánico, se puede eliminar microorganismos patógenos ya que con este proceso se pueden llegar a temperaturas muy altas. El compostaje anaerobio provoca malos olores.

Según Romero el proceso de compostaje busca tres objetivos fundamentales:

- * La conversión biológica del material orgánico putrescible en un compuesto estable.
- * La destrucción de patógenos debido a las altas temperaturas alcanzadas durante el proceso.
- * La reducción másica del material húmedo, a través de la remoción de agua y de sólidos volátiles.

Hay una variedad de formas de realizar un compostaje, pero en lo general todas se basan en las siguientes operaciones:

- * Mezclado del material llenante con lodo
- * Descomposición microbial del material orgánico
- * Clasificación o tamizado del material
- * Curado del material fino
- * Almacenamiento

El compostaje requiere, para su funcionamiento correcto, el control de algunas características de la materia, tales como pH, temperatura, porcentaje de humedad, concentración de carbono y nitrógeno.

1.2.18. Incineración de lodos

Conduce a la combustión de materias orgánicas de los lodos. Es el proceso que se consigue un producto residual de menor masa, las cenizas constituidas únicamente por materias minerales del lodo. García (2006)

Existe un método, parecido a la incineración, llamado pirolisis o combustión de escasa de aire, es la combustión incompleta que ocurre cuando no hay abastecimiento suficiente de oxígeno para satisfacer los requerimientos de la combustión. Romero (2000)

Existen otras alternativas para el aprovechamiento de lodos, las cuales tienen ventajas y desventajas.

Tabla 2. Ventajas y Desventajas de las alternativas de aprovechamiento para los lodos.

Alternativa	Ventaja	Desventaja
Incineración	<ul style="list-style-type: none"> - Los biosólidos son reducidos a cenizas en el mismo lugar. - La combustión de elimina los microorganismos patógenos y oxida los compuestos orgánicos tóxicos. - Los metales pesados en las cenizas tienen una solubilidad menor. - El diseño adecuado del proceso de incineración es económicamente viable. MetCalf & Eddy (1977) 	<ul style="list-style-type: none"> - Es la alternativa más costosa en la eliminación de lodos. - Las instalaciones de incineración suelen tener problemas de medio ambiente por a la emisión de gases. MetCalf & Eddy (1977)
Compostaje	<ul style="list-style-type: none"> - Se obtiene una materia prima de alta calidad para su uso en agricultura. - Este proceso puede combinarse con otros procesos de aprovechamiento de lodos. Sierra (2008) 	<ul style="list-style-type: none"> - Se necesita que el contenido de sólido este entre 40 y 60 %. - Es recomendable tener un sistema de aireado a presión, pero esto provoca una dispersión de microorganismos a través del polvo. - Se necesita incorporar un compuesto como fuente de carbono. Sierra (2008)
Producción de ladrillos	<ul style="list-style-type: none"> - Se encapsulan los metales pesados por medio del proceso de cocción. - Se elimina la emisión de olores. - Sirve para reforzar la estructura mecánica del ladrillo al quedar incorporado en este. - Se incorpora la materia orgánica ya que esta al degradarse y realizar el proceso de combustión crea una porosidad interna en el ladrillo que proporciona la formación y salida de los gases de descomposición. Navarro (2007) 	<ul style="list-style-type: none"> - Emisión de malos olores al secar los ladrillos. - Emisión de gases durante la cocción. Pueden ser gases inorgánicos ó orgánicos volátiles. Navarro (2007)

Alternativa	Ventaja	- Desventaja
Fertilizantes Orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> - Mejoran las propiedades del suelo. - Recirculación de los nutrientes del suelo en donde se aplican los lodos. - Recuperación de suelos degradados y erosionados. Daguer (2003) 	<ul style="list-style-type: none"> - La dosis a aplicar depende de la concentración de nitrógeno y fósforo. - Si se aplica en exceso puede afectar el trabajo de los pesticidas y plaguicidas en los suelos. Daguer (2003)
Vermiestabilización o VermiComposteo	<ul style="list-style-type: none"> - Se logra la reducción de microorganismos patógenos, cerca de un 95%. - Es un alimento de calidad para lombrices, ya que contiene los nutrientes suficientes para aportar el crecimiento de las mismas. Daguer (2003) 	<ul style="list-style-type: none"> - Solo debe aplicarse para plantas en las cuales la producción de lodo diario no sea superior a las 10 lb. Daguer (2003)

Fuente: Díaz y Mejía, (2013)

1.3. Planta de tratamiento de agua de la recicladora de plástico

En el año 2015, se inició la construcción de la recicladora de plástico con el fin de ayudar al medio ambiente, especialmente al lago de Amatitlán. Esta empresa se dedicó a enseñar a las personas a seleccionar el plástico que puede ser reciclado por la empresa. El plástico entra a la planta y es seleccionado por varios atributos, plástico limpio y sin tinta, plástico sucio, plástico con tinta, además se selecciona por su tipo de composición, polietileno de baja densidad de película, polietileno de alta densidad de película, polipropileno de película.

El proceso de reciclaje del plástico consiste: primero ser triturado por un molino, posteriormente se pasa por un equipo de lavado, después de eso a un tanque de flotación, donde el plástico flota a otra parte del equipo de lavado dejando a su paso restos de residuos sólidos, al pasar por la otra parte del equipo de lavado, el plástico sale más limpio y pasa a un proceso de secado, donde comprime el plástico hasta extraer todo el líquido. Luego es pasado por un silo que lleva el plástico a un tornillo sin fin, donde es transformado en pellets los cuales son utilizados posteriormente como materia prima en otros procesos.

Los materiales que se reciclan provienen de los vertederos y basureros del municipio de Amatitlán y del departamento de Escuintla, los cuales contienen una gran carga de tierra y suciedad. Por eso el proceso más importante es el lavado del material. Toda esta suciedad se queda en el agua que es utilizada para este proceso.

Debido a la cantidad de agua residual generada en el proceso, la empresa decidió construir una planta de tratamiento de agua donde se buscó la forma de reutilizarla, recirculándola de nuevo en el proceso y al finalizar su uso poder desecharla en la alcantarilla de una forma segura bajo el cumplimiento del artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006. Este artículo menciona los límites máximos permisibles de los parámetros para las descargas de aguas residuales a al alcantarillado.

Figura 5. Foto de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la recicladora.



Fuente: Elaboración propia, (2018)

Esta planta de tratamiento de agua tiene las siguientes áreas:

a) Bomba de pozo de captación

El agua residual del proceso se acumula en el pozo de captación y es bombeada al desarenador que está a 6 metros arriba de suelo.

b) Desarenador

El agua sale de la tubería de la bomba al desarenador. El agua contiene residuos sólidos que pueden ser atrapados y separados del agua con una malla de mesh 4.

c) Tanque de homogenización

La principal función del tanque de homogenización es que el agua que ingresa a la planta de tratamiento sea de calidad y cantidad estable. El tanque tiene una bomba sumergible y un sensor de nivel, la cual la activa las bombas dosificadoras de productos químicos.

d) Reactor tubular (serpentín)

Al llegar al nivel del agua adecuado, se bombea el agua hacia el serpentín, donde son inyectados los químicos. En este serpentín se lleva a cabo la reacción de

floculación y coagulación previa a la descarga del agua en las piletas de sedimentación.

e) Piletas de sedimentación

Las piletas de sedimentación tienen la función de retener el agua en el tiempo adecuado para que pueda llevarse a cabo la separación de los lodos formados en el proceso físico y el agua clarificada. Esto porque los lodos son más pesados y por esta razón se van al fondo de la primera pileta. El agua clarificada pasar a la segunda pileta por rebalse.

La segunda pileta tiene como objetivo terminar de separar la cantidad mínima de residuos plásticos, grasas y aceites que se lograron pasar de la primera pileta, esto para obtener una mejor calidad de agua para la tercera pileta para su disposición final. (Recirculación)

Los lodos que se forman en la primera pileta son retirados utilizando la bomba sumergible colocada para evitar la saturación de lodos. Los lodos son acumulados dentro de sacos de propietileno.

1.4. Marco legal del tratamiento de lodos industriales en Guatemala

En la legislación Guatemalteca se encuentran varios documentos importantes sobre el cuidado del medio ambiente, el manejo de aguas residuales y aportes legales relacionados al manejo y disposición de lodos residuales.

En el artículo 97 de la constitución de la República de Guatemala, " Medio ambiente y equilibrio ecológico" indica que "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." En base a este artículo se establecen las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento del medio ambiente de Guatemala se realicen de una forma correcta evitando su depredación.

El congreso de la República de Guatemala consideró que la protección del medio ambiente y la correcta utilización de los recursos naturales y culturales es fundamental para el logro de un desarrollo social y económico del país por lo que decretó la “Ley de protección y Mejoramiento del Medio ambiente (Decreto No. 68-86).

En el artículo 12 menciona ciertos objetivos específicos de la ley, tales como la prevención, regulación y control de cualesquiera de las causas o actividades que origine deterioro del medio ambiente y contaminación de los sistemas ecológicos y excepcionalmente, la prohibición en casos que afecten la calidad de vida y el bien común calificados así, previos dictámenes científicos y técnicos emitidos por organismos competentes”.

En base al Artículo 15, el Gobierno de Guatemala emitió las disposiciones y reglamentos correspondientes, para ejercer el control, aprovechamiento de las aguas; prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares y cualquier otra causa o fuente de contaminación hídrica por lo que realizó y aprobó el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

El objetivo principal del AG No. 236-2006 es establecer los criterios y requisitos que deben de cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos para lograr proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana, poder recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización y promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

Por lo que se mencionaran los artículos importantes en los cuales se basa esta investigación para poder cumplir con la legislación guatemalteca:

En este capítulo en el artículo 41 “Disposición Final” menciona las formas en las cuales se puede reusar el lodo, las cuales son: Aplicación al suelo:

Acondicionador, Abono o Compost; Disposición en rellenos sanitarios; Confinamiento o asilamiento o se puede realizar una combinación de las opciones anteriores.

El artículo 42. Parámetros y Límites Máximos permisibles para lodos, presenta un reglamento de los valores permisibles de las propiedades fisicoquímicas en las cuales debe de estar el lodo para poder tener una disposición final.

