



“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”



FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS

CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA

**“ESTRUCTURA, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO
SANITARIO AMBATO”**

Trabajo de investigación (Graduación), modalidad Trabajo Estructurado de Manera Independiente (TEMI), previo a la Obtención del título de Ingeniero Bioquímico.

Por: Mario Danilo Villacrés Pérez

Tutor: Dr. Ramiro Velasteguí Sánchez, Ph.D.

AMBATO – ECUADOR

2011

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Investigación sobre el tema:

"ESTRUCTURA, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO AMBATO", por Mario Danilo Villacrés Pérez, egresado de la Carrera de Ingeniería Bioquímica, de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, certifico que el trabajo fue realizado por la persona indicada y considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Directivo designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Ambato, Abril del 2011

EL TUTOR

.....

Dr. Ramiro Velasteguí Ph D

AUTORÍA

El presente Trabajo de Investigación "ESTRUCTURA, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO AMBATO" es absolutamente original, auténtico y personal; en tal virtud el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Abril del 2011

.....

Mario Danilo Villacrés Pérez

CI. 180414761-7

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

Los miembros del Tribunal Calificador, de conformidad con las disposiciones reglamentarias vigentes en la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, aprueban el presente Trabajo de Investigación bajo el tema "ESTRUCTURA, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO AMBATO"

Ambato, Abril del 2011

Para constancia firman:

.....

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

2011

DEDICATORIA

A Dios, por la oportunidad de vivir.

A mi tío César, por ser el gestor de mis triunfos y apoyo en las caídas.

A mi madre Gloria, por su amor y apoyo.

A mi abuela María, por el cariño otorgado.

A mis hermanos Santiago, Norma y Maritza, por su colaboración.

A mi esposa Fátima, por su paciencia, amor y compañía.

*A mi hija Sarahí, el regalo más grande de la vida y por ser el motivo para siempre
sonreír.*

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, carrera de Ingeniería Bioquímica, por la oportunidad brindada para la consecución de mi título.

Al Dr. Ramiro Velasteguí Sánchez, por su amistad y excelente colaboración tutorial dada al presente proyecto.

Al Ing. Luis Bautista, por la confianza y apoyo.

A la Dra. María de Lourdes Llerena, por la confianza puesta en mi persona.

Al Ing. Javier Acurio, por la apertura y apoyo al proyecto.

Al Dr. Julio Núñez por su valiosa colaboración.

Y a todos quienes colaboraron desinteresadamente por esta meta.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Tema de investigación	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.2.1 Contextualizacion	1
1.2.2 Análisis crítico	4
1.2.3 Prognosis	5
1.2.4 Formulación del problema.....	6
1.2.5 Preguntas directrices	6
1.2.6 Delimitación del objeto de investigación.....	6
1.3. Justificación.....	7
1.4. Objetivos.....	8

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos	9
2.2. Fundamentación filosófica	10
2.3. Fundamentación legal	11
2.4. Categorías fundamentales	14
2.4.1 Marco conceptual de la variable independiente	15
2.4.1.1 Plantas de tratamiento de agua o plantas potabilizadoras	15
2.4.1.2 Arranque de reactores anaerobios.....	16
2.4.1.3 Rellenos sanitarios.....	17
2.4.1.4 Bioquímica en los Rellenos Sanitarios	18
2.4.1.5 Tratamiento de lixiviados	20
2.4.1.6 Fermentación anaerobia	21
2.4.1.7 Procesos de conversión de la materia orgánica	21

2.4.2 Marco conceptual de la variable dependiente	26
2.4.2.1 Parámetros físico-químicos	26
• El biogás.	26
• Temperatura	26
• Alcalinidad total	27
• pH.....	27
• Turbiedad.....	27
• DBO ₅	28
• DQO.....	28
• Ácidos grasos volátiles (agv)	29
• Sólidos.....	30
2.4.2.2 Coagulación y floculación.	30
2.4.2.3 Modelos teóricos de la coagulación y de la floculación.	31
2.4.2.4 Floculación.	32
2.5 Hipótesis	33
2.6 Señalamiento de variables	33

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Enfoque.....	34
3.2 Modalidad básica de la investigación	34
3.3 Nivel o tipo de investigación	35
3.4 Población y muestra	35
3.5 Operacionalización de variables	36
3.6 Plan de recolección de la información	38
3.7 Plan para procesar la información.....	38
3.8 Métodos y técnicas de investigación	39
3.8.1. Análisis físico – químicos.	39
3.8.2. Materiales y reactivos	50

3.8.2.1. Para medición de temperatura y phs del lixiviado	50
3.8.2.2 Para arranque del reactor UASB	50
3.8.2.3 Para arranque biofiltro percolador (BFP)	50
3.8.2.4 Para clarificación	51
3.9. Metodología	52
3.9.1 Determinación de la estructura e implementación de la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario Ambato.	52
3.9.2 Pruebas operativas y procesos de rutina para la depuración de los lixiviados.....	53
A. Arranque del reactor UASB	54
B. Proceso de arranque del biofiltro percolador	56
C. Arranque tratamiento mecánico y químico	57

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de los resultados	59
4.1.1. Estructura de la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario Ambato.	59
A. Tanque desarenador, válvula a pozo bombas 1 y válvula a bypas	59
B. Reactor UASB.....	59
C. Biofiltro percolador BFP.....	61
D. Tanque de clarificación.....	62
E. Sistema de cloración.....	63
F. Lecho de secado de lodos	64
G. Pozos de bombeo	64
H. Sistema de recirculación y control	64
I. Quemador de biogás	65
4.1.2 Implementación de la planta de tratamiento de lixiviados del RSA.....	66
4.1.3 Pruebas operativas y procesos de rutina para la depuración de los lixiviados del RSA.....	68
4.1.3.1 Monitoreo de componentes	68

4.1.3.2 Registros de temperaturas, pHs, caudal de lixiviado y volumen de biogás.....	69
4.1.3.3 Operación y mantenimiento de la PTL	73
4.2. Análisis de datos	77
4.3 Verificación de hipótesis	77

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	78
5.2. Recomendaciones	82

CAPITULO VI

PROPUESTA

6.1 Datos informativos	84
6.2 Antecedentes de la propuesta	85
6.3 Justificación.....	86
6.4 Objetivos.....	87
6.5 Análisis de factibilidad	87
6.6 Fundamentación.....	89
6.7 Metodología	96
6.8 Administración	97
6.9 Previsión de la evaluación.....	97

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: TABLAS

- Tabla 1. Características del biogás.
- Tabla 2. Registro diario de Temperaturas del lixiviado.
- Tabla 3. Registro diario de pH del lixiviado.
- Tabla 4. Registro diario de Caudal y Volumen de biogás producido.
- Tabla 5. Resultados análisis Físico – Químicos del Lixiviado Crudo
- Tabla 6. Resultados análisis Físico – Químicos del Lixiviado interior del UASB
- Tabla 7. Resultados análisis Físico – Químicos del Lixiviado a la salida del Biofiltro
- Tabla 8. Resultados análisis Físico – Químicos lixiviado clarificador
- Tabla 9. Resultados de las pruebas de dosificación realizadas con el lixiviado de salida del biofiltro, realizado por Químicos e Importaciones H&H.
- Tabla 10. Resultados de los parámetros más representativos analizados.
- Tabla 11. Porcentajes totales de disminución de la carga contaminante en los principales parámetros.
- Tabla 12. Resultados de los analisis estadisticos para cada uno de los parametros, entre el lixiviado crudo y el lixiviado de descarga.
- Tabla 13. Resumen del análisis estadístico aplicado a los diferentes parámetros estadísticos entre el lixiviado crudo y el de descarga.

ANEXO B: DIAGRAMAS

- Diagrama 1. Esquema Planta de Tratamiento de lixiviados
- Diagrama 2. Flujograma Planta de tratamiento de Lixiviados
- Diagrama 3. Proceso de Arranque del reactor UASB
- Diagrama 4. Proceso de Arranque Biofiltro Percolador (BFP)
- Diagrama 5. Proceso de puesta en marcha de la etapa de Clarificación.

ANEXO C: FOTOGRAFÍAS

- Imagen 1. Tanque desarenador, válvula a pozo bombas 1 y válvula a bypas
- Imagen 2. Pozo de bombas #1
- Imagen 3. Reactor Anaerobio UASB
- Imagen 4. Estructuras UASB + Biofiltro
- Imagen 5. Biofiltro Percolador (BFP)
- Imagen 6. Pozo de bombas #2
- Imagen 7. Tanque del coagulante
- Imagen 8. Tanque Clarificador
- Imagen 9. Lecho de secado de lodos
- Imagen 10. Quemador de biogás
- Imagen 11. Panel principal de control
- Imagen 12. Realización del muestreo de lixiviado a diferentes alturas del UASB
- Imagen 13. Instalación cubierta en el trayecto de ingreso del lixiviado crudo.
- Imagen 14. Cubierta instalada actualmente
- Imagen 15. División realizada en el tanque de bombas #1 para incrementar la Temperatura del UASB.
- Imagen 16. Rumen fresco de ganado transportado desde el camal municipal Ambato
- Imagen 17. Recolección de los efluentes del camal
- Imagen 18. Colocación del efluente del camal en el interior del UASB
- Imagen 19. Sistema de calentamiento provisional
- Imagen 20. Muestra de lixiviado recogido de las diferentes alturas del digestor UASB
- Imagen 21. Oxigenación del efluente del camal mediante un compresor.
- Imagen 22. Efluente del camal recolectado
- Imágenes 23, 24. Trabajo realizado para la recirculación del efluente del camal en el biofiltro.
- Imagen 25. Muestra de lixiviado recogido a la salida del biofiltro
- Imagen 26. Filtro obstruido por flócs y agentes externos

- Imagen 27. Filtro lavado
- Imagen 28. lixiviado recolectado del UASB
- Imagen 29. Realización prueba de jarras para los lixiviados del interior del UASB.
- Imagen 30. Equipo de jarras con el lixiviado durante la prueba
- Imagen 31. Lodos formados conducidos hacia el lecho de secado desde el tanque clarificador.
- Imagen 32 Adaptación realizada en el clarificador para incrementar turbulencia.
- Imagen 33. Mayor turbulencia generada.
- Imagen 34. Dosificación con $Al_2(SO_4)_3$
- Imagen 35. Dosificación realizada con polímero (mayor clarificación)
- Imagen 36. Dosificación con policloruro de aluminio.
- Imagen 37. Dosificación con mayores concentraciones de $Al_2(SO_4)_3$
- Imagen 38. Formación de flócs en el tanque clarificador
- Imagen 39. Descarte de lodos secos.
- Imagen 40. Válvulas de muestreo de lixiviado del UASB a 6 diferentes alturas.