Figura 6. Límites máximos permisibles para lodos

Disposición Final	Dimensionales	Aplicación al suelo	Disposición en rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento
Arsénico	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	> 100
Cadmio	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	> 100
Cromo	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	1500	3000	> 3000
Mercurio	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	25	50	> 50
Plomo	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	500	1000	> 1000

Fuente: Artículo 42, Acuerdo Gubernativo 236-2006

Estos parámetros son ideales cuando el suelo donde será utilizado el pH sea menor a 7. Cuando el suelo tiene un pH mayor o igual a 7, se puede disponer de los lodos hasta un cincuenta por ciento más de los valores presentados como límites máximos permisibles.

El artículo 43 “Aplicación al suelo” cuando el lodo esta entre los límites permisibles de acuerdo al artículo 42, se permite disponer hasta doscientos mil kilogramos por hectárea por año y en caso de que se utilice como abono se permitirá disponer hasta cien mil kilogramos por hectárea por año.

El artículo 44 “Disposición hacia rellenos sanitarios” se puede utilizar el lodo media vez no sean bioinfecciosos y que no requieren confinamiento y sobre todo que cumplan con el artículo 42.

El artículo 45 “Confinamiento o aislamiento”, menciona que los lodos que en su composición tengan algún elemento tóxico que requiera confinamiento o aislamiento, esto para evitar un daño o impacto adverso al manto freático, fuentes de suministro de agua superficiales y subterráneas, el suelo, subsuelo y el aire. Se deben de contar con recintos que posean autorización del ministerio de ambiente y recursos naturales y el aval de los ministerios de Salud Pública y Asistencia Social y de Energía y Minas.

La única prohibición de la disposición de lodos se encuentra en el Artículo 59 “Prohibición de disposición de lodos” en el cual se menciona que es totalmente prohibido efectuar la disposición final de lodos en alcantarillados o cuerpos de aguas superficiales o subterráneos.

Además, menciona que la utilización de lodos como lodos para cultivos comestibles que se pueden consumir crudos o precocidos, hortalizas y frutas, tiene restricciones, es decir el lodo tiene que haber sido estabilizado y desinfectado, no tiene que contener metales pesados y no tiene que exceder de las dos mil unidades formadoras de colonia por kilogramo de coliformes fecales.

CAPITULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa se dedica al reciclado de plásticos de los tipos, polietileno de baja densidad de película, polietileno de alta densidad de película, polipropileno de película para la elaboración de pellets que se convierten en materia prima para una nueva producción de bolsas de plástico o nylon. Dentro del proceso de reciclado es necesario lavar los plásticos, ya que estos pueden contener alguna sustancia que disminuya la calidad de los pellets. La planta mantiene una producción de 24,000lbs de plástico reciclado al día, con un uso de agua de casi 30 m³ por hora, la recicladora construyó una planta de tratamiento de aguas residuales mediante la cual se le da un tratamiento a las aguas salientes del proceso. Esto con el fin de ser congruentes con la cultura de cuidado del medio ambiente.

La etapa de lavado es muy importante en el proceso, ya que sirve para eliminar todas las sustancias no deseadas del plástico reciclado, ya que los mismos provienen de lugares como basureros o vertederos del municipio de Amatlán y del departamento de Escuintla. Al iniciar operaciones en la recicladora, el proceso solo incluía un solo lavado del plástico, sin embargo, se dieron cuenta que los pellets aun salían sucios y con partículas de tierra provocando un plástico reciclado muy débil. Por lo que tomaron la decisión de lavar dos veces el plástico.

Esto al principio no era un problema, pero al pasar el tiempo provocó que la planta de tratamiento de agua ya no fuera suficiente por la cantidad de lodos y aguas residuales que se generaban, provocando que los lodos residuales se acumularan en el tanque de sedimentación. Debido a esta razón implementaron un canal con niveles, donde dejan que el lodo se acumule, y de esta forma poder tener un mayor espacio y darles a los floculantes y coagulantes tiempo de realizar su reacción.

En este canal es donde se recolectan los lodos industriales y posteriormente son colocados en sacos de 40 a 50 kg. Esto se realiza por ciclo de 30 horas en el cual se generan entre 1900 lb (864kgs) a 2400 lb (1,090kg) de lodo residual. Posteriormente los sacos son acumulados bajo el sol en un área cercana al proceso

de reciclado de plástico, y al acumular cierta cantidad de sacos son llevados a un relleno sanitario cercano a la planta

Como se describe anteriormente, la recicladora no cuenta con una alternativa viable de disponerlos.

Estos lodos generalmente tienen una gran cantidad de materia orgánica la cual es potencialmente valiosa para aprovecharla. Los lodos con ciertas características pueden utilizarse como abono o compostaje y pueden contribuir a mejorar las condiciones del suelo.

Para poder proponer una mejor alternativa al aprovechamiento beneficioso de los lodos, se deduce el siguiente cuestionamiento:

¿Las características fisicoquímicas y microbiológicas de los lodos industriales generados en la recicladora de plástico cumplen con el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, así mismo, estos pueden disponerse de una manera más eficiente que puede beneficiar a la empresa?

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivo general

Determinar la disposición de los lodos industriales analizando sus características fisicoquímicas y microbiológicas comparándolas con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 bajo condiciones normales de operación en estación seca.

2.1.2. Objetivos específicos

1. Determinar la concentración de metales pesados presentes en los lodos industriales de la planta de plásticos según lo regulado en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006
2. Determinar la demanda química, bioquímica de oxígeno y el pH presente en el agua residual de la planta de tratamiento de agua de la recicladora de plástico.
3. Determinar la cantidad de NMP de colonias de la bacteria E. Coli en el agua residual y en los lodos residuales de la planta de tratamiento de agua, de la recicladora de plástico.
4. . Plantear alternativas de disposición final de los lodos residuales de la recicladora de plástico que sean viables y sostenibles en el tiempo.

2.2. Hipótesis

En este caso, esta investigación no presenta una hipótesis ya que no es un estudio experimental según Arias y Caballeros, 3a. Ed. (2012) en el libro Guía para realizar el trabajo de graduación.

2.3. Variables de estudio

- a) Concentración máxima permisible de metales pesados en lodos según el capítulo VIII del Acuerdo Gubernativo 236-2006. (Arsénico, Cadmio, Cromo, Mercurio y plomo).
- b) Demanda química de oxígeno (DQO).
- c) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- d) pH
- e) Carga microbiana en el agua Residual (Coliformes).

2.4. Definición de los elementos de estudio

- f) Concentración máxima permisible de metales pesados en lodos según el capítulo VIII del Acuerdo Gubernativo 236-2006. (Arsénico, Cadmio, Cromo, Mercurio y plomo).

Definición conceptual:

Un metal pesado, es un elemento cuyo átomo tiene una subcapa d (subnivel de energía) incompleta o que puede dar lugar a cationes. Sus propiedades son puntos de fusión y ebullición altos, buenos conductores de calor y electricidad.

Definición operacional:

La concentración de los metales pesados se mide en mg del elemento dividido kg del lodo residual.

- a) Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)

Definición conceptual:

Concentración de oxígeno disuelto para la utilización de microorganismos para oxidación de carbono orgánico.

Definición operacional:

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se mide en mg de Oxígeno dividido en L de agua residual.

b) Demanda química de oxígeno (DQO)

Definición conceptual:

Concentración de oxígeno requerido para la oxidación química de todas las sustancias susceptibles a ser oxidadas presentes en agua.

Definición operacional:

La demanda química de oxígeno (DBO) se mide en mg de Oxígeno dividido en L de agua residual.

c) pH

Definición conceptual:

Es el indicador de la concentración de iones hidronio (H_3O^+) presentes en determinadas sustancias.

Definición operacional:

El pH tiene una escala de valores de 0 a 14, de 0 a 7 las disoluciones son acidas, 7 significa neutro y de 7 a 14 las disoluciones son alcalinas.

d) Carga microbiana en el agua Residual (Coliformes).

Definición conceptual:

Cantidad de microorganismos patógenos (Coliformes fecales) contenidos en la materia orgánica de los lodos.

Definición operacional:

La carga microbiana se mide NMP/100 ml (Número más probable).

2.5. Alcances y límites

Esta investigación se dedicó a analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas de los lodos sedimentados en la planta de tratamiento de agua en la planta recicladora de plástico. Estos parámetros estarán basadas en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 bajo condiciones normales de operación en estación seca, para poder darle una utilidad eficiente o una disposición final adecuada a los mismos.

Las características fisicoquímicas que se seleccionaron fueron Demanda química de oxígeno, Demanda bioquímica de oxígeno, pH, la concentración en mg/kg de elementos metálicos ya que son los necesarios que requiere el capítulo VIII del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

También se realizan los análisis del DBO₅, DQO del agua residual y microorganismos, para tener un mejor panorama de lo que pueden contener los lodos en cuanto a la demanda de oxígeno y crecimiento patógeno. En base a los resultados se realizará un procedimiento donde se mejorarán las ciertas propiedades del lodo para darle la utilidad más eficiente.

A causa de que el costo de los análisis seleccionados es muy alto, los resultados obtenidos en la investigación se manejaran con un nivel de confianza del 90%, ya que para un valor más alto del nivel de confianza se necesitaría una mayor cantidad de muestras de agua residual.

Los límites principales de este estudio es el analizar los resultados de los estudios de las características fisicoquímicas y microbiológicas de los lodos para poder dar una recomendación de la utilidad más eficiente de los mismos o una disposición final correcta.

Además, los estudios se realizarán en época seca, en condiciones normales de operación para que las muestras no sean afectas por la estación de lluvia y se tenga un mayor porcentaje de certeza en los estudios.

Por último, es fundamental mencionar que en esta investigación no se realiza la evaluación de factibilidad económica de la utilidad eficiente recomendada a la planta de tratamiento de agua en la recicladora de plásticos, en mención a la correcta disposición final de lodos y la puesta en marcha del proceso de elaboración de la disposición final de lodos industriales.

2.6. Aportes

A la Recicladora de plástico, al presentarlo como proyecto de desarrollo y aprovechando los parámetros idóneos para la disposición final de los lodos industriales sedimentados en la planta de tratamiento de agua.

Al medio ambiente, considerando que se le dará una disposición final correcta a un desecho que puede llegar a ser más contaminante.

A la cuenca del lago de Amatitlán, para minimizar el impacto ambiental que la disposición actual que se le daba a los lodos industriales sedimentados.

CAPITULO III

MÉTODO

3.1. Sujetos y unidades de análisis

3.1.1. Sujetos de análisis

Se buscaron personas con el conocimiento y experiencia para recaudar información relevante para esta investigación

- a) Sr. Sierra
Gerente general de la recicladora.
- b) Alfredo Orellana
Jefe de producción, encargado de la planta de tratamiento de agua en la recicladora.