ANEXO D: CÁLCULOS

- Ejemplo de cálculo para la determinación de la cantidad de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) a colocarse en el tanque del coagulante (dosificación coagulante).

ANEXO E: INFORME

- Ejemplar de informes mensuales, sobre la Planta de Tratamiento, entregados a las autoridades de la dirección Municipal de Higiene del Ilustre Municipio de Ambato.

ANEXO F: GRÁFICAS

- Gráfica 1. Concentración de contaminantes en el lixiviado crudo.
- Gráfica 2. Concentración de contaminantes en el lixiviado del UASB.
- Gráfica 3. Concentración de contaminantes a la salida del biofiltro.
- Gráfica 4. Concentración de contaminantes a la salida del clarificador.
- Gráfica 5. Comparación de parámetros químicos entre el lixiviado crudo, lixiviado en el interior del reactor UASB, lixiviado a la salida del biofiltro y lixiviado a la salida del clarificador.
- Gráfica 6. Temperaturas noviembre 2009 – Enero 2010.
- Gráfica 7. Temperaturas registradas del lixiviado crudo y del lixiviado en el interior del reactor UASB, desde el 01 al 26 de marzo de 2010.
- Gráfica 8. Relación entre Temperatura y producción de Biogás.
- Gráfica 9. Regresión lineal aplicado entre la Temperatura del UASB y la producción de biogás.

RESUMEN EJECUTIVO

El Relleno Sanitario Ambato (RSA) diariamente recibe un promedio de 220 toneladas de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que se generan en la ciudad con todas sus parroquias urbanas y rurales.

La putrefacción natural de estos residuos produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado, mucho más concentrado que las aguas residuales domésticas.

Por esta razón, el Municipio de Ambato construyó una planta destinada al tratamiento de este tipo de efluentes para minimizar los efectos contaminantes contra el recurso agua.

El presente estudio tuvo como propósito fundamental poner en funcionamiento la Planta de Tratamiento en las etapas: Descomposición anaerobia (reactor UASB), descomposición aerobia (Biofiltro percolador BFP) y clarificación.

Los objetivos específicos del trabajo de investigación se relacionaron al estudio de la estructura completa de la Planta de Tratamiento de lixiviados del RSA, el establecimiento de la implementación necesaria de la planta mencionada, la ejecución de las pruebas operativas exploratorias del proceso de depuración y finalmente, proponer los procesos de rutina para la depuración de los lixiviados.

Para el arranque del reactor UASB (reactor manto de lodos de flujo ascendente), se colocaron aproximadamente 400 Kg de rumen fresco de ganado, por la gran cantidad de bacterias metanogénicas que contiene. También se colocaron 300 litros de efluente de camal para dotar de diversidad microbiana y nutrientes.

En el biofiltro percolador (descomposición aerobia) se utilizó 150 litros de efluente del camal municipal, previamente oxigenado por varios días, para promover la formación de la película microbiana sobre el biofiltro.

En la etapa de clarificación se probaron 2 tipos de coagulantes (sulfato de aluminio y cloruro férrico), dando mejores resultados con sulfato de aluminio con una

dosificación a partir de 600 ppm, pues se obtuvo formación de lodos; con cloruro férrico existió problemas de corrosión en el tanque metálico que contenía la solución del coagulante.

Diariamente (lunes a viernes) se tomaron los datos (Anexo A, tablas 2, 3 y 4) de temperatura y pH del lixiviado crudo (ingreso), lixiviado interior del UASB (6 alturas) y lixiviado a la salida del clarificador (descarga). Además se tomó en cuenta el caudal del lixiviado crudo que ingresa y el volumen de biogás producido en el reactor UASB.

El caudal varía entre 0.06 lt/seg a 2.4lt/seg.

El volumen de biogás entre 0 y 35lt diarios.

El pH se mantenía entre 7.5 a 8.5.

Dependiendo de la etapa del proceso depurativo, luego de 30 a 60 días del arranque de cada etapa se realizó un muestreo de lixiviado. Cada muestra fue enviada a los laboratorios CICAM de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) de la ciudad de Quito para el análisis de los distintos parámetros físico – químicos como DBO, DQO, pH, metales pesados, aceites y grasas, entre otros, para así determinar el porcentaje de depuración del lixiviado en cada etapa.

Al comparar los resultados (gráficas estadísticas) de los análisis físicos - químicos entre cada etapa del proceso de depuración y los del lixiviado crudo se observó una clara disminución de la carga contaminante (Anexo F, gráfica 5).

Mediante el análisis estadístico T Student (Anexo A, Tabla 12), entre el lixiviado crudo y el lixiviado de descarga se concluye que hay diferencia significativa en la mayoría de parámetros, entre los que se encuentran los más importantes como lo son el DBO₅ y el DQO, lo que indica la reducción de la carga contaminante del lixiviado.

El porcentaje total de disminución de la contaminación, al comparar los resultados del lixiviado crudo y el de la descarga, alcanzo valores superiores al 80% en parámetros como sólidos suspendidos, plomo y cadmio. Mientras que para los

parámetros de medición de la contaminación más utilizados, como es el DBO y DQO, se alcanzaron porcentajes del 58% y 49% respectivamente (Anexo A, tablas 7 y 8).

En lo que respecta a la temperatura en el reactor UASB, los valores variaron entre 20.5 y 32°C, siendo mejor las temperaturas a partir de los 25°C para propiciar la descomposición anaerobia de la materia orgánica y producir mayor volumen de Biogás (Anexo F, gráfica 8).

Un análisis de regresión lineal indica que la temperatura del UASB influencia en un 75% la producción de biogás ($r^2=0.75$) (Anexo F, gráfica 9) lo que ratifica la importancia de mantener temperaturas del lixiviado superiores a los 25°C en el UASB.

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN

“ESTRUCTURA, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO AMBATO”

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Contextualización

El crecimiento de la población, así como el desarrollo industrial, la urbanización y otros procesos y efectos del desarrollo experimentado por todos los países, vienen produciendo un incremento considerable en la cantidad y variedad de los residuos sólidos generados en las actividades desarrolladas por la población.

Dichos residuos son tratados mediante la incineración, la compostación y la recuperación, y tienen como propósito reducir su volumen, por lo tanto no se consideran como métodos de disposición final, por lo que se requiere de un relleno sanitario para disponer adecuadamente los residuos que se producen.

Como consecuencia de la descomposición de los diferentes residuos sólidos urbanos, se forman los lixiviados, líquido que ha pasado a través o ha emergido de la masa del material que constituye el relleno sanitario y que contiene materiales procedentes de los residuos. Por lo tanto, implica una

fuerente importante de contaminación ambiental dada su elevada carga orgánica y química.

Por ejemplo, la experiencia colombiana en cuanto a la utilización de rellenos sanitarios como alternativa de disposición de residuos puede considerarse exitosa, sin embargo los resultados obtenidos respecto al tratamiento de lixiviados no ha sido satisfactoria. Empresas prestadoras de servicio de aseo de ciudades capitales han gastado una gran cantidad de recursos con resultados no afines con las inversiones hechas, así mismo, los programas de rellenos sanitarios manuales adolecen de una alternativa para el tratamiento de lixiviados que sea acorde con las características económicas de pequeños municipios. La dificultad para el tratamiento de lixiviados y causa de los pocos éxitos obtenidos, está en la gran cantidad de constituyentes presentes así como su variabilidad en el tiempo. Esto implica que se requieren varias etapas de tratamiento y flexibilidad, aspectos que elevan los costos cuando se utilizan tecnologías convencionales (Management & Consulting S.A, 2009).

En contraste, el reactor anaerobio de manto de fango de flujo ascendente, UASB, (Upflow Anaeróbio Sludge Blanket), que fue desarrollado en Holanda durante el periodo de 1970 por un equipo de investigadores a la cabeza del profesor Gatze Lettinga y su equipo de la Universidad Agrícola de Wageningen-Holanda, por su simplicidad se ha difundido en varios países, para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. Su gran ventaja consiste en que no requiere ningún tipo de soporte para retener la biomasa, lo que implica un ahorro importante. Su principio de funcionamiento se basa en la buena sedimentabilidad de la biomasa producida dentro del reactor, la cual se aglomera en forma de granos o flóculos, presentando una elevada actividad metanogénica, lo que explica los buenos resultados del proceso (Arratia, 2009).

Por otra parte en el Ecuador, las ciudades Quito, Cuenca y Guayaquil han logrado un manejo más o menos satisfactorio de sus desechos sólidos con coberturas de recolección sobre el 90% y un manejo adecuado de sus rellenos sanitarios, salvo de algunas fallas en el monitoreo ambiental.

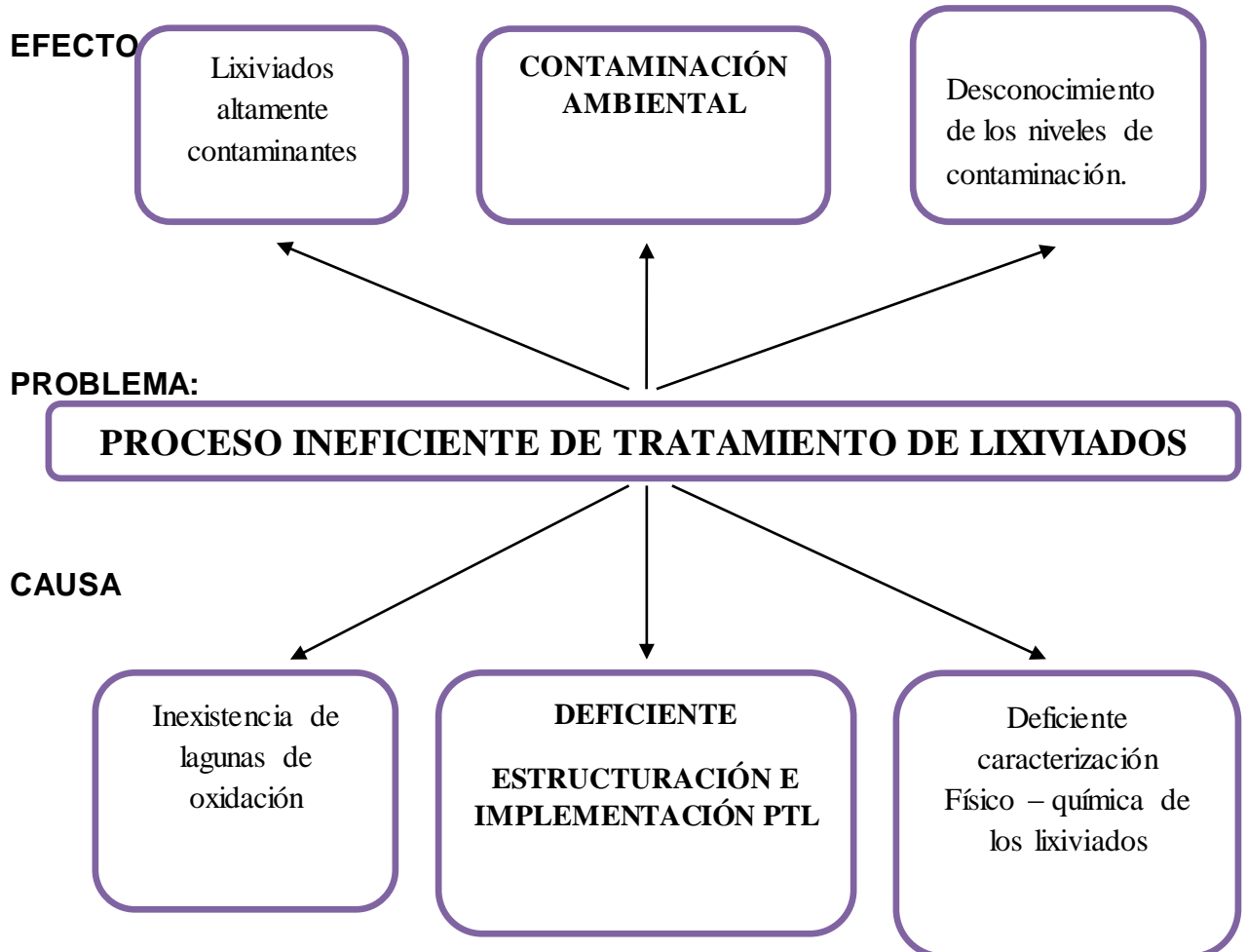
En lo que respecta a disposición final cuando se excluyen las tres ciudades más grandes del país, se estima que no más de 10 municipios tienen un manejo de su disposición final aceptable y que éste podría calificarse como relleno controlado, es decir que aunque la basura se tapa diariamente de acuerdo con un plan, los controles ambientales y su monitoreo son deficientes (Torre, 2005).

En lo referente a la provincia de Tungurahua, en Ambato la construcción y operación del relleno sanitario se inició en el año 2004. El relleno está ubicado en el sector nororiental de la parroquia Izamba, a 10 Km del centro de la ciudad, la cual recibe los RSU* que se generan en la ciudad con todas sus parroquias urbanas y rurales, que representan un total de 210 t/día. Hasta julio del año 2007 se han depositado 226.589 t de desechos. La composición es de un 60 % de materia orgánica lo que favorece la formación de gas metano (CH₄) a partir de la misma. El resto corresponde a chatarra, plásticos y otros (Moncayo, 2007).

Por esta razón, recientemente en el país se está iniciando el interés por construir a la par de los rellenos sanitarios, plantas para el tratamiento de lixiviados. La planta de tratamiento construida, posee un reactor tipo UASB, el cual viene siendo utilizado en países como Colombia y Bolivia, con buenos resultados (Torres et al, 2005 y Arriata, 2009).

*Residuos Sólidos Urbanos

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO



Realizado por: Mario Villacrés, 2010

1.2.3 PROGNOSIS

Si no se lleva a cabo la presente investigación, el proceso de depuración de los lixiviados del relleno sanitario Ambato no será posible, pues se requiere un estudio amplio para su ejecución y perfeccionamiento.

La planta de Tratamiento de lixiviados (PTL) no funcionara adecuadamente por lo que los lixiviados producidos en el relleno sanitario continuarán siendo descargados directamente al rio Culapachan sin ningún tratamiento previo.

Los lixiviados al poseer una alta carga contaminante como patógenos, metales pesados, solidos, compuestos orgánicos, afectaran en gran medida la vida acuática y la vida de quienes utilizan el agua con diversos fines como la agricultura y consumo. Cada componente del lixiviado tiene la capacidad de afectar tóxicamente la vida de los seres vivos que tengan contacto directo con el agua contaminada por el lixiviado. Además, existe el problema de contaminación del aire, derivado de los malos olores que genera el lixiviado no tratado y sumado sobre todo por los olores de los efluentes provenientes del parque industrial Ambato, lo que causa malestar de quienes se encuentran en las cercanías del relleno sanitario.

Por otro lado, la planta de tratamiento en estudio no se constituirá en un referente a seguir para el resto de ciudades del país que se interesan por disponer de un sistema análogo de tratamiento de lixiviados.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Por qué la no estructuración, implementación y puesta en marcha de la Planta de Tratamiento de Lixiviados (PTL) del Relleno Sanitario Ambato (RSA) provoca contaminación ambiental?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

- ¿Cuál es la estructura completa de la planta de tratamiento de lixiviados del RSA?
- ¿Cuál es la implementación necesaria de la planta mencionada?
- ¿Cuáles serán las pruebas operativas exploratorias requeridas para los procesos de depuración de los lixiviados?
- ¿Cuáles serán los procesos de rutina para la depuración de los lixiviados?

1.2.6 DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

CAMPO CIENTÍFICO:

Ingeniería Ambiental

ÁREA:

Tratamiento Biológico de Residuos

ASPECTO:

Lixiviados

TEMPORAL:

Noviembre 2009 – marzo 2010

ESPACIAL:

El presente trabajo de Investigación se realizó en la Planta de Tratamiento de Lixiviados (PTL), perteneciente al Relleno Sanitario Ambato (RSA), ubicado en la vía a Píllaro, sector Chachoán.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La protección medioambiental es uno de los mayores retos con que se enfrenta hoy el mundo. En todos los niveles, el medio ambiente se encuentra seriamente amenazado. Por esta razón se deben establecer procesos de depuración de los diferentes componentes contaminados producidos por la actividad humana.

Dentro de esta temática se encuentra la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), que en Ambato se producen aproximadamente 220 toneladas/día, los cuales son dispuestos en el Relleno Sanitario del mismo nombre.

Un relleno Sanitario es una técnica de disposición final, que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en una área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen y cuya descomposición forma un líquido maloliente de color negro conocido como lixiviado, mucho más concentrado que las aguas domésticas.

Por tal razón, el Municipio de Ambato construyó una planta destinada a la depuración de este tipo de efluente, que constituye una alternativa ecológica y económicamente viable. Dicha planta se encuentra en la etapa previa a su funcionamiento y requiere de un estudio sobre su estructura, implementación y puesta en marcha para garantizar la depuración de los lixiviados.

Entonces, por la importancia ecológica-ambiental que representa la planta de tratamiento de lixiviados, su puesta en marcha tomando en cuenta factores físico-químicos como la temperatura, pH, DBO, DQO, etc., son indispensables para conseguir la mayor eficiencia del proceso y así asegurar la depuración señalada y consecuentemente la inversión puesta en la construcción de dicha planta.

En consecuencia, la estructuración, implementación y puesta en marcha de la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario Ambato, tendrá un impacto importante, ya que el interés por depurar lixiviados producidos en un relleno sanitario será considerado por los municipios del país y por cuya razón Ambato y la provincia de Tungurahua serán precursores en el tratamiento de lixiviados mediante reactores UASB, que de seguro con el ejemplo permitirá abrir el interés por la depuración de otros efluentes industriales, ayudando enormemente a la descontaminación de los ríos de la provincia de Tungurahua, salvaguardando la vida que del agua dependen.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Realizar un estudio sobre la estructura, implementación y operación de la planta de tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario Ambato (RSA).

1.4.2 Objetivos Específicos

- Estudiar la estructura completa de la planta de tratamiento de lixiviados del RSA.
- Establecer la implementación necesaria de la planta mencionada.
- Ejecutar las pruebas operativas exploratorias del proceso de depuración.
- Proponer los procesos de rutina para la depuración de los lixiviados.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Según el estudio “Tratamiento anaerobio de lixiviados en reactores UASB” (Torres et al, 2005) realizado en Colombia, donde evaluaron la aplicación de Tecnología Anaerobia en un reactor UASB a escala de laboratorio, para la degradación biológica de los lixiviados provenientes de un sector del vertedero en que se disponen los residuos sólidos urbanos de una ciudad de 2.4 millones de habitantes, concluyeron que la aplicación de la tecnología de tratamiento anaerobio para la degradación biológica de lixiviados, es una alternativa viable; sin embargo, es necesario ajustar dos variables en la composición de los mismos: el pH, el cual debe mantenerse en valores cercanos a 5.75 y el fósforo, el cual debe complementarse para garantizar los requerimientos nutricionales de los microorganismos anaerobios. Con el ajuste del pH y la concentración de fósforo en el sustrato, fue posible alcanzar eficiencias de remoción de DQO mayores al 90%. Estos resultados confirman la factibilidad de uso de esta tecnología para el tratamiento de estas aguas residuales.

En otra investigación realizada en Bolivia y que titula “Proceso Anaerobio Aplicado al Tratamiento de Lixiviados (Relleno Sanitario de Mallasas)” (Arratia, 2009), concluyeron que las temperaturas del recinto donde se instaló el reactor UASB fueron: máxima de 25.8 °C y la mínima de 6.0 °C y del reactor UASB fueron: la máxima de 24.0 °C y la mínima de 6.8 °C, favorables para el arranque y desarrollo del proceso. Además, se estableció que a mayores

valores de DBO y DQO del lixiviado (14.000 mg/l y 51.000 mg/l), las eficiencias remocionales de estos parámetros son del orden de 90.14 % y 63.57 % respectivamente. En la utilización del biogás como alternativa que proporcione energía al sistema, a través del calentamiento del afluente o atemperamiento del recinto se estableció que las remociones tanto de DBO y DQO se reducen, principalmente debido a que a mayor temperatura se incrementa la DBO y la DQO, siendo la opción más viable que se caliente el ambiente del recinto donde se encuentra el reactor UASB.

En el Ecuador no se tiene antecedentes investigativos sobre tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios con reactores tipo UASB, en razón de que la planta de Ambato es la primera en su género.