3.1.2. Unidades de análisis

La recicladora, contaba con documentos relevantes para esta investigación

- a) Datos históricos de la planta de tratamiento de agua de la recicladora:
Los datos corresponden al período 2016-2017, desde que da inicios de trabajo la planta de tratamiento de agua.
- b) Reportes de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos:
Los reportes de todos los análisis que se le han realizado al agua residual y a los lodos residuales, emitidos por el laboratorio de análisis Fisicoquímicos y microbiológicos de Ecosistemas, Serquim y Biolab.
- c) Agua residual de la recicladora:
Unidad de interés ya que de este se generan los lodos residuales.
- d) Lodos residuales generados en la planta de tratamiento de agua
Sub-producto de mayor interés, para dar una disposición adecuada.

3.2. Instrumentos

3.2.1. Equipo de captación de muestras

Tabla 3. Equipo de recolección de muestras

Nombre	Imagen	Descripción
Cubeta	 <p>Figura 7. Cubeta utilizada Fuentes: Elaboración propia, 2018</p>	Se utilizó para medir el caudal del agua residual a la entrada de la planta de tratamiento de agua.
Recipientes plásticos esterilizados 100 ml	 <p>Figura 8. Recipientes utilizados Fuentes: Elaboración propia, 2018</p>	Se utilizaron para tomar las muestras del agua residual de la planta de tratamiento de agua.
Hielera	 <p>Figura 9. Hielera Fuentes: Elaboración propia, 2018</p>	Se utilizó para guardar las muestras del agua residual en una temperatura fría.

Fuente: Elaboración propia, (2018)

3.2.2. Equipo de protección personal

Tabla 4. Equipo de protección personal

Nombre	Imagen	Descripción
Bata	 <p data-bbox="592 688 1003 751">Figura 10. Bata Fuentes: Elaboración propia, 2018</p>	
Botas de hule	 <p data-bbox="592 1140 1003 1203">Figura 11. Botas de hule Fuentes: Elaboración propia, 2018</p>	Se utilizaron estos elementos para la protección personal. Y Evitar una contaminación cruzada con las muestras del agua residual.
Lentes	 <p data-bbox="592 1432 1003 1493">Figura 12. Lentes Fuentes: Elaboración propia, 2018</p>	
Guantes de látex	 <p data-bbox="592 1827 1003 1892">Figura 13. Guantes de Látex Fuentes: Elaboración propia, 2018</p>	

<p>Mascarilla</p>	 <p>Figura 14. Mascarilla Fuentes: Elaboración propia, 2018</p>	
<p>Casco y chaleco refractivo</p>	 <p>Figura 15. Casco y Chaleco refractivo Fuentes: Elaboración propia, 2018</p>	

Fuente: Elaboración propia, (2018)

3.3. Procedimiento

3.3.1. Observación y recolección de información sobre la situación del problema

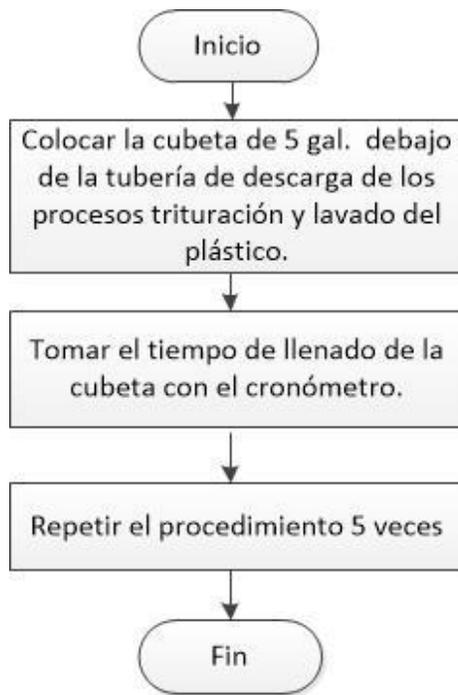
El día 24 de octubre del 2017, se realizó la visita preliminar a la recicladora, donde se encontró la problemática de la disposición adecuada de los lodos. Posteriormente, se procedió a investigar la información necesaria para dar una opción viable para la disposición adecuada de los lodos generados de la planta de tratamiento de agua.

3.3.2. Realización del muestreo

Para realizar el muestreo, primero se colocó todo el equipo protección personal, las botas, la bata, los guantes, los lentes y la mascarilla. Y se realizó la determinación del caudal. Posteriormente los 2 procedimientos para el muestreo del agua residual.

Procedimiento 1 Determinación del caudal

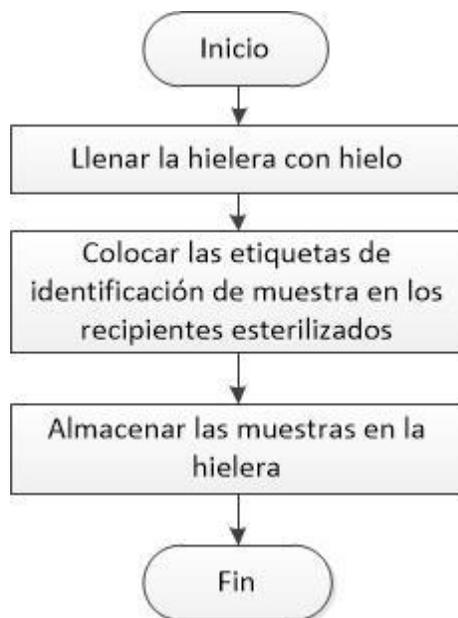
Figura 16. Diagrama del proceso para determinar el caudal



Fuente: Elaboración propia, (2018)

Procedimiento 2 Preparación del equipo de captación de muestras

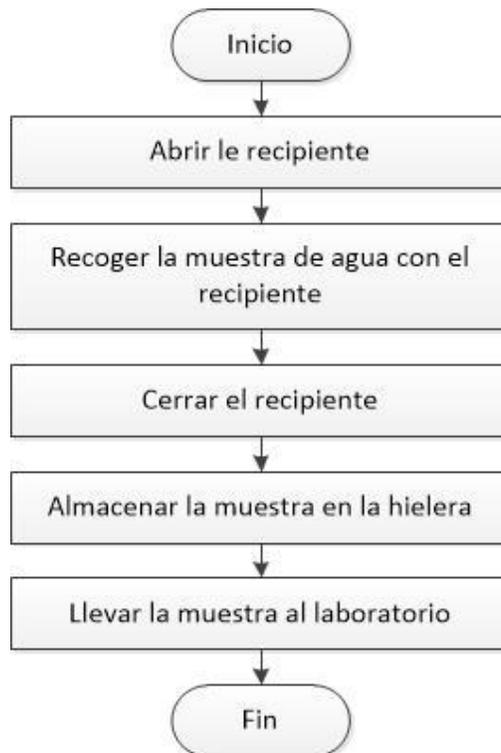
Figura 17. Diagrama del proceso de preparación de equipo de muestreo.



Fuente: Elaboración propia,(2018)

Procedimiento 3 Toma de muestras del agua residual

Figura 18. Diagrama del proceso de la toma de muestra del agua residual



Fuente: Elaboración propia, (2018)

Figura 19. Captación de muestra del agua residual



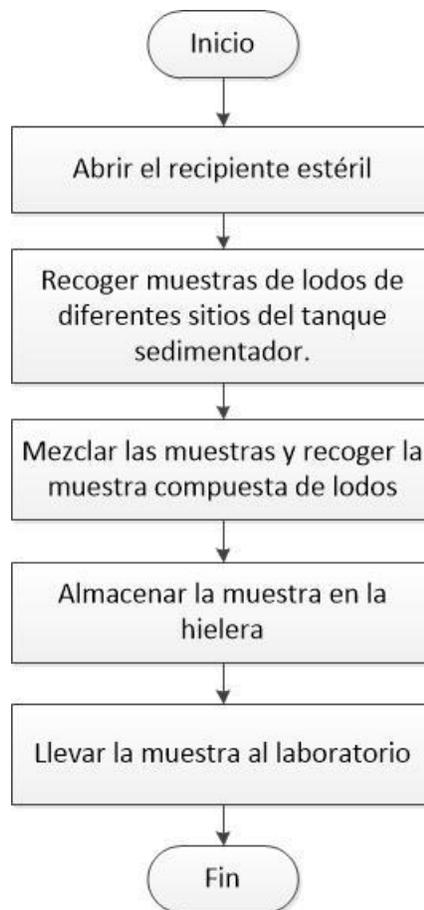
Fuente: Elaboración Propia, (2018)

Figura 20. Muestra de agua residual



Fuente: Elaboración Propia, (2018)

Procedimiento No. 4 Toma de muestras de los lodos
Figura 21. Diagrama del proceso del muestreo de los lodos



Fuente: Elaboración propia, (2018)

Figura 22. Captación de muestra del lodo residual



Fuente: Elaboración Propia, (2018)

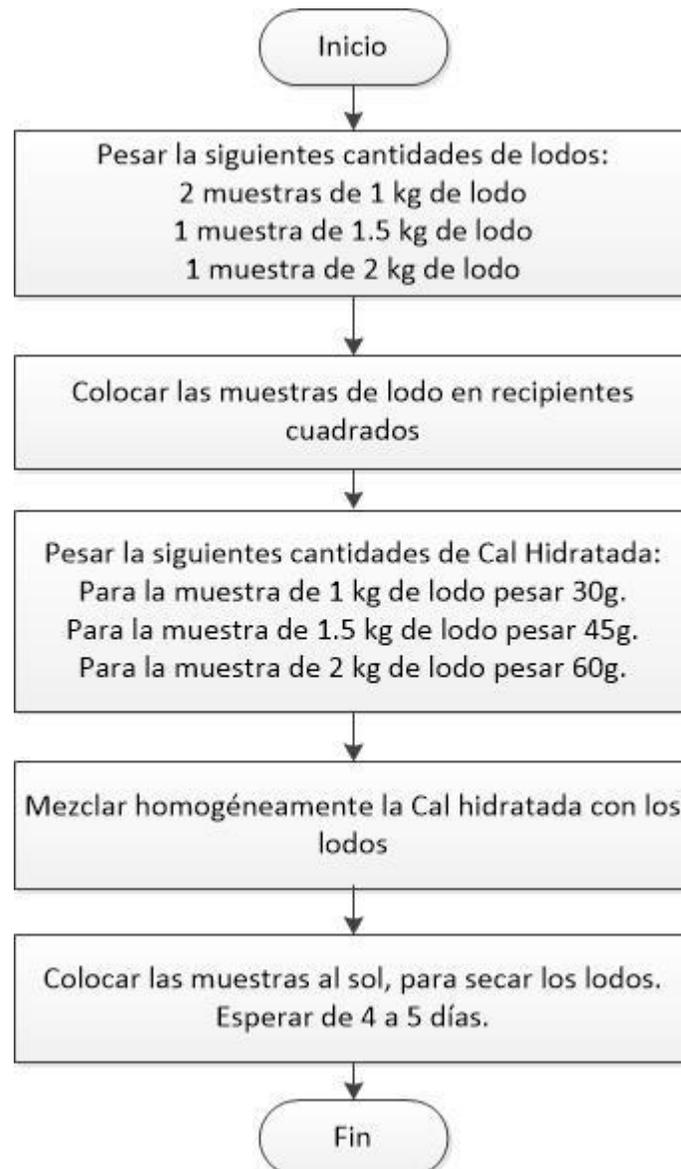
Figura 23. Muestra de lodo residual



Fuente: Elaboración Propia, (2018)

Procedimiento 5. Desinfección y secado de lodos

Figura 24. Diagrama del proceso de desinfección y secado de lodos.