No obstante, en el Ecuador se realizan otros procesos depurativos de lixiviados, por ejemplo, según información del diario electrónico “EL Comercio” del 31 de Agosto de 2010, en rellenos sanitarios como El Inga de la Ciudad de Quito, la empresa Italiana Green gas, trata los lixiviados en cuatro fases: piscina de evaporación, filtración, piedras y plantas y Ósmosis inversa.

Adicionalmente, en la ciudad de Cuenca, los lixiviados son transportados y tratados en una Planta de aeración extendida de la ciudad (Torre, 2011).

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

El modelo de la presente investigación científica es el paradigma positivista, ya que sus principales características son la orientación nomotética de la investigación, la formulación de hipótesis, su verificación y la predicción a partir de las mismas, la sobrevaloración del experimento, el empleo de métodos cuantitativos y de técnicas estadísticas para el procesamiento de la información, así como niega o trata de eliminar el papel de la subjetividad del investigador y los elementos de carácter axiológico e ideológicos presentes en la ciencia, como forma de la conciencia social, pretendiendo erigirse como la filosofía de las ciencias (Zayas, 2010).

La presente investigación se basa además en el paradigma Naturalista, ya que el hecho de que sea compartida determina una realidad percibida como objetiva, viva y cognoscible para todos los participantes en la interacción social. Además, el mundo social no es fijo ni estático sino cambiante, mudable, dinámico. El paradigma Naturalista no concibe el mundo como fuerza exterior, objetivamente identificable e independiente del hombre. Existen por el contrario múltiples realidades. En este paradigma los individuos son conceptuados como agentes activos en la construcción y determinación de las realidades que encuentran, en vez de responder a la manera de un robot según las expectativas de sus papeles que hayan establecido las estructuras sociales (García, 2010).

2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

En la siguiente tabla obtenida del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) del Ecuador (2009), Libro VI, Anexo 1, tabla 12, se encuentran los valores máximos permisibles para la descarga a cuerpos de agua dulce.

TABLA 2. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aldehídos		mg/l	2
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2
Boro total	B	mg/l	2
Cadmio	Cd	mg/l	0,02

Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		<u>1[1]Remoción > al 99,9 %</u>
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1
Estaño	Sn	mg/l	5
Fluoruros	F	mg/l	5
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	2
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2

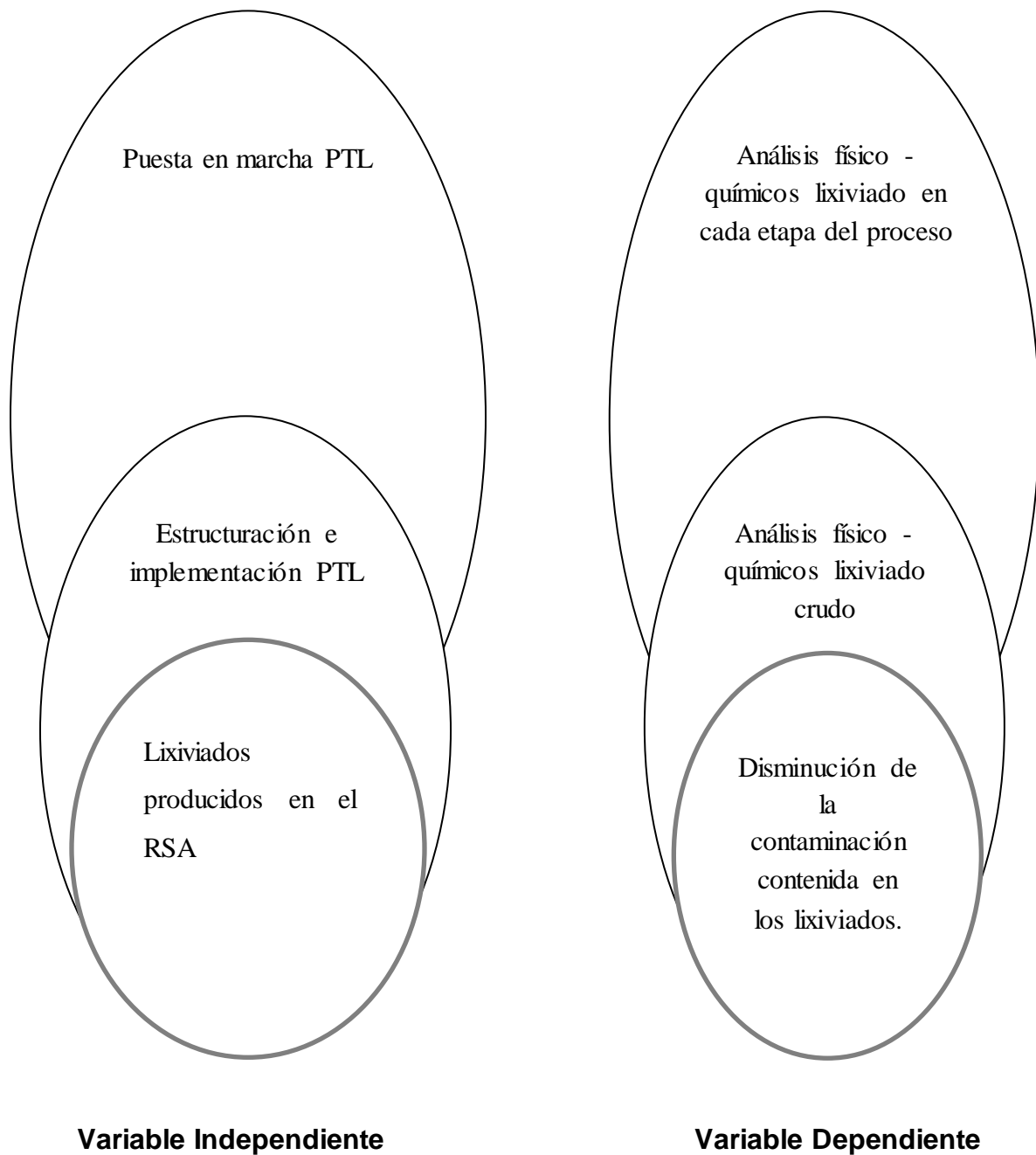
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		05-sep
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1
Vanadio		mg/l	5
Zinc	Zn	mg/l	5

¹ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

Fuente: Texto unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), 2009.

2.4. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



2.4.1 Marco Conceptual de la variable Independiente

2.4.1.1 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA O PLANTAS POTABILIZADORAS

Una planta de tratamiento es una secuencia de operaciones o procesos unitarios, convenientemente seleccionados con el fin de remover totalmente los contaminantes microbiológicos presentes en el agua cruda y parcialmente los físicos y químicos, hasta llevarlos a los límites aceptables estipulados por las normas (Vargas, 2010).

- **Tipos de plantas de tratamiento de agua**

Las plantas de tratamiento de agua se pueden clasificar, de acuerdo con el tipo de procesos que las conforman, en plantas de filtración rápida y plantas de filtración lenta.

También se pueden clasificar, de acuerdo con la tecnología usada en el proyecto, en plantas convencionales antiguas, plantas convencionales de tecnología apropiada y plantas de tecnología importada o de patente (Vargas, 2010).

A. Plantas de filtración rápida

Estas plantas se denominan así porque los filtros que las integran operan con velocidades altas, entre 80 y 300 m³ /m².d, de acuerdo con las características del agua, del medio filtrante y de los recursos disponibles para operar y mantener estas instalaciones.

Como consecuencia de las altas velocidades con las que operan estos filtros, se colmatan en un lapso de 40 a 50 horas en promedio. En esta situación, se aplica el retrolavado o lavado ascensional de la unidad durante un lapso de 5 a 15 minutos (dependiendo del tipo de sistema de lavado) para descolmatar el medio filtrante devolviéndole su porosidad inicial y reanudar la operación de la unidad.

De acuerdo con la calidad del agua por tratar, se presentan dos soluciones dentro de este tipo de plantas: plantas de filtración rápida completa y plantas de filtración directa (Vargas, 2010).

2.4.1.2 ARRANQUE DE REACTORES ANAEROBIOS

Para lograr un proyecto exitoso de cualquier proceso biológico no basta con un diseño adecuado.

Si bien el diseño básico de un reactor anaerobio del tipo UASB es sencillo, siempre y cuando se respeten los aspectos hidráulicos y cinéticos, su inoculación y arranque puede requerir un alto grado de experiencia y conocimiento. Lo anterior es particularmente cierto cuando no se cuenta con inóculos adecuados o adaptados, caso muy común aún en México (Hernández, et. al, 2010).

El uso de la tecnología anaerobia implica dos etapas fundamentales: el arranque y operación del sistema. Estas etapas generalmente se controlan a través del conocimiento de lo que entra al sistema de tratamiento: caudal de agua residual y su carga orgánica, así como la existencia o no de sustancias tóxicas en concentraciones apreciables. El seguimiento de las salidas del sistema se desarrolla por medio del monitoreo de la calidad del efluente líquido y de la cantidad y calidad del efluente gaseoso (Rodríguez, 2010).

El primer arranque de cualquier reactor anaerobio es lento y requiere de largos periodos de tiempo, debido a las bajas tasas de crecimiento de los microorganismos ($Y = 0.03$ a 0.08 kgSSV- DQO/kgDQO convertida para bacterias metanogénicas), por lo que siempre es conveniente la inoculación. De hecho, esta es una de las principales desventajas del proceso. Sin embargo, una vez que el sistema ha sido arrancado y se opera adecuadamente es posible considerar que el problema se resuelve en definitiva. En términos generales, es necesario que el volumen de lodo de inóculo sea lo más grande posible en relación con el volumen del reactor y que tenga suficiente actividad y adaptación a las propiedades específicas del agua residual (Hernández, et. al, 2010).

No hay reglas claras para estimar el volumen conveniente para inocular reactores anaerobios. Un intervalo entre un 10 y un 30% del volumen del reactor puede considerarse aceptable. En general, mientras más inóculo se utilice, mayor será la carga orgánica de arranque (Hernández, et. al, 2010).

Generalmente se identifica el final del arranque en lo que respecta a biomasa, con la aparición del fenómeno de granulación y/o formación de un flóc o biopelícula estable (Rodríguez, 2010).

Existen diversas metodologías para el arranque de reactores anaerobios, las cuales se basan fundamentalmente en el seguimiento de parámetros de operación y dependiendo de la salud del sistema, en el aumento paulatino de la carga. Se han podido definir tres fases en el arranque:

1. Adaptación primaria y crecimiento de bacterias degradadoras de los ácidos acético y propiónico;
2. Formación de una biomasa anaerobia metanogénica activa;
3. Formación de un lodo granular, si las condiciones del sustrato lo permiten (Rodríguez, 2010).