Fuente: Elaboración Propia, (2018)

Figura 25. Mezcla de lodo con cal hidratada



Fuente: Elaboración Propia, (2018)

Figura 26. Mezcla de lodo con cal hidratada después de 4 días de secado al sol.



Fuente: Elaboración Propia, (2018)

Para esta investigación se utilización los siguientes valores

$$s = 0.056 \frac{1}{s}$$

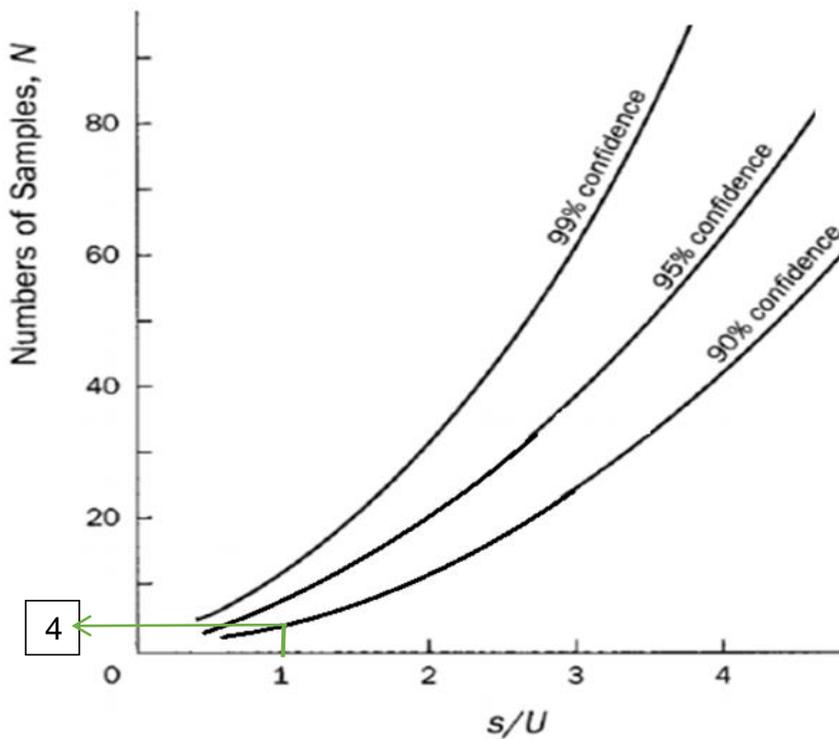
$$U = 0.05 \frac{1}{s}$$

$$t = 0.90$$

El resultado es de 3.7634 aproximando a 4 muestras

Con estos datos, el resultado de número de muestras es 4 por cada análisis realizado. Esto se puede ver en la siguiente grafica

Figura 29. Gráfica para determinar el número de muestras del agua residual



Fuente: Standard Methods for the examination of water and wastewater, (2005)

3.4.3. Descripción de las unidades experimentales

Las muestras que se realizaron en la planta de tratamiento de agua se basan en las unidades experimentales que se describen:

- a) Agua Residual proveniente de la salida a la Planta de tratamiento de agua. Fueron tomadas en la entrada de la planta de tratamiento de agua. Se analizaron parámetros fisicoquímicos para determinar la calidad de los lodos residuales.
- b) Lodo Residual proveniente del tanque de sedimentación. Fueron tomadas en el tanque de sedimentación. Se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para Caracterizar los lodos residuales.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Situación actual de la disposición de lodos industriales

La situación actual de la disposición de lodos industriales en la recicladora de plástico es:

- Los tanques de sedimentación inician un proceso de llenado, al culminar siguen un proceso de mezclado de lodos y agua residual a un canal donde tiene varios espacios para sedimentación, donde con el tiempo se van acumulando los lodos.
- Cada 30 horas se obtienen entre 800 Kg a 1000 Kg de lodos.
- Los lodos son colocados en sacos de aproximadamente 40 a 50 Kg.
- Estos lodos emanan un olor fétido, son de color negro y se observa pedazos de plástico.
- Los sacos llenos de lodos son colocados en un patio hasta acumular una cierta cantidad en donde son desechados en un relleno sanitario cerca en Amatitlán.

Tabla 5. Situación actual de la disposición de lodos industriales

Situación Actual de la disposición de los lodos industriales		
<p>Tanque de sedimentación</p>	 <p>Figura 30. Muestra de Lodo Residual Fuente: Elaboración Propia, 2018</p>	<p>Como se puede observar, el tanque de sedimentación está lleno.</p>
<p>Canal de sedimentación</p>	 <p>Figura 31. Muestra de Lodo Residual Fuente: Elaboración Propia, 2018</p>	<p>Por medio de una manguera y una bomba transfieren a este canal, para poder seguir sedimentado de una mejor manera los lodos.</p>

<p>Acumulación de lodos</p>	 <p>Figura 32. Muestra de Lodo Residual Fuente: Elaboración Propia, 2018</p>	<p>Los lodos sacados del canal son colocados en sacos.</p>
<p>Lodos Industriales</p>	 <p>Figura 33. Muestra de Lodo Residual Fuente: Elaboración Propia, 2018</p>	<p>Los lodos son de color negro, y emanan un olor fétido, se observa que tienen residuos de partículas de plástico.</p>

Fuente: Elaboración Propia, (2018)

4.2. Resultados

Tabla 6. Concentración metales pesados en los lodos industriales

Compuesto	Concentración mg/kg
Arsénico	10
Cadmio	0
Mercurio	0
Plomo	258
Cromo	105

Fuente: Elaboración propia (2018)

Tabla 7. Parámetros y Límites Máximos permisibles para la disposición en Aplicaciones al suelo de lodos residuales de la planta de tratamiento de agua, en la recicladora de plástico.

Compuesto	Límite Máximo Aplicación al suelo (Suelo con pH menos a 7)	Límite Máximo Aplicación al suelo (Suelo con pH mayor igual a 7)	Muestra 1	Cumple con el Artículo 42 del Acuerdo Gubernativo 236-2006
Arsénico	50	75	10	Si cumple
Cadmio	50	75	0	Si cumple
Mercurio	25	37.5	0	Si cumple
Plomo	500	750	258	Si cumple
Cromo	1500	2250	105	Si cumple

Fuente: Elaboración Propia (2018)

Tabla 8. Parámetros y Límites Máximos permisibles para la disposición en rellenos sanitarios de lodos industriales de la planta de tratamiento de agua, en la recicladora de plástico

Compuesto	Disposición en rellenos sanitarios	Muestra 1	Cumple con el Artículo 42 del Acuerdo Gubernativo 236-2006
Arsénico	100	10	Si cumple
Cadmio	1000	0	Si cumple
Mercurio	3000	0	Si cumple
Plomo	50	258	Si cumple
Cromo	1000	105	Si cumple

Fuente: Elaboración Propia (2018)

Tabla 9. Parámetros y límites máximos permisibles para la disposición en confinamiento o asilamiento de lodos industriales de la planta de tratamiento de agua, en la recicladora de plástico

Compuesto	Confinamiento o asilamiento	Muestra 1	Cumple con el Artículo 42 del Acuerdo Gubernativo 236-2006
Arsénico	>100	10	Si cumple
Cadmio	>100	0	Si cumple
Mercurio	>3000	0	Si cumple
Plomo	>50	258	Si cumple
Cromo	>1000	105	Si cumple

Fuente: Elaboración Propia (2018)

Tabla 10. Caudal de agua residual a la entrada de la planta de tratamiento de agua

Muestras	Litros	Segundos	l/s
1	18.92	2.81	6.735
2	18.92	2.63	7.196
3	18.92	2.22	8.525
4	18.92	2.61	7.251
5	18.92	2.56	7.393
6	18.92	2.67	7.088
7	18.92	2.69	7.036
8	18.92	2.64	7.169
9	18.92	2.63	7.196
10	18.92	2.85	6.641
Promedio			7.223
Desviación Estándar			0.5581

Fuente: Elaboración Propia (2018)

Tabla 11. DBO, DQO y pH del agua residual de la planta de tratamiento de agua, en la recicladora de plástico

No. De muestra	Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/l	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) mg/l	Potencial de Hidrogeno pH
Muestra 1	389	99	7.27
Muestra 2	659	383	7.35
Muestra 3	428	232	7.65
Muestra 4	587	296	8.27
Promedio	515	245	7.63

Fuente: Elaboración Propia (2018)

Tabla 12. Cantidad cualitativa de microorganismos patógenos, concentración de fósforo y nitrógeno presentes en el agua residual de la planta de tratamiento de agua, en la recicladora de plásticos.

No. De muestra	Coliformes fecales NMP/100ml	Nitrógeno mg/l	Fósforo mg/l
Muestra 1	5.40×10^6	0	3.08
Muestra 2	1.6×10^7	20	2.4
Muestra 3	1.6×10^7	21	3.6
Muestra 4	1.6×10^7	0	4.2

Fuente: Elaboración propia (2018)

Tabla 13. Cantidad cuantitativa de microorganismos patógenos y pH de los lodos residuales.