2.4.1.3 RELLENOS SANITARIOS

Un relleno sanitario es una técnica de eliminación de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica al ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en una área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica (Jaramillo, 1991)

2.4.1.4 BIOQUÍMICA EN LOS RELLENOS SANITARIOS

La materia orgánica constituyente de la basura es transformada en los rellenos sanitarios por bacterias facultativas y anaerobias mediante una serie de reacciones que dan por resultado la formación de metano (55%), dióxido de carbono (40%), vapor de agua y otros (5%) (Mezcla gaseosa comúnmente conocida como biogás). $\text{Materia orgánica} + \text{bacterias anaerobias} = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4 + \text{NH}_3 + \text{productos finales reducidos}$.

El proceso anterior no sólo tiene lugar en los rellenos sanitarios, sino también en los vertederos a cielo abierto, aunque en menor escala. Los factores que influyen en la producción de biogás en un relleno sanitario pueden dividirse en dos: la composición de la basura y los factores físicos ambientales. La basura depositada en los rellenos sanitarios en los países en desarrollo tiende a estabilizarse en un periodo de 10 a 15 años, ya que el alto contenido de material de rápida biodegradación se equilibra aceleradamente, en tanto que los rellenos con alto contenido de papel y cartón tardan 20 años o más, sin contar los plásticos. Dentro de los factores físicos que influyen en el proceso en cuestión está el contenido de humedad dentro del relleno, la temperatura, el pH y la ausencia de aire. La humedad es esencial para el metabolismo celular de las bacterias responsables del proceso, así como del transporte de los nutrientes dentro del relleno. El contenido de humedad del relleno depende de la cantidad inicial de humedad de los residuos, del grado de infiltración de aguas lluvias y de las posibles fuentes subterráneas y, en mucho menor escala, del total de agua producida durante el proceso. La temperatura y el pH también afectarán el crecimiento y la actividad de las bacterias dentro del relleno. Las temperaturas imperantes generalmente están comprendidas entre 25° y 40°C, estas temperaturas pueden existir sin ningún problema, independientemente de las existentes en el exterior del relleno. En tanto que el pH debe ubicarse entre valores de 6.8 y 7.2, pues valores de pH inferiores a 6.5 generan acumulación excesiva de ácidos orgánicos, dando por resultado la caída aún mayor del pH, que puede conducir a la interrupción de la producción de biogás durante meses o años. Un relleno sanitario es un sistema de conversión o estabilización de la basura en el que existe la generación de biogás y lixiviados durante el proceso de conversión; este biogás y los lixiviados deben capturarse y controlarse para

evitar la contaminación del suelo, del agua y del aire (Management & Consulting S.A., 2009).

- **Líquido Percolado**

La descomposición o putrefacción natural de la basura, produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado o percolado, muy parecido a las aguas residuales domésticas (aguas servidas), pero mucho más concentrado. De otro lado, las aguas de lluvias que atraviesan las capas de basura, aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los desechos; de ahí la importancia de interceptar y desviar las aguas de escorrentía y pequeños hilos de agua antes del inicio de la operación, puesto que si el volumen de este líquido aumenta demasiado, puede causar no sólo problemas en la operación del relleno, sino también contaminar las corrientes de agua, nacimientos y pozos vecinos.

Si tenemos en cuenta que el área promedio a rellenar para disponer los desechos sólidos de estas pequeñas poblaciones no es muy grande, los volúmenes de percolado entonces serán también pequeños. Por lo tanto, se puede optar por su infiltración en el suelo dado que, con el paso del tiempo, la carga contaminante de los lixiviados disminuye una vez terminado el relleno; además, el suelo actúa como filtro natural. No obstante, para proteger las aguas superficiales y subterráneas, se deben tomar las siguientes medidas:

- Verificar que las aguas subterráneas y superficiales cercanas no estén siendo utilizadas para el consumo humano o animal.
- Establecer una altura mínima de 1.0 - 2.0 m (depende de las características del suelo) entre la parte inferior del relleno y el nivel de agua subterránea.
- Tratar de contar con un suelo arcilloso o en su defecto impermeabilizar la parte inferior mediante una capa de arcilla de 0.30 - 0.60 m.

- Interceptar, canalizar y desviar el escurrimiento superficial y los pequeños hilos de agua, a fin de reducir el volumen del líquido percolado, y de mantener en buenas condiciones la operación del relleno.
- Construir un sistema de drenaje para posibilitar la recolección del líquido percolado y facilitar su posterior tratamiento en caso necesario.
- Cubrir con una capa de tierra final de unos 0.40 a 0.60 m, compactar y sembrar las áreas del relleno que hayan sido terminadas con pasto o grama para disminuir la infiltración de aguas de lluvias (Jaramillo, 1991).

2.4.1.5 TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

Prácticamente la totalidad de los rellenos de residuos se enfrentan a un problema común y generalmente grave, que es la generación de un volumen “normalmente elevado” de lixiviados, aguas contaminadas que deben ser tratadas de forma apropiada.

Dentro de los factores que condicionan la generación de los lixiviados, en cuanto a volumen y características físico-químicas, cabe destacar cuatro circunstancias determinantes:

- Entradas de agua a la masa de vertidos;
- Características (tipología y cantidades) de los residuos depositados: contenido en humedad;
- Condiciones de sellado (final e intermedio) de la superficie del relleno;
- Características del vaso del relleno (terreno sobre el que se asienta).

Básicamente estos cuatro puntos inciden en los factores de entradas de agua, capacidad de retención del agua en la masa de residuos y la degradación de los propios residuos depositados (Fuentes, 2009).

2.4.1.6 FERMENTACIÓN ANAEROBIA

La fermentación anaeróbica es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico. De esta forma podemos encontrar el denominado "gas de los pantanos" que brota en aguas estancadas, el gas natural metano) de los yacimientos petrolíferas así como el gas producido en el tracto digestivo de los rumiantes como los bovinos. En todos estos procesos intervienen las denominadas bacterias metanogénicas.

Las primeras menciones sobre biogás se remontan al 1.600 identificados por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica (Hilbert, 2009).

2.4.1.7 PROCESOS DE CONVERSIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

Los procesos pueden ser agrupados en cuatro fases, que se producen simultáneamente durante la degradación anaerobia del material orgánico, que son: hidrólisis, acidogénesis, Acetogénesis y Metanogénesis.

- **Hidrólisis.**

En esta fase el material orgánico complejo insoluble es convertido mediante enzimas extracelulares, a otro de estructura menor y soluble (azúcar, aminoácidos, ácido grasos). Las enzimas son excretadas por bacterias fermentativas. La hidrólisis del material orgánico es más bien un proceso lento.

La tasa de hidrólisis es afectada por el pH, el tamaño de las partículas del substrato y la disponibilidad del substrato.

Las grasas son degradadas en forma muy lenta. En la producción de metano de los desperdicios sólidos, abonos y lechadas de fangos; la hidrólisis generalmente es la medida tasa limite en este proceso (Arratia, 2009).

Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando hidrógeno y dióxido de carbono. Este trabajo es llevado a cabo por un complejo de microorganismos de distinto tipo que son en su gran mayoría anaerobios facultativos (Hilbert, 2009).

- **Acidificación.**

En la cual, los compuestos solubles son convertidos a compuestos de estructura química más simple por bacterias fermentativas productoras de ácidos. Los principales productos resultantes y excretados, por ejemplo, ácidos grasos volátiles, alcoholes, ácido láctico, metanol, CO₂, H₂, NH₃, H₂S, así como biomasa nueva. El grupo de bacterias es bastante variado, siendo la mayoría estrictamente anaerobias, pero algunas son facultativas.

Los productos finales de esta fase sufren variaciones, dependiendo del substrato, de la naturaleza de población bacteriana, y de factores ambientales como ser la concentración de pH y H₂.

La fermentación acidogénica es producida por un grupo diverso de bacterias, en su mayoría anaerobias obligadas llamadas bacterias acidogénicas. La presencia de especies facultativas que puedan oxidar la materia orgánica es importante en los procesos anaerobios de tratamiento de aguas, porque así el oxígeno disuelto presente, que podría ser tóxico para el resto de las bacterias, puede ser removido por la acidogénesis (Arratia, 2009)

- **Acetogénesis.**

En esta fase los productos de los procesos de fermentación son convertidos a acetato, H₂ y CO₂, así como nueva biomasa. Los compuestos de la fase de acidificación son utilizados por las bacterias acetogénicas y derivan en las reacciones ya mencionadas.

En esta etapa, los productos formados en la acidogénesis son convertidos en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono. Los compuestos de la fase de acidificación son utilizados por las bacterias acetogénicas que convierten la mayoría de los productos de la acidogénesis en ácido acético (CH_3COOH), hidrógeno (H_2) y CO_2 , compuestos que son los sustratos para la producción del metano. Aproximadamente el 70% de la DQO inicial es convertida en ácido acético, y la producción de hidrógeno y de dióxido de carbono dependerá de cuan oxidada sea la materia orgánica (Arratia, 2009).

- **Metanogénesis.**

En esta fase que es el final de la descomposición anaerobia, el ácido acético, H_2 , CO_2 , ácido fórmico y metanol están convertidos a metano y CO_2 así como nueva biomasa. Aunque esto es conocido hace ya algún tiempo, fue hasta 1979 que se aclaró que la bacteria metano podría crecer con acetato como sustrato. Antes de ese tiempo, se sostenía que era imposible, ya que la conversión de acetato a metano no rendiría energía suficiente para producir ATF (adenosíntrifosfato). Esta es la principal razón por la que los sistemas de tratamiento anaerobio requieren un tiempo de retención de biomasa alta; las bacterias más importantes, que desarrollan la hidrólisis y metanogénesis del acetato, crecen muy lentamente.

La mayor parte del resto del metano es derivado del H_2 y CO_2 . Esto significa el 20–30% del metano. Las bacterias que desarrollan esta reacción generalmente tienen una más alta tasa de crecimiento que aquellas utilizando acetato.

En esta etapa, el gas metano es producido a partir del ácido acético o por reducción de dióxido de carbono con la utilización de hidrógeno, por bacterias Metanogénicas Acetotróficas e Hidrogenofilicas, respectivamente. Pequeñas cantidades de metano pueden ser producidas también a partir del ácido fórmico y metanol (Arratia, 2009).

Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las achibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo cual, se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de vida colonizadoras de la superficie terrestre (Hilbert, 2009).