Muestra	Cantidad de Coliformes fecales	pH
Muestra 1	602,062 UFC/mL	6.99
Muestra 2	10,700,000 NMP/ 100ml	7

Fuente: Elaboración propia (2018)

Tabla 14. Cantidad de Coliformes fecales en los lodos después de tratamientos desinfectantes

Muestra	Tratamiento	Cantidad de lodos	Cantidad de cal	Cantidad de coliformes fecales	pH
Muestra 1	Secado al sol	1Kg	0	170 NMP/100ml	6
Muestra 2	Secado al sol con desinfección con cal	1 Kg	30g	92 NMP/100ml	8
Muestra 3	Secado al sol con desinfección con cal	1.5 Kg	45g	26 NMP/100ml	9
Muestra 4	Secado al sol con desinfección con cal	2 Kg	60g	49 NMP/100ml	9

Fuente: Elaboración propia (2018)

Tabla 15. Densidad de los lodos residuales

Muestra	Valor
1	1,398 kg/m ³
2	1,412 kg/m ³
3	1,402 kg/m ³
4	1,408 kg/m ³
Densidad promedio	1,405 Kg/m ³

Fuente: Elaboración propia (2018)

Tabla 16. Dimensiones del patio de secado

Volumen Total Necesario	0.78m ³
Grosor del lodo	0.05m
Área total del patio	15.65 m ² = 16 m ²
Largo recomendado	8.65 m
Ancho recomendado	1.85m
Alto	0.20m

Fuente: Elaboración propia (2018)

Tabla 17. Porcentaje de humedad perdida por secado al sol

Tiempo de secado		3 días	
Muestra	Peso inicial	Peso Final	% de Humedad
1	1 Kg	0.149 Kg	85.1 %
2	1 Kg	0.168 Kg	83.2 %
3	1.5 Kg	0.265 Kg	82.33 %
4	2 Kg	0.369 Kg	81.55 %

Fuente: Elaboración propia (2018)

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La decisión de realizar este estudio fue la responsabilidad ambiental que tiene la recicladora de plástico de buscar una mejor alternativa a la disposición de los lodos industriales que se generan en su planta de tratamiento de agua, ya que desecharlos en vertederos cercanos a la planta, no es la última opción o la más eficiente.

La investigación se basó en la información histórica que tenía la recicladora de plástico, y en la recolección de la información acerca de las características de los lodos y del agua residual. Se entrevistó al personal que trabaja en la recicladora, siendo el encargado de la planta de tratamiento de agua y al gerente de la misma. Se determinó que la información que existe al respecto los lodos es ideal pero no se cuenta con una persona encargada de analizarla y brindarle una opción diferente de la disposición final que los lodos tienen actualmente.

Se realizó el muestreo, el cual fue recolectar una muestra compuesta de los lodos, esto se hizo colocando varias muestras de diferentes sacos de lodos y mezclándolos para tener una muestra homogénea. Dado que en la legislación guatemalteca no existe una norma que determine de la cantidad de muestras que se necesitan para hacer representativo el análisis en lodos residuales y por el costo de los estudios, se realizó un solo muestreo siendo este representativo dado que los plásticos se obtienen siempre de los mismos vertederos. Por otro lado, analizando los resultados obtenidos como históricos en la planta (Véase, Anexo B) no hay cambios significativos que muestren diferencia en su análisis.

El análisis que se realizó a los lodos industriales fue cuantificar la concentración de cinco metales pesados, los cuales fueron Arsénico, Cadmio, Mercurio, Plomo y Cromo, dado que estos metales son los que se reflejan en la legislación guatemalteca a ser controlados en la descarga de lodos residuales.

En la Tabla 6 se muestra los resultados de las concentraciones de los metales pesados presentes en los lodos. No hubo presencia de Cadmio y Mercurio.

Para Arsénico, Plomo y Cromo su concentración fue de 10 mg/kg, 258 mg/Kg y 105 mg/Kg respectivamente.

Este análisis es indispensable para saber qué tipo de disposición final es adecuado para los lodos. En el Artículo 42, del Acuerdo Gubernativo 236-2006, se presenta una tabla, (Véase, Figura 6) donde indica el límite permisible de la concentración de los metales pesados en los lodos.

En la tabla 7, Disposición de lodos industriales en Aplicaciones al suelo, se observan dos columnas que especifican el límite permisible de la concentración de metales pesados en los lodos para la disposición de los mismos en aplicaciones en el suelo, una columna es para un suelo que tiene un pH menor a 7 y la otra columna es para un suelo que tiene un pH mayor igual a 7.

En la tercera columna de la Tabla 7 de los resultados de la muestra de lodos, realizada los primeros días de mayo del 2018, se comprueba que se cumplen con los valores permisibles de los metales pesados del Artículo 42 en las diversas aplicaciones al suelo.

En este caso como si cumple con el artículo 43, los lodos se pueden utilizar hasta doscientos mil kilogramos por hectárea al año y en caso de compostaje se pueden utilizar hasta cien mil kilogramos por hectárea al año.

En la Tabla 8, Disposición de lodos en rellenos sanitarios, se observa que los valores de la concentración de los metales pesados de la muestra están debajo de los valores permisibles, cumpliendo así con el Artículo 44, del Acuerdo Gubernativo 236-2006, en el cual se indica que la disposición en rellenos sanitarios los lodos no tienen que ser bio-infecciosos, que no requieran confinamiento y que cumplan con el Artículo 42.

En la Tabla 9, Disposición de lodos en confinamiento o aislamiento, se observa que los valores de la concentración de los metales pesados de la muestra están muy

por el debajo del límite permisible, cumpliendo nuevamente con el artículo 45, del acuerdo Gubernativo 236-2006.

Estos lodos Industriales no necesitan confinamiento o aislamiento ya que no pueden provocar un impacto adverso al manto freático, las fuentes de suministro de agua superficial y subterráneo, el suelo, subsuelo y aire.

La concentración de estos metales pesados está regulada por el AG 236-2006 ya que son compuestos tóxicos que pueden dañar al medio ambiente.

Según Zúñiga los metales pesados en los suelos pueden interactúan con las arcillas, los Oxi-hidróxidos, la materia Orgánica (polisacáridos, carbohidratos, aminoácidos, etc.), Carbonatos, sulfatos, que se presentan los procesos de adsorción, oxidación, reducción, las cuales dependen de las propiedades particulares del suelo, ya que el suelo actúa como una barra protectora de los mantos freáticos, filtrando, descomponiendo, neutralizando o almacenando los contaminantes y evitando su biodisponibilidad.

Estos estudios se realizaron en la estación seca, ya que existen factores que afectan los resultados durante la estación lluviosa.

El análisis de algunos parámetros fisicoquímicos no se puede realizar en los lodos residuales, debido a que no hay laboratorios en Guatemala que realicen estos estudios, razón por la cual algunos de ellos se debieron realizar en el agua residual.

Para ello se estableció que, con el método propuesto por Apha et al, standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater, 21 ed., 2005, (Véase, Figura 26) se necesitan 4 muestras de agua para un nivel de confianza del 90% en la captación del agua residual. Para la captación de las muestras se utilizó equipo de protección personal (Véase, Tabla 4) ya que el agua residual es un riesgo para la salud humana.

Para tener un control adecuado de las muestras de aguas residuales captadas, fueron almacenadas en una hielera para que los microorganismos que contenían las muestras no se reprodujeran ya que a una baja temperatura se inactiva la capacidad de reproducción de las bacterias.

Para hacer las tomas de agua residual, se necesitó conocer el caudal de agua hacia la entrada de la planta de tratamiento de agua residual, esto se realizó determinando el volumen de la cubeta utilizada, la cual fue de 5 galones, 18.93 litros aproximadamente. El caudal está dado por la fórmula (Véase, Ecuación 1) que es el volumen del agua por unidad de tiempo. Conforme a esto, se procedió a tomar el tiempo en que se llenaba la cubeta. Con estos dos valores se realiza la división del volumen del agua por el tiempo y se obtiene el valor de caudal.

Se realizaron 10 corridas (Véase, Tabla 10) con el fin de tener un dato con un mayor porcentaje de confianza, el valor promedio que se tuvo fue de 7.22 l/s y con una desviación estándar de 0.55 l/s. Posteriormente, se realizó el muestreo del agua residual en la salida de planta de tratamiento de agua.

La demanda química, biológica de oxígeno y pH presente en el agua residual se realizó en la descarga de la planta dado que se debía analizar las características que los lodos poseen para poder ser empleados en otras áreas distintas a la descarga en vertederos. Estos estudios no se realizaron a la entrada de la planta dado que no tenía un valor significativo como aporte a este estudio.

Por lo que los valores a la descarga son; para la demanda química de oxígeno un valor promedio es de 515mg/l y para la demanda química de oxígeno un valor promedio es de 245mg/l.

Para el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno se determinó que está cumpliendo con los límites permisibles del Artículo 27, del Acuerdo Gubernativo, ya que está en el parámetro de 200 mg/l. Este valor es permitido hasta el año 2020, pero se tiene que implementar una mejora en la planta de tratamiento de agua para poder reducirlo a una cantidad de 150 mg/l en los próximos años y de esta manera poder seguir cumpliendo con el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Se tiene un valor promedio de la demanda química de oxígeno en la salida de la planta de tratamiento de agua de 515 mg/l, este valor es alto ya que el agua residual tiene un alto contenido de materia orgánica debido a la alta concentración y fase de oxidación de materia orgánica, de desechos fecales contenidos en la misma, esto se explica nuevamente porque el plástico es recolectado en basureros o vertederos los cuales no se sabe las condiciones en las se encuentren, refiriéndose a que la contaminación con aguas negras o material fecal pueden llegar a estar en contacto directo con el plástico recolectado.

El valor de la Demanda química de Oxígeno según Herrera se usa para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales que, no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de microorganismos. Este valor es siempre superior al de la Demanda Biológica de Oxígeno porque la materia orgánica puede oxidarse químicamente pero no biológicamente.

El resultado promedio del parámetro de potencial de hidrógeno es de 7.64 el cual está dentro del rango permitido por el Artículo 28 del Acuerdo Gubernativo 236-2066, que establece el rango permitido de 6 a 9 en el rango de pH. De la misma forma se realizó el análisis de pH a los lodos industriales donde se obtuvo un valor de 6.99, esto quiere decir que es un lodo neutro.

La cantidad de NMP de colonias de la bacteria E. Coli en el agua residual en promedio es de 13.35×10^6 NMP/100ml por lo que, no se cumple con la etapa 2 del artículo 28 del AG 236-2006. Esta etapa 2 del artículo 28, indica que tiene una fecha de cumplimiento, para el año 2015 el rango debió ser menor a 1×10^5 NMP/100ml. Para el año 2020, la etapa 3, el rango es menor a 1×10^4 NMP/100ml. Como se observa no se cumple con ningún de los dos rangos.

Se realizó un análisis microbiológico a los lodos industriales, se obtuvo un valor de 6.02×10^5 UFC/mL el cual no cumple con la parte del Artículo 59 del AG 236-2006. Este artículo menciona que los lodos no pueden ser utilizados para abono si se sobrepasa a las dos mil unidades formadoras de colonia de coliformes fecales.

Debido a esto, el mantenimiento que se le da a la planta de tratamiento de agua es muy frecuente, es decir se realiza la limpieza cada 30 horas, parando su producción entre 8 a 12 horas mientras se efectúa la misma. Esto ha provocado un incremento en la generación de lodos industriales.

Por el aumento de la cantidad de lodos industriales, el canal que se consideraba un patio de secado, resulta ser en este momento muy pequeño por lo que tienen que sacar los lodos muy húmedos. Posterior a esto son colocados en sacos y los cierran. Esto es una mala práctica de manufactura, ya que, al cerrarlos, los exponen a condiciones anaerobias, y como contienen una alta materia orgánica, lo que provoca un ambiente ideal para la reproducción de bacterias anaerobias. Según Moeller, las bacterias anaerobias utilizan el 10% de la energía contenida en su alimento para funciones de reproducción, lo que dan origen a nuevas células y el 90% lo dirigen a la producción de metano y dióxido de carbono.

Se le propone a la empresa implementar un patio de secado. Este patio tendrá la función de deshidratar los lodos previamente digeridos aeróbicamente, utilizando la radiación solar para realizar este proceso. El diseño propuesto fue realizado por medio de pruebas piloto. Para el primer paso se obtuvo el valor de la densidad del lodo la cual fue de $1,405 \text{ kg/m}^3$.

Posteriormente se calculó el volumen utilizando la densidad del lodo, el cual tuvo un valor de 0.78 m^3 . Para poder dar las dimensiones recomendadas se hicieron 3 muestras, la primera fue de 1 kg de lodo que tuvo un grosor o una altura de lodo de 1 cm, la segunda fue de 1.5kg de lodo que tuvo un grosor o una altura de lodo de 3 cm y la tercera fue de 2 kg de lodo que tuvo un grosor de 5 cm. Para fines de

optimización de tamaño, se recomienda que la muestra 3, la del grosor de 5 cm es ideal ya que tarda de 2 a 3 días en secarse.

Por lo que las dimensiones recomendadas son: un grosor de lodo de 5 cm, un largo del patio de secado de 8.65m y un ancho del patio de secado de 1.85m.

El patio debe de tener una capa de grava y arena y una manta geotérmica para evitar que el lodo se mezcle con la grava y arena, esto para tener un material filtrante en el patio de secado y que el proceso de deshidratación sea el adecuado.

Las ventajas de tener este patio de secado es que da un sub-producto de sólidos finos y de mejor calidad, evitando lixiviados que contaminen el área de trabajo o el agua residual ya tratada. Además, se propone incluir al patio de secado con un techo de lámina transparente para evitar que se comprometa el proceso de secado en la época lluviosa.

Para cumplir con la reutilización de lodos, los principales parámetros que no se deben exceder son los metales pesados, como se observó anteriormente estos cumplen con los valores permitidos en el Artículo 42. Esto indica que los lodos pueden ser utilizados en la aplicación al suelo, de manera que pueden ser acondicionadores del suelo debido a que tienen macro y micro nutrientes que generan beneficios al suelo.

El nitrógeno y el fósforo causan problemas de importancia al medio ambiente por lo que fueron valores de interés, estos pueden provocar un aumento en la productividad biológica, disminuyendo los niveles de oxígeno disuelto, dando lugar a la eutrofización. Dado los resultados de esos compuestos, 20 mg/l de nitrógeno y 3.32 mg/l de fósforo se está cumpliendo con el Artículo 20, por lo que se descarta que estos lodos pueden causar alguna contaminación o eutrofización según recomendaciones de las buenas prácticas de disposición final.

Para poder ser utilizados como abono o un compostaje, se tendrán que desinfectar los lodos y de esta manera poder cumplir con el Artículo 59 del Acuerdo Gubernativo 236-2006, donde se menciona que para la disposición de lodos como abono para cultivos comestibles se pueden consumir crudos o precocidos, hortalizas y frutas, tendrán que cumplir con el artículo 42 y con el artículo 59 del AG 236-2006, el lodo tiene que ser desinfectado y no debe de exceder las dos mil unidades formadoras de colonia por kilogramo de coliformes fecales.

Para esto se propone a la recicladora de plástico que el método para desinfectarlos es agregándole cal hidratada ya que, al agregarle cal, el pH del lodo subirá a un valor de 12 produciendo que los microorganismos anaerobios se inactivan mejorando sus características de secado y sedimentación del lodo según Romero.

El criterio recomendado es tratar el lodo en forma líquida, y agregar suficiente cantidad aproximadamente de 0.20 a 0.25 kg Ca(OH) /kg de sólidos para elevar el pH del lodo a 12.5 y mantenerlo así durante 30 minutos para asegurar un pH mayor de 12 durante doce horas y una alcalinidad residual que no permita que el pH caiga a menos de 11 durante 2 días. Romero (2000).

Para verificar la teoría se realizaron pruebas donde se le agrego cal hidratada al lodo y se analizó microbiológicamente. Se realizaron 3 muestras donde se colocaron diferentes cantidades de lodos y diferentes cantidades de cal. Para la primera muestra se utilizó 1kg de lodo y 30g de Cal Hidratada. La segunda muestra se utilizó 1.5kg de lodo y 45 g de cal hidratada. Y la tercera muestra se utilizó 2 kg de lodo y 60g de Cal hidratada. Los resultados de los análisis microbiológicos fueron para la muestra 2, se tiene 92 NMP/ 1000ml de Coliformes fecales. Para la muestra 3, se tienen 26 NMP/ 100ml de Coliformes fecales. Y para la muestra 4, se tiene un 49NMP/ 1000ml de Coliformes fecales.

Comparando el resultado del análisis de coliformes fecales del agua residual inicialmente el cual fue de 1.7×10^7 NMP/100ml con los resultados anteriores de las

pruebas piloto se puede ver que la cantidad de microorganismos disminuyo considerablemente, lo cual comprueba que para poder neutralizar los lodos se necesita agregar Cal Hidratada aproximadamente 3g/ kg de lodos.

Con estas pruebas piloto, se cumplió con el Artículo 59, de AG 236-2006. Donde se cumplieron con los límites permisibles para la cantidad de microorganismos en los lodos, de un valor por debajo de 200 unidades formadores de colorinas de bacterias fecales.

Otra forma de disponer los lodos industriales es como material de relleno en zonas afectadas por actividades antropogénicas o naturales, donde se desea hacer una recuperación del suelo.

En el Anexo D se mencionan los precios aproximados necesarios para implementar las dos propuestas para mejorar la calidad de los lodos, para que en un futuro la empresa pueda comercializarlos.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

1. La concentración de los metales pesados; 10mg/kg de Arsénico, 258mg/kg de Plomo y 105mg/kg de Cromo; en los lodos industriales, cumplen con los límites permisibles de las 3 disposiciones que incluye el Artículo 42 del AG 236-2006.
2. La demanda biológica de oxígeno tiene un valor promedio de 245mg/l, por lo cual cumple con el valor del límite permisible de 250mg/l de la etapa 2 del Artículo 22 del AG 236-2006. Por otro lado, el pH del agua residual de la salida de la PTAR, tiene un valor de 7.64 cumpliendo con el rango de 6 a 9 valores de pH permitido por el artículo 20 del AG 236-3006.

3. Los coliformes fecales analizados en al agua residual tuvieron un valor de 13.25×10^6 NMP/100ml en donde no se cumple con el artículo 20 del AG 236-2006.

Los coliformes fecales analizados a los lodos residuales tuvieron un valor de 6.02×10^5 UFC/ml en donde no se cumple con el artículo 59 del AG 236-2006. Por lo que los lodos sin tratar no pueden ser utilizados para realizar un abono.

4. Para la desinfección de los lodos con Cal Hidratada se utilizó 30g/kg de lodo para la disminuir la cantidad de microorganismo presentes en los mismos, se diseñó el patio de secado con un volumen de 0.78m^3 con las siguientes dimensiones: un grosor de lodo de 0.05 m, un largo de 8.65m y un ancho del de 1.85m.

Las alternativas viables para los lodos industriales son: la disposición en la aplicación al suelo, donde incluye la elaboración de un compostaje y en rellenos; y la disposición de lodos en Rellenos Sanitarios.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

1. Comercializar los lodos obtenidos del proceso de tratamiento de agua. Esta situación puede convertirse en una opción económica para la recicladora de plástico ya que puede distribuir este sub-producto en las áreas cercanas a la planta. Esto está legislado en el Artículo 46, del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

2. Capacitar constantemente a los operarios de la planta de tratamiento de agua residual en relación al mantenimiento de la misma.

3. Impulsar la realización de más estudios para mejorar la eficiencia de la PTAR ya que por valores evaluados en esta investigación existen parámetros que no cumple o están próximos a no cumplir con algunos Artículos del AG 236-2006.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS

Agencia de Residuos de Catalunya (2014) **Lodos de depuradora.** Consultado en Red el 13 de mayo del 2018, 20:32 p. m. en:

Amigos de la tierra (2010) **Manual de Compostaje.** España: Cadarso.

Apha et. al. (2005). **Standard methods for the examination of water and wastewater.** (22. Ed.). Estados Unidos: Joint Editorial Board.

Burga, Rafael (2014) **Valoración de lodos sedimentados generados en las lagunas de estabilización de Epsel para uso como abono orgánico.** Tesis de grado. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Peru.

Daguér . (2003) **Gestión de Biosólidos en Colombia.** Congreso Internacional de Acodas.

Daniel C. Harris (2007) **Análisis Químico Cuantitativo** 2ª edición, Ed. Reverte.

Davis, M. y Masten, S. (2005) **Ingeniería y Ciencias Ambientales** (Primera Edición) México DF, México: McGraw-Hill, Inc.

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. (2005) **Manual de tratamiento de aguas negras** (Primera Edición) México D.F. Editorial Limusa

Díaz y Mejía (2013) **Caracterización, evaluación y propuestas, para el mejoramiento de las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica por lodos activados en la mina Marlin, ubicada en el departamento de San Marcos.** Tesis en maestría en ingeniería sanitaria. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

Espigares y Pérez (1985) **Aspectos sanitarios del estudio de las aguas.** Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada.

Galindo, (2010) Estudio, **Caracterización y tratamiento de lodos provenientes de fosas sépticas.** Tesis en maestría en ingeniería sanitaria. Guatemala Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

García, N. (2006) **Lodos Residuales: estabilización y manejo** Depto. de ingeniería, Universidad de Quintana Roo, Quintana Roo, México.