2.4.1.8 REACTORES ANAEROBIOS U. A. S. B.

La abreviación U. A. S. B. se define como Upflow Anaerobic Sludge Blanquet o Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente. Esta tecnología proveniente de Bélgica y Holanda, es aplicada especialmente al tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica.

La operación de los reactores UASB se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo o barro biológicamente activo en el reactor.

Dichos grupos bacterianos establecen entre sí relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos cuya densidad les permite sedimentar en el digestor. La biomasa permanece en el reactor sin necesidad de soporte adicional. Una de las ventajas del tratamiento anaeróbico sobre el tratamiento aeróbico es la producción de gas metano como fuente energética y la baja producción de lodo biológico.

El tratamiento de aguas residuales con reactores tipo U. A. S. B. es el más difundido en América Latina desde 1988. Estos reactores reemplazaron de cierta forma en las plantas de tratamiento aerobio a los sedimentadores primarios, sedimentadores secundarios, biodigestores para el tratamiento de lodos y gran parte de los sistemas de lodos activados, pues logran eficiencias de remoción comprendidas entre el 60 y 80% de la DQO y la DBO en función de la concentración inicial del agua residual. Los U. A. S. B. funcionan como tratamiento primario, tratamiento secundario,

pero no llegan a eficiencias de remoción superiores al 82%. Para lograrlo, deben ser complementados por sistemas aerobios tradicionales como lodos activados, filtros percoladores o lagunas (Caicedo, 2006).

2.4.2 Marco Conceptual de la variable Dependiente

2.4.2.1 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

- **El Biogás.**

Se llama **biogás** a la mezcla constituida por metano (CH_4) en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno (Anexo A, Tabla 1).

- **Temperatura**

La temperatura es el valor medio de la energía cinética de las partículas de un cuerpo.

Las escalas de temperatura más comúnmente usadas son dos: Celsius y Fahrenheit. Con fines de aplicaciones físicas o en la experimentación, es posible hacer uso de una tercera escala llamada Kelvino absoluta. La escala Celsius es la más difundida en el mundo y se la emplea para mediciones de rutina, en superficie y en altura.

El instrumento utilizado para medir temperaturas se llama termómetro. Existen varios tipos de termómetros, cuya construcción varía según el uso a que se destinan y su modo de utilización.

Todos los termómetros miden la temperatura y sus variaciones aprovechando el efecto producido por el calor sobre un cuerpo. Generalmente se utiliza la dilatación que acompaña a un incremento de calor. La dilatación del mercurio contenido en un tubo cerrado de vidrio, constituye el fundamento del termómetro científico más común. Algunas veces se utiliza alcohol en lugar de mercurio (Herran, 2009).

- **Alcalinidad Total**

Definimos la alcalinidad total como la capacidad del agua para neutralizar ácidos y representa la suma de las bases que pueden ser tituladas. Dado que la alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas.

No sólo representa el principal sistema amortiguador (tampón, buffer) del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva de CO₂ para la fotosíntesis.

Internacionalmente es aceptada una alcalinidad mínima de 20 mg de CaCO₃/L para mantener la vida acuática. Cuando las aguas tienen alcalinidades inferiores se vuelven muy sensibles a la contaminación, ya que no tienen capacidad para oponerse a las modificaciones que generen disminuciones del pH (Goyenola, 2007).

- **pH**

Los valores de pH miden la intensidad de la acidez y la alcalinidad del agua. La escala del pH de las aguas naturales está entre 6,0 y 8,5. Si un agua tiene pH 7, está en el punto medio de la escala y se considera que tiene un pH neutro. El valor del pH tiene importancia en los procesos de tratamiento como la cloración, la coagulación, el ablandamiento y el control de la corrosión (Aurazo, 2004).

- **Turbiedad**

La turbiedad del agua se origina en la presencia de partículas insolubles de arcilla, limo, materia mineral, partículas orgánicas de diferente origen, plancton y otros organismos microscópicos que impiden el paso de la luz a través del agua. Una turbiedad mayor de 5 UNT es perceptible para el consumidor y proporciona una guía

para la producción de agua aceptable para el consumo humano (Aurazo, 2004).

- **DBO₅**

Es una prueba analítica que permite determinar el contenido de materia orgánica biodegradable en una muestra de aguas residuales midiendo el consumo de oxígeno por una población microbiana heterogénea (durante 5 días generalmente), a una temperatura de incubación de 20 °C y en presencia de nutrientes. La importancia de esta prueba radica en que es un parámetro ambiental que da una medida del grado de contaminación. Se utiliza para el cobro de la tasa retributiva.

Medida en el afluente y efluente del reactor permite calcular la remoción del mismo (Caicedo, 2006).

La demanda bioquímica de oxígeno se usa como medida de oxígeno requerida para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra y como resultado de la acción de oxidación bioquímica anaerobia. La demanda de oxígeno de las aguas residuales es resultado de 3 tipos de materiales.

Materiales orgánicos carbónicos, utilizables como fuente de alimentación por organismos aeróbicos. Nitrógeno oxidable, derivado de la presencia de nitritos, amoníaco y en general compuestos orgánicos nitrogenados que sirven como alimentación para bacterias específicas. Compuestos químicos reductores, (iones ferrosos, sulfitos sulfuros) que se oxidan por oxígeno disuelto (Morillo y Fajardo, 2005).

- **DQO**

La Demanda Química de Oxígeno conocida por sus iniciales como “DQO”, es una medida del oxígeno requerido para oxidar todos los compuestos presentes en el agua, tanto orgánicos como inorgánicos, por medio de la acción de agentes fuertemente oxidantes en un

medio ácido y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O₂/L). La materia orgánica se oxida hasta dióxido de carbono y agua, mientras el nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco.

La DQO permite hacer estimaciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que a su vez es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en el proceso biológico de degradación de la materia orgánica en el agua; el término degradable puede interpretarse como expresión de la materia orgánica que puede servir de alimento a las bacterias; a mayor DBO, mayor grado de contaminación.

El método de medición utilizado para la determinación de este indicador, es la digestión de una muestra con dicromato de potasio en medio fuertemente ácido, en presencia de un catalizador y posterior titulación del exceso de oxidante con un agente reductor o medición espectrofotométrica de la intensidad del color remanente del dicromato de potasio (Ruiz et al, 2006).

- **Ácidos Grasos Volátiles (AGV)**

Son la mayoría de los productos intermedios de la digestión anaeróbica del material degradable a metano: ácidos acético, propiónico, butírico y valérico. Se mide en mg Ac. Acético/L. La concentración de AGV en el efluente debe ser muy baja y debe mantenerse en estos niveles ya que los incrementos de éstos por encima de la capacidad buffer del sistema tienen un efecto inhibitorio de los compuestos intermedios que se produce en función de su grado de ionización.

La actividad metanogénica está, así mismo, relacionada con la capacidad de tiempo que el lodo tiene para adaptarse a los AGV del sustrato usado. Los AGV son degradados por bacterias acetogénicas hasta ácido acético, que constituye el mayor sustrato de las bacterias metanogénicas (Caicedo, 2006)

- **Sólidos**

La materia suspendida o disuelta que se encuentra en un agua residual recibe el nombre de sólidos. Se divide en tres categorías:

Sólidos Totales: sedimentables, suspendidos y disueltos.

Sólidos Suspendidos: porción retenida por el papel filtro de 1,3 μm de tamaño de poro.

Sólidos Disueltos: porción que pasa por el papel filtro de 1,3 μm de tamaño de poro.

Estos a su vez se dividen en fijos (quedan después de la ignición de la muestra) y volátiles (pérdida de peso de la muestra durante la ignición). La determinación de los sólidos es una prueba indispensable para la operación de reactores biológicos, que junto con otros parámetros, proporciona información de la eficiencia de remoción del proceso, e indirectamente, de la concentración de biomasa bacteriana en el reactor.

Los sólidos suspendidos volátiles (SSV) representan la porción orgánica de los sólidos suspendidos totales (SST); estos últimos representan el parámetro ambiental para el cobro de tasa retributiva (Caicedo, 2006).

2.4.2.2 COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN.

Esta fase constituye la base primordial de todo proceso de tratamiento integral, sin una floculación efectiva el resto del proceso se vera mermado en su eficiencia, lo que obliga a una cuidadosa atención de esta fase. La floculación inmediata a una coagulación química del agua tiene por objetivo la remoción de:

- Turbiedad orgánica e inorgánica
- Color real y aparente
- Bacteria y otros patógenos
- Algas y otros organismos platónicos
- Sustancias productora de olores y sabores (Universidad de Oriente, 2000).

Ambos procesos se pueden resumir como una etapa en la cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamadas flócs tal que su peso específico supere a la del agua y puedan precipitar.

La coagulación se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas.

La floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas hagan contacto. Esto implica la formación de puentes químicos entre partículas de modo que se forme una malla de coágulos, la cual sería tridimensional y porosa. Así se formaría, mediante el crecimiento de partículas coaguladas, un flóc suficientemente grande y pesado como para sedimentar.

El término coágulo se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, originando productos insolubles. La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo (Universidad de Chile, 2010).

2.4.2.3.1 MODELOS TEÓRICOS DE LA COAGULACIÓN Y DE LA FLOCULACIÓN.

Existen dos modelos de la coagulación. El modelo físico o de la doble capa, basado en fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión. El otro modelo es químico, llamado “puente químico”, que relaciona una dependencia entre el coagulante y la superficie de los coloides.

Para la coagulación existen también dos modelos. El primero es llamado ortocinético, el cual es promovido por agitación externa principalmente. Influyen partículas de tamaño superior al micrón y tiene relación con los gradientes de velocidad del líquido.

El segundo modelo se llama pericinéutico y se diferencia del primero en que su fuente de agitación es interna. Principalmente importarán el movimiento

browniano y la sedimentación. Su efecto es principalmente sobre partículas de tamaño inferior a 1 micrón.

- **Modelo Químico de la Coagulación.**

La carga de las partículas coloidales se produce por la ionización de grupos hidroxilo, carboxilos, fosfatos o sulfatos, los cuales pueden estar presentes en la superficie de los coloides. Estos grupos reaccionan con los iones metálicos de los coagulantes lo que genera la posterior precipitación. Así la desestabilización de los sistemas coloidales se ve mejor bajo el punto de vista químico. Se presenta a continuación la teoría del puente químico formulada por La Mer: Esta teoría supone una molécula polimérica unida a la superficie del coloide en uno o más sitios mientras el resto de los sitios de adsorción están vacantes los que pueden ser ocupados por otros coloides generando así un puente químico. Esto genera un aumento de tamaño y consiguiente precipitación.