Gomella, Tratamiento de aguas para abastecimientos públicos. Etasa, 1977.
Hammeken, Alejandro y Romero Eduardo (2005) **Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula.** CiriaUdlap,

Henry, J. y Heinke, G. (1999). **Ingeniería Ambiental.** (2ª. Ed.). Estado de México, México: Prentice Hall.

http://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/tipus_de_residu/residus_organics/fangs. Depuradora

Lenntech, (2011) **Historia de las plantas de tratamiento de agua** Consultado en Red el 28 de abril del 2018, 21:45 p.m. : <https://www.lenntech.es/>

M. Mahamud. A. Gutiérrez y H. Sastre. (1996) **Biosólidos generados en la depuración de aguas: (II). Métodos de Tratamiento.** Ingeniería del Agua, Vol. 3.

Metcalf et. al. (1991). **Wastewater Engineering: Treatment, disposal and reuse.** (3ª. Ed.). Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill, Inc.

Ministerio de ambiente y Recursos Naturales de la República de Guatemala. Acuerdo ministerial 105-2008. **Manual General del Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.** 2008. Guatemala.

Moeller, G. (1997) **Apuntes de la materia de Procesos biológicos de tratamiento. División de Estudios de Posgrado,** Campus Morelos. Fac. de Ing. UNAM.

Montoya Palencia, Miguel Omar (1981) **Desecado de lodos después de digestión anaeróbica, empleando patios de grava y arena pómez como material filtrante.** Tesis de maestría en ciencias. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala,

Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

Mott, (2006) **Mecánica de fluidos** (Sexta Edición) Mexico. Pearson Educación.

Navarro N., Cristián Rodrigo. (2007). **Evaluación de la Potencialidad del uso de Biosólidos originados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas en la fabricación de ladrillos**. En: Revista Residuos Bilbao. Editor, Reed Business Information S.A,

Nemerón (1977). **Aguas residuales industriales**. Blume

Organización panamericana de la salud (2009) **Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua**. Ginebra, Suiza.

Presidencia de la República de Guatemala. Acuerdo Gubernativo 281-2015. **Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos**. 2015. Guatemala.

Presidencia de la República de Guatemala. Acuerdo Gubernativo 236-2006. **Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos**. 2006. Guatemala.

Ramalho, R. (1993) **Tratamiento de aguas residuales** (Primera Edición) Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A.

Rámila y Rojas, (2008). **Alternativas de uso y disposición de Biosólidos y su impacto en las tarifas de Agua**. Santiago, agosto 2008. Seminario (Ingeniería comercial mención administración) Universidad de Chile, Facultad de Economía y Negocios, Escuela de Economía y Administración.

Ramírez (2007). **Manual de Microbiología**. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías, Escuela de Química.

Recinos, C. y Barrios, M. (2010). **Guía para el muestreo y determinación de pruebas de laboratorio de planta-escuela de tratamiento de agua residual del Campus Central, Universidad Rafael Landívar**. Tesis inédita. Universidad Rafael Landívar. Guatemala.

Rodríguez y Sánchez (2010) **Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Panajachel, Sololá.** Tesis de maestría en Ciencias de Ingeniería sanitaria Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

Romero, J (1999) **Potabilización del agua** (Tercera Edición). Santafé de Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero, R. (2000) **Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño.** (Primera Edición). Santafé de Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Russell, D. (2012) **Tratamiento de aguas residuales: Un enfoque práctico.** (Primera Edición) Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A.

Seónez, Angulo, Aguado Irene. Aguas residuales urbanas: **Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento.** Mundi prensa libros S.A, 1995.

Sierra,. (2008) **Análisis de Aguas y Aguas.** Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Sanitaria

Tortora. Funke y Case, . (2007) **Introducción a la Microbiología** (Novena edición) Madrid, España. Editorial medica panamericana, S, A.

Zúñiga, Francisco Bautista (1999) **Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados** (Primera Edición) Yucatán, México. Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán

ANEXOS

ANEXO A - Glosario

Aguas Residuales

El agua que ya ha sido utilizada y cuya calidad ha sido alterada. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Calidad de agua

Parámetros físicos, químicos, biológicos y radiológicos que llegan a afectar las características del agua. (Davis y Masten, 2005)

Carga

Es el resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en un efluente y expresada en kg por día. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Caudal

Es el volumen de agua por unidad de tiempo (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Coliformes fecales

Es el parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Compostaje

Se trata de la técnica mediante la cual se crean las condiciones necesarias para que a partir de residuos orgánicos los organismos descomponedores fabriquen un abono de elevada calidad. (Amigos de la Tierra, 2010)

Compost

Abono de elevada calidad obtenido de la práctica del compostaje. (Amigos de la Tierra, 2010)

Contaminante

Todo elemento, materia, sustancia, compuesto, así como toda forma de energía térmica, radiación ionizante, vibración o ruido que, al incorporarse o actuar en cualquier elemento del medio físico, altera o modifica su estado y composición o afecta la flora, la fauna o la salud humana. Debe entenderse como medio físico el suelo, el aire y el agua. (Acuerdo Gubernativo 281-2015)

Cuerpo receptor

Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Demanda Biológica de oxígeno

La medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un periodo de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Demanda química de Oxígeno

La medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en oxidación química. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Estabilización de lodos

El proceso físico, químico o biológico al que se somete los lodos para acondicionarlos previo a su aprovechamiento o disposición final. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Límite Máximo Permisible

El valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reúso y lodos. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Lodos Residuales

Los sólidos con un contenido variable de humedad proveniente del tratamiento de aguas residuales. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Metales pesados

Son los elementos metálicos que tienen una densidad mayor a 6g/ml. Tienen características y dependen de la cantidad pueden llegar a ser tóxicos para el medio ambiente. (Zúñiga, 1999)

Muestra

La parte representativa, a analizar, de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Muestra compuesta

Dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Muestra simple

Muestra tomada en una sola operación que representa las características de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos en el momento de la toma. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Número más probable

Es un informe de que existe un 95% de probabilidades de que la población bacteria disminuya dentro de ciertos límites y de que el NMP es el número estadísticamente más probable (Tortora, Funke y Case 2007)

Parámetros

La variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos, asignándole un valor numérico. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Tratamiento de aguas residuales

Cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

ANEXO B - Datos Históricos los lodos industriales y el agua residual de la planta de tratamiento de agua



laboratorio@ecosistemas.com.gt | info@ecosistemas.com.gt | www.ecosistemas.com.gt

REG 015: Resultados de Análisis Ref: 2240-16
Pag: 1/2

Muestra: 1 muestra de agua

Análisis solicitado por: GLOBOCORP, S.A

Dirección: km 33.5 Carretera CA-9, Patín, Escuintla, Lote 15, Lotificación Los Sauces

Procedencia de la muestra: Planta de Tratamiento de Aguas

Fecha de ingreso de muestras: 241116

Fecha de análisis: 241116-051216

Fecha del informe: 051216

Identificación de la muestra: PTAR
Correlativo Ecosistemas: 6545

Acuerdo Gubernativo 236-2003

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	7.27	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/l	5	N.D.	EPA 1664
Materia Flotante	---	---	ausente***	V:visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	mg/l	10	99	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	389	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendedos	mg/l	10	332	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	0.4	SMWW 2540F
* Nitrogeno Total	mg/l	10.9	N.D.	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
* Fosforo Total	mg/l	0.05	3.08	Spectroquant Merck Análogo EPA 365.2-1, SMWW 4500-P-E ISO 6978/1, DIN EN 1189.011
* Arsénico As	mg/l	0.002	0.034	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/l	0.02	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/l	0.03	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 6763, EPA 335.2
* Cobre Cu	mg/l	0.03	0.17	SMWW 3111B
* Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.05	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr
* Mercurio Hg	mg/l	0.002	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Niquel Ni	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/l	0.01	0.51	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv Unid. Pt-Co	1	2890	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Real	UC HZ equiv Unid. Pt-Co	1	84	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	2	6.4 x 10 ²	NMP



Ref 2050-16
 Pág 1/1

REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de lodo
 Análisis solicitado por: GLOBOCORP S.A.
 Dirección: km 33.5 Carretera CA-9 Palín, Escuintla, Lote 15, Lotificación Los Sauces
 Procedencia de la muestra: Lodos Planta de Tratamiento de Aguas
 Fecha de ingreso de muestras: 031116
 Fecha de análisis: 031116-111116
 Fecha del informe: 111116

Identificación de la muestra: Lodos de planta de tratamiento, agua residual
Correlativo Ecosistemas: 6351

Acuerdo Gubernativo 236-2006

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Arsénico As	mg/kg	2	2.70	EPA 3051A UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/kg	4	N.D.	EPA 3051A SMWW 3111B
* Mercurio Hg	mg/kg	2	N.D.	EPA 3051A UNICAM AN40181_E10/03C
* Plomo Pb	mg/kg	10	54	EPA 3051A SMWW 3111B
* Cromo Cr	mg/kg	6	N.D.	EPA 3051A SMWW 3111 D

Notas:

- Captación de muestras: La muestra fue captada por personal ajeno a Ecosistemas.*
- Transporte y preservación de la muestra: Temperatura ambiente.*
- Metodología base: Espectrofotometría de Absorción Atómica. Standard Methods for the examination of water and wastewater APHA, AWWA, WEF 22 Ed. / EPA 3051A*
- N.D. No detectable. Debajo del límite de detección.*
- Los resultados se determinaron en base seca.*
- Los resultados obtenidos corresponden únicamente a la muestra recibida por el personal de Ecosistemas Proyectos Ambientales.*
- Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de Ecosistemas Proyectos Ambientales.*
- * Análisis acreditado COGUANOR NTC/ISO-IEC 17025:2005 según OGA LE 006-04**

ANEXO C - Resultados de los análisis del agua residual y de los lodos industriales de la planta de tratamiento de agua



REG 016 Resultados de Análisis

Ref 028-18

Pág 1/2

Muestra: 1 muestra de agua
 Análisis solicitado por: GLOBOCORP, S.A.
 Dirección: km 33.5, Carretera CA-9, Palin, Escuintla, Lote 15, Lotificación Los Sauces
 Procedencia de la muestra: Agua residual
 Fecha de ingreso de muestras: 271217
 Fecha de análisis: 271217-090118
 Fecha del informe: 090118