2.4.2.4 FLOCULACIÓN.

La floculación es el proceso mediante el cual las moléculas ya desestabilizadas entran en contacto, agrandando los flócs de modo de facilitar la precipitación. La floculación puede presentarse mediante dos mecanismos: floculación ortocinética y pericinética, según sea el tamaño de las partículas desestabilizadas (en general todas las partículas se ven afectadas por ambos mecanismos). Las partículas pequeñas (<1µm) están sometidas a floculación pericinética, motivada por el movimiento browniano, mientras que las que presentan un tamaño mayor, están afectadas principalmente por el gradiente de velocidad del líquido, predominando en ella la floculación ortocinética (Universidad de Chile, 2010)..

2.5 HIPÓTESIS

2.5.1 Hipótesis de investigación (Hi): La planta de tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario Ambato (RSA) permitirá un alto grado de depuración de los lixiviados producidos.

2.5.2 Hipótesis Estadística

2.5.2.1 Hipótesis Nula (Ho): No existe diferencia significativa entre las características físico – químicas del lixiviado crudo y el lixiviado de descarga.

2.5.2.2 Hipótesis alternativa (Ha): Existe diferencia significativa entre las características físico – químicas del lixiviado crudo y el lixiviado de descarga.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

- Las variables independientes de la investigación son: La estructura, implementación de la planta de tratamiento de lixiviados y su funcionamiento.
- Las variables dependientes del presente proyecto son: Disminución de la contaminación contenida en los lixiviados referida a los correspondientes parámetros de evaluación (análisis físico – químicos).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

La investigación será cuantitativa, ya que se realizarán ensayos respecto a parámetros físico-químicos como Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), metales pesados, sólidos, etc; y cualitativa, puesto que los resultados de la presente investigación serán conocidos por todos quienes se encuentran involucrados en el trabajo y en general por quienes se interesen por el tratamiento de efluentes.

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

Las modalidades que se emplearon en la presente investigación son las siguientes:

- Bibliográfica – documental: se revisaron diversos trabajos y artículos relacionados al tema de investigación, como reactores UASB, Plantas de tratamiento, parámetros físico químicos, etc.
- De campo: El trabajo se realizó en el relleno sanitario Ambato – Planta de Tratamiento de lixiviados.
- Experimental: Se realizó pruebas para la determinación de la dosis de coagulante a utilizar. Además, se analizaron resultados de los ensayos respecto a datos físico-químicos

3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación utilizó los siguientes tipos de investigación:

- **Investigación Exploratoria:** Porque permitió analizar detalladamente el problema de la contaminación ambiental (recurso agua) provocada por los lixiviados no tratados del Relleno Sanitario Ambato, y facilitó el análisis de los resultados.
- **Investigación Descriptiva:** Ya que permitió realizar las actividades operativas de los procesos de depuración, y por medio del método de análisis, caracterizar los lixiviados producidos, los cuales generan contaminación ambiental.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

Universo: Relleno Sanitario Ambato, Planta de tratamiento de lixiviados.

Muestras:

- Lixiviados de ingreso a la planta
- Lixiviados en el reactor UASB a diferentes alturas (6 alturas).
- Lixiviado a la salida del biofiltro
- Lixiviados a la salida del clarificador (Descarga)
- Volumen de biogás (UASB)

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.5.1 OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE: ESTRUCTURACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA PTL.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS INSTRUMENTOS
<p>Conjunto de procedimientos realizados para estructurar, implementar y poner en marcha sistemas de tratamiento de efluentes. Tal proceso es lento y requiere de largos periodos de tiempo para observar resultados positivos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuración • Implementación • Puesta en marcha 	<p>El conocimiento de la estructura de la planta es importante para su implementación y puesta en marcha</p> <p>La planta requiere la implantación de accesorios y sistemas alternativos para mejorar el proceso.</p> <p>Cada etapa del proceso de depuración requiere de su puesta en marcha para el adecuado tratamiento de los lixiviados.</p>	<p>¿Por qué?</p> <p>¿Para qué?</p> <p>¿Cómo?</p>	<p>Observación directa</p> <p>Ensamblaje</p> <p>Aplicación de conocimientos</p>

**3.5.2 OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE:
DISMINUCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN REFERIDA A LOS
CORRESPONDIENTES PARÁMETROS DE EVALUACIÓN.**

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍTEMES BÁSICOS	TÉCNICAS INSTRUMENTOS
Reducción de los niveles de alteración nociva de una cosa o un medio, que se han provocado por agentes químicos o físicos.	<ul style="list-style-type: none"> Alteración 	El nivel de contaminación a través de la concentración de contaminantes (ppm).	¿Cómo?	Análisis lixiviados crudo y comparación con normas ambientales (TULAS).
	<ul style="list-style-type: none"> Parámetros físico químicos. 	Concentración de los parámetros físico químicos de los lixiviados. (ppm)	¿Cómo?	Aplicación de metodologías aprobadas respecto al análisis de los distintos parámetros físico químicos como DBO, DQO, pH, etc.

3.6 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Las técnicas utilizadas para la recolección de la información fueron la observación directa puesto que se estuvo en contacto con el objeto de estudio en escenarios y ambientes debidamente preparados para realizar la investigación que condujo a la comprobación de las hipótesis planteadas; y, se utilizó los análisis físico –químicos de los lixiviados en las diferentes etapas de depuración de la Planta de Tratamiento de Lixiviados (PTL).

El instrumento de recolección de información que se utilizó fue los resultados de los análisis físico – químicos de los lixiviados en las diferentes etapas de depuración, lo que permitió su comparación.

3.7. PLAN PARA PROCESAR LA INFORMACIÓN

El procesamiento de datos se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Análisis crítico de los valores físico – químicos obtenidos del lixiviado crudo y en cada etapa del proceso depurativo.
- Verificación de información errónea
- Determinación de la influencia de los lixiviados en la contaminación del recurso agua mediante comparación (graficas estadísticas), de los resultados de los análisis físicos – químicos del lixiviado crudo con los niveles máximos permitidos para la descarga al recurso agua (TULAS).
Luego de la puesta en marcha de la PTL, se realizaron comparaciones (graficas estadísticas) de los resultados de los análisis físico – químicos de cada etapa de depuración (Descomposición Anaerobia en reactor UASB, descomposición Aerobia en Biofiltro Percolador y clarificación), con los datos del Lixiviado crudo, lo que permitió comprobar la disminución de la carga contaminante de los lixiviados hacia la descarga en el recurso agua.
- Se realizó un análisis estadístico t de Student (Análisis para dos muestras con varianzas desiguales) a cada uno de los parámetros físico – químicos del lixiviado crudo y lixiviado a la salida del clarificador

(descarga), para verificar si existe diferencia significativa entre sí y aceptar o rechazar la hipótesis nula.

- **Interpretación de datos**

Se utilizaron para el procesamiento de la información programas computarizados tales como: Microsoft Office Word 2010 y Microsoft Excel 2010.

3.8. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.8.1. Análisis Físico – Químicos.

3.8.1.1 Determinación de Cloruros

El cloruro en forma de ión (Cl^-), es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual. En el agua potable, el sabor salado producido por el cloruro, es variable y depende de la composición química del agua. Algunas, con 250 mg Cl^- /L pueden tener un sabor salado detectable si el catión es el sodio. En cambio, ese gusto salado típico puede estar ausente en aguas con hasta 1000 mg/L cuando los cationes predominantes son el calcio y el magnesio.

La concentración de cloruro es mayor en las aguas residuales que en las naturales, debido a que el cloruro de sodio (NaCl) es común en la dieta y pasa inalterado a través del aparato digestivo. A lo largo de las costas, el cloruro puede estar presente a concentraciones altas por el paso del agua del mar a los sistemas de alcantarillado. También puede aumentar debido a los procesos industriales. Un contenido elevado de cloruro puede dañar las conducciones y estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal.

Se presentan 5 métodos para determinación de cloruros. Como los dos primeros son similares en muchos aspectos, la selección está en función de las preferencias personales en gran medida. El método argentométrico (4500- Cl^- -B) es adecuado para aguas relativamente claras, cuando la porción titulada contenga de 0,15 a 10 mg de Cl^- . El punto final en el método del nitrato mercúrico (4500- Cl^- -C) es más fácil de detectar. El método potencio métrico

(4500-Cl- D) es adecuado para muestras turbias o coloreadas cuando el punto final podría ser difícilmente observable. El método potenciométrico se puede utilizar sin necesidad del paso de tratamiento previo para muestras que contengan iones férricos (si no está presente en una cantidad superior a la concentración de cloruro), crómico, fosfato y ferroso, y otros iones de metales pesados.

El método del ferrocianuro (4500-Cl- E) es una técnica automática. Este último método es aplicable a aguas potables, superficiales y salinas y a las residuales domésticas e industriales. Se puede variar la gama de concentraciones utilizando los controles del colorímetro. La cromatografía iónica (4500-Cl- F) también se puede usar para determinar los cloruros. (Distintos métodos de análisis, varios autores, 2011)

3.8.1.2 Determinación de Sulfatos

Pueden presentarse en aguas naturales en concentraciones que van desde unos pocos a varios miles de mg/L. Los residuos del drenado de minas pueden aportar grandes cantidades de SO_4 debido a la oxidación de la pirita. Los sulfatos de sodio y magnesio ejercen una acción catalítica.

El método cromatográfico de iones (4500- SO_4 B) es adecuado para concentraciones superiores a 0,1 mg/L. Los métodos gravimétricos (método gravimétrico con combustión de residuos, 4500- SO_4 C, y método gravimétrico con secado de residuos, 4500- SO_4 C) lo son para concentraciones superiores a 10 mg/L; utilícese uno de estos métodos para conseguir resultados precisos. El método turbidimétrico (4500- SO_4 E) es aplicable a un rango de 1 a 40 mg SO_4 /L.

El método automatizado de azul de metiltimol (4500- SO_4 F) es el método de análisis de gran número de muestras de sulfato sólo cuando se dispone del equipo, y se pueden analizar unas 30 muestras por hora. Este método es aplicable a aguas potables, superficiales y salinas, así como a las residuales domésticas e industriales, en un rango que va desde 10 a 300 mg SO_4 (Fernández, et.al, 2011).

3.8.1.3 Determinación de pH

- **Principio del proceso**

Se basa en la capacidad de respuesta del electrodo de vidrio ante soluciones de diferente actividad de iones H⁺. La fuerza electromotriz producida en el electrodo de vidrio varía linealmente con el pH del medio.