Identificación de la muestra: PTAR
 Correlativo Ecosistemas: 11071

Acuerdo Gubernativo 236-2006

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	6.65	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/l	5	6.3	EPA 1664
Materia Flotante	---	---	ausente	Visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	mg/l	10	1017	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	1528	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendidos	mg/l	10	431	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	2	SMWW 2540F
* Nitrógeno Total	mg/l	10.9	21	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
* Fosforo Total	mg/l	0.05	3.60	Spectroquant Merck Análogo EPA 385.2-3, SMWW 4500-P E, ISO 6978/1, DIN EN 1189 D11
* Arsénico As	mg/l	0.002	0.018	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/l	0.02	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/l	0.03	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 6703, EPA 335.2
* Cobre Cu	mg/l	0.03	0.13	SMWW 3111B
* Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.05	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr
* Mercurio Hg	mg/l	0.002	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Niquel Ni	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/l	0.01	1.78	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	3005	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Rea	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	109	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	1.8	1.8 x 10 ⁷	NMP

REG 016 Resultados de Análisis

Ref 3056-17

Pág 1/2

Muestra: 1 muestra de agua
 Análisis solicitado por: GLOBOCORP, S.A.
 Dirección: km 33.5, Carretera CA-9, Palin, Escuintla, Lote 15, Lotificación Los Sauces
 Procedencia de la muestra: Agua residual
 Fecha de ingreso de muestras: 171117
 Fecha de análisis: 171117-281117
 Fecha del informe: 281117

Identificación de la muestra: Salida de PTAR
 Correlativo Ecosistemas: 10542

Acuerdo Gubernativo 236-2006

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	7.35	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/l	5	12.9	EPA 1664
Materia Flotante	---	---	ausente	Visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	mg/l	10	383	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	659	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendidos	mg/l	10	145	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	2	SMWW 2540F
* Nitrógeno Total	mg/l	10.9	20	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
* Fósforo Total	mg/l	0.05	2.40	Spectroquant Merck Análogo EPA 365.2+3, SMWW 4500-F E, ISO 6978/1, DIN EN 1189 D11
* Arsénico As	mg/l	0.002	0.025	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/l	0.02	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/l	0.03	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 6703, EPA 335.2
* Cobre Cu	mg/l	0.03	0.06	SMWW 3111B
* Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.05	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr
* Mercurio Hg	mg/l	0.002	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Níquel Ni	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/l	0.01	0.28	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv Unid. Pt-Co	1	2840	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Real	UC HZ equiv Unid. Pt-Co	1	181	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	1.8	1.6 x 10 ⁷	NMP

REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de agua
Análisis solicitado por: GLOBOCORP, S.A.
Dirección: km 33.5, Carretera CA-9, Palín, Escuintla, Lote 15, Lotificación Los Sauces
Procedencia de la muestra: Agua residual
Fecha de ingreso de muestras: 180518
Fecha de análisis: 180518-290518
Fecha del informe: 290518

Identificación de la muestra: PTAR
Correlativo Ecosistemas: 12486

Acuerdo Gubernativo 236-2006

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Potencial de Hidrogeno pH (Laboratorio)	unidades	1	8.27	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/l	5	17.3	EPA 1664
Materia Flotante	---	---	ausente ***	Visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	mg/l	10	296	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	587	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendidos	mg/l	10	330	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	2	SMWW 2540F
* Nitrógeno Total	mg/l	10.9	N.D.	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
* Fósforo Total	mg/l	0.05	4.20	Spectroquant Merck Análogo EPA 365.2+3, SMWW 4500-P E, ISO 6978/1, DIN EN 1189 D11
* Arsénico As	mg/l	0.002	0.031	UNICAM AN40177 E10/03C
* Cadmio Cd	mg/l	0.02	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/l	0.03	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 6703, EPA 335.2
* Cobre Cu	mg/l	0.03	0.32	SMWW 3111B
* Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.05	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr
* Mercurio Hg	mg/l	0.002	N.D.	UNICAM AN40181 E10/03C
* Níquel Ni	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/l	0.01	0.47	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	3270	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Real	UO HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	109	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	1.8	> 1.6 x 10 ⁷	NMP

REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de lodo
Análisis solicitado por: GLOBOCORP, S.A.
Dirección: km 33.5, Carretera CA-9, Palín, Escuintla, Lote 15, Lotificación Los Sauces
Procedencia de la muestra: Lodo
Fecha de ingreso de muestras: 180518
Fecha de análisis: 180518-290518
Fecha del informe: 290518

Identificación de la muestra: Lodos PTAR secado de lodos
Correlativo Ecosistemas: 12187

Acuerdo Gubernativo 236-2006

Acuerdo Gubernativo 236-2006	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Arsénico As	mg/kg	2	10	EPA 3051A, UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/kg	4	N.D.	EPA 3051A, SMWW 3111B
* Mercurio Hg	mg/kg	2	N.D.	EPA 3051A, UNICAM AN40181_E10/03C
* Plomo Pb	mg/kg	10	258	EPA 3051A, SMWW 3111B
* Cromo Cr	mg/kg	6	105	EPA 3051A, SMWW 3111 D

Notas:

Captación de muestras: La muestra fue captada por personal ajeno a Ecosistemas Proyectos Ambientales.

Transporte y preservación de la muestra: Refrigeración.

Metodología base: Espectrofotometría de Absorción Atómica. Standard Methods for the examination of water and wastewater APHA, AWWA, WEF 23 Ed. / EPA 3051A

Se trabajaron diluciones.

N.D. No detectable. Debajo del límite de detección.

Los resultados se determinaron en base seca.

Los resultados obtenidos corresponden únicamente a la muestra recibida por el personal de Ecosistemas Proyectos Ambientales.

Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de Ecosistemas Proyectos Ambientales.

** Análisis acreditado CCGV/ANOR NTG/180/166 1792612006 según OGA LE 996 91*



INFORME DE ANALISIS

No. Informe 2018-06-147

Nombre o Marca:	Agua , Residual	F.Manufactura:	NO APLICA
Lote o Identificación:	Salida PTAR	F.Vencimiento:	NO APLICA
Recipiente/empaque:	Envase plástico transparente	Cantidad:	1 x 2 Litros
F.Recebida:	15/06/2018		
Fabricante ó Remitente:	Pamela Rosales		

ANALISIS	ESPECIFICACIONES	RESULTADO
MICROBIOLÓGICO		
Coliformes fecales:	No mayor a 10,000 UFC/mL Acuerdo Gubernativo 236-2006, para el año 2020	602,062 UFC/mL

REFERENCIAS y METODOS

Bacteriological Analytical Manual 8a. ed. (BAM)

Fecha de Impresión: 21/06/2018

RT: M-L6pp37 (2018)

Analista(s): LdelAguila

OBSERVACIONES:

Los resultados se refieren a la muestra tal como fue entregada.

Fecha de muestreo: 15/Jun/2018, 12:50 horas

Muestreado por el remitente

Dictamen: NO CUMPLE.

Firma y Sello:


Aracely De León Amézcua
QUÍMICO FARMACÉUTICO
COLEGIADO No. 300

Page 1 of 1



SERQUIM



LABORATORIO DE ANALISIS INDUSTRIAL
SERVICIOS QUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

INFORME DE ANALISIS

No. Informe 2018-06-148

Nombre o Marca:	Lodo , Residual	F.Manufactura:	NO APLICA
Lote o Identificación:	Salida PTAR	F.Vencimiento:	NO APLICA
Recipiente/empaque:	Tarro plástico transparente	Cantidad:	1 x 100 mL
F.Recibida:	15/06/2018		
Fabricante ó Remitente:	Pamela Rosales		

ANALISIS	ESPECIFICACIONES	RESULTADO
FÍSICO		
pH:	-	6.99

REFERENCIAS y METODOS

Standar Methods of Examination of Water and Wastewater APHA AWWA WEF 21 ed

Fecha de Impresión: 21/06/2018

RT: L6 pp 179 JL

Analista(s): JdeLeon

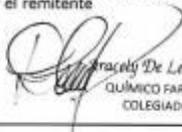
OBSERVACIONES:

Los resultados se refieren a la muestra tal como fue entregada.

Fecha de muestreo: 15/Jun/2018, 12:50 Horas

Muestreado por el remitente

Firma y Sello:


Pamela De León Amézquita
QUÍMICO FARMACÉUTICO
COLEGIADO No. 509

Page 1 of 1



Av. Cementerio Las Flores 11-66, Zona 7 de Mixco, Los Pinos, Tels.: 2434-5930, 2434-6030 • Fax: 2436-2541
Guatemala, C.A. • www.serquim.com • info@serquim.com



BIOLAB, S.A.

30. Calle 17-50, Colonia Santa Rosa II

PBX: (502) 2506-3131

Email: resultados.referencia@biolab.com.gt

Muestra: AGUA / AGUA CON LODO SECADO

Empresa: MARCO ROSALES

Número de protocolo : 21831 (Protocolo firmado)

Recepción de muestra: 02/08/2018 17:01

Nota :

INFORME DE RESULTADOS

INFORMACION DE LA MUESTRA	
Fecha y hora de muestreo:	02/08/2018 15:30 horas
Responsable del muestreo	Pamela Rosales
Tipo de muestra:	AGUAS
procesamiento	03/08/2018 09:00 horas

ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA

Referencia	Muestra	Coliformes Fecales (SM 9221 B) [*]
21831	Agua con lodo secado	170 NMP / 100 ml
21832	Agua con lodo con cal - 1 kilo	92 NMP / 100 ml
21833	Agua con lodo con cal - 1.5 kilos	26 NMP / 100 ml
21834	Agua con lodo con cal - 2 kilos	49 NMP / 100 ml

NMP Número más probable en 100 mililitros

Método de análisis: Standard Methods (SM) for the Examination of Water and Wastewater. 23th Ed. APHA USA. 2017.

***Análisis Acreditados ISO/IEC 17025:2005 OGA-LE-044-11.**

Carmen Barrios
Química Bióloga
Laboratorio Análisis Industriales

Lidia Gabriela Pinedas Roldán
Química Bióloga
Colegiada No. 3879

*Este Resultado se refiere unicamente a la muestra analizada.
El informe de ensayo no debe ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del Laboratorio.*

ANEXO D – Precios del proceso de desinfección

Materiales	Precio Unitario	Precio Total
35 kg Cal Hidratada	Q.2.00	Q. 70.00

Precios del Patio de secado

Materiales	Precio Unitario	Precio Total
55 blocks	Q.2.20	Q.121.00
2 sacos de cemento	Q. 87.00	Q.174.00
4 sacos de arena	Q. 13.00	Q.52.00
Total		Q.347.00