Se debe tener en cuenta la temperatura de la muestra ya que esta fuerza electromotriz afecta al valor del pH.

- **Procedimiento**

- En el caso de que la conductividad de la muestra sea muy elevada, habrá que diluirla hasta que la medida entre en la escala del equipo.
- Se introduce la célula de conductividad en la muestra y se espera hasta que la lectura se estabilice (pocos segundos).
- Si se utiliza un conductímetro de lectura digital, la medida directa de la conductividad de la muestra aparece en la pantalla. Es recomendable utilizar equipos que tengan compensación de temperatura, en el caso contrario habría que efectuar dicha compensación manualmente (Fernández, et.al, 2011).

3.8.1.4 Determinación de sólidos totales en suspensión

- **Principio del proceso**

Se filtra una muestra previamente homogeneizada, mediante un filtro estándar de fibra de vidrio (Whatman 934-AH; tamaño de retención de partículas de 1.5 µm), previamente tarado en seco. El residuo retenido en el mismo se seca a peso constante a 103 - 105° C. El aumento de peso de filtro representa los sólidos totales en suspensión.

- **Procedimiento**

- Se llena un cono de Imhoff con la muestra bien homogeneizada, hasta la marca de 1 litro.
- Se deja sedimentar durante 45 minutos, removiendo a continuación suavemente las paredes del cono con una varilla o mediante rotación.
- Se mantiene en reposo durante 15 minutos más.
- Se registra el volumen de sólidos sedimentados en la parte inferior del cono. La determinación se expresa en mililitros de partículas sedimentadas por litro de muestra (Fernández, et.al, 2011).

3.8.1.5 Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en aguas residuales (DQO)

- **Fundamento**

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, que son oxidables en condiciones operatorias definidas. La medida corresponde a una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, ya sea su origen orgánico o inorgánico.

La determinación de DQO debe realizarse rápidamente después de la toma de muestras, para evitar la oxidación natural. En caso contrario, la muestra podría conservarse un cierto tiempo si se acidifica con ácido sulfúrico hasta $\text{pH} = 2-3$. Sin embargo, esta opción deja de ser fiable en presencia de cloruros.

- **Procedimiento**

- Se enciende la placa calefactora.
- Se pesan 0,44 g de HgSO_4 en matraz para reflujo de 100 ml. La cantidad propuesta de HgSO_4 es suficiente en la mayoría de los

casos, para eliminar las posibles interferencias por Cl^- en la muestra.

- Se colocan unas bolitas de vidrio en el matraz para favorecer la ebullición.
- Se añaden 20 ml de muestra.
- Se añaden lentamente 30 ml de la solución de sulfato de plata en ácido sulfúrico, con una pipeta de vertido, mezclando bien para disolver el HgSO_4 , y enfriar.
- Se añaden 12,5 ml de solución de dicromato potásico 0,25 N y se mezclan bien todos los productos añadidos.
- Sobre el matraz se dispone el elemento refrigerante (condensador del reflujo), y se somete a reflujo durante 2 horas.
- El conjunto se deja enfriar; el condensador del reflujo se lava con agua destilada, y después se separa el matraz del refrigerante.
- La muestra oxidada se diluye hasta 75 ml con agua destilada y se deja enfriar hasta temperatura ambiente.
- Se añaden unas 5 gotas del indicador ferroína. Se procede a valorar el exceso de dicromato con la sal de Mohr.
- El punto final de análisis se toma cuando el color varía bruscamente de azul verdoso a pardo rojizo.
- Este método resulta eficaz para muestras que tengan una DQO entre 50 y 800 mg/l. Para niveles superiores diluir el agua problema y para contenidos menores aplicar otro método (Fernández, et.al, 2011).

3.8.1.6 Determinación de Demanda Biológica de Oxígeno en aguas residuales (DBO₅)

- **Fundamento**

Esta prueba determina los requerimientos relativos de oxígeno de aguas residuales, efluentes y aguas contaminadas, para su degradación biológica. Expresa el grado de contaminación de un agua residual por materia orgánica degradable por oxidación biológica.

- **Procedimiento**

- Se introduce una varilla agitadora (imán) en el interior del biómetro.
- Se añade el inhibidor de la nitrificación en una proporción equivalente a 20 gotas de la disolución de allitiourea por litro de muestra.
- Se ponen dos perlitas de NaOH en la cápsula diseñada a tal efecto.
- Se añade un volumen de muestra determinado en el biómetro. El volumen a utilizar depende del rango de DBO esperado, y está especificado en las instrucciones de uso del biómetro.
- Se coloca la cápsula conteniendo NaOH (hidróxido de sodio) sobre la parte superior del biómetro, una vez que la muestra esté estable y no se observen burbujas de aire.
- Se cierra el biómetro con el correspondiente tapón-registrador, y se pone la lectura a cero.
- Se introduce el biómetro en cámara a 25°C y se enciende el agitador magnético. Se mantiene agitación suave constante durante todo el ensayo.
- Se realiza la lectura a los cinco días, siguiendo el procedimiento de lectura de la casa fabricante del biómetro. La DBO₅ final del agua analizada, expresada en mg de O₂ por litro de muestra, será

la lectura obtenida en el biómetro multiplicada por el factor de dilución del ensayo. La correspondencia: factor de dilución a volumen de muestra introducido en el biómetro se indica en las instrucciones de uso del biómetro (Fernández, et.al, 2011).

3.8.1.7 Determinación de Sólidos totales (2540 B).

- **Principio**

Se evapora una muestra correctamente mezclada en una placa pesada y secada a peso constante en un horno a 103-105 °C. El aumento de peso sobre el de la placa vacía representa los sólidos totales. Es posible que en muestras de aguas residuales los resultados no representen el peso real de los sólidos disueltos y suspendidos.

- **Interferencias**

El agua fuertemente mineralizada con una concentración significativa de calcio, magnesio, cloruro i/o sulfato puede ser higroscópica y requerir un secado prolongado, una desecación adecuada y un pesado rápido. Elimínesse las partículas gruesas flotables o los aglomerados sumergidos de materiales no homogéneos si se decide que su inclusión no es deseable en el resultado final. Dispérsese con un mezclador la grasa y el aceite flotantes antes de separar una porción de muestra para análisis. Puesto que un residuo excesivo en la placa puede formar una costra hidrófila, límitese el tamaño de la muestra para que proporcione un residuo no mayor de 200 mg. (Distintos métodos de análisis según varios autores, 2011).

3.8.1.8 Determinación de Sólidos totales en suspensión (Método 2540 D)

- **Principio**

Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio, y el residuo retenido en el mismo se seca a un peso constante a

103-105°C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión. Si este material obtura el filtro y prolonga la operación de filtrado, la diferencia entre el total de sólidos y el total de sólidos disueltos puede proporcionar un cálculo aproximado de los sólidos totales en suspensión.

- **Interferencias**

Elimínese de la muestra las partículas gruesas flotables o los aglomerados sumergidos de materiales no homogéneos, si se decide que su inclusión no es deseable en el resultado final.

Puesto que un residuo excesivo sobre el filtro puede formar una costra hidrófila, límitese el tamaño de la muestra para que proporcione un residuo no mayor de 200 mg. Para las muestras ricas en sólidos disueltos, lávese meticulosamente el filtro para asegurar la eliminación del material disuelto. Los tiempos de filtración prolongados, consecuencia de la obturación del filtro, pueden originar resultados altos debido a una cantidad excesiva de sólidos capturados en el filtro obturado (Distintos métodos de análisis según varios autores, 2011).

3.8.1.9 Determinación de Nitrógeno Total

- **Principio del proceso**

El principio del procedimiento que se describe a continuación (análisis elemental), se basa en una combustión inmediata de la muestra, que finalmente resulta en la liberación de todo el nitrógeno contenido en la muestra (N orgánico e inorgánico) en forma de nitrógeno gaseoso. El nitrógeno gaseoso se separa de otros compuestos gaseosos por cromatografía de gases, para procederse a su cuantificación

- **Procedimiento**

- La muestra se acidula previamente a pH 3.
- La determinación se debe efectuar con varias repeticiones por muestra (se aconsejan cuatro repeticiones).
- Se introduce una alícuota de 0,7 ml en una cápsula de estaño apropiada para análisis elemental.

- Las cápsulas se llevan al dispositivo automático de muestreo del analizador elemental.
- Se procede al ensayo de análisis elemental y determinación automática del contenido en nitrógeno de la muestra, vía electrónica en un ordenador preparado a tal efecto (Fernández, et.al, 2011).

3.8.1.10 Determinación de fósforo total.

• Principio del proceso

El fósforo puede encontrarse en las aguas residuales disuelto o en partículas, ya sea en compuestos orgánicos o inorgánicos. Para liberar el fósforo que está combinado en la materia orgánica, es preciso someter la muestra de agua a un proceso de digestión ácida. Tras la digestión, el fósforo está en forma de ortofosfatos, que se determinan por métodos colorimétricos.

• Procedimiento

- Se introduce 50 ml de muestra homogeneizada en un matraz Erlenmeyer de 125 ml.
- Se añade 1 ml de la solución de ácido sulfúrico.
- Se añade 0,4 g de persulfato amónico.
- Se lleva a ebullición, y se mantiene regularmente durante unos 45 minutos hasta tener un volumen final aproximado de 10 ml.
- Se deja enfriar, y se añaden unos 10 ml de agua destilada y unas gotas del indicador fenolftaleína.
- Se añade NaOH 1N hasta el viraje a coloración rosa de la fenolftaleína; la mezcla se decolora después añadiendo una gota de una disolución diluida de ácido sulfúrico.
- Se lleva a 50 ml con agua destilada.

- Se procede a la determinación de fósforo (ortofosfatos) siguiendo el método colorimétrico del vanadato-molibdato amónico. Las muestras digeridas deben diluirse convenientemente para que la concentración de fósforo final esté dentro del rango del método analítico (Fernández, et.al, 2011).

3.8.1.11 Determinación de Aluminio

- El agua filtrada en una moderna instalación de filtración rápida con arena no tendrá una concentración de aluminio inferior a 50 µg/L.
- Los métodos espectrométrico de absorción atómica, EAA horno de grafito (electrotérmica) (LD=3µg/L; margen=20-200 µg/L) y de llama (3500-AI B) (LD=0,1 mg/L; margen=5-100 mg/L) y de plasma de acoplamiento inductivo PAI, (3500-AI C) (LD=40 µg/L; LS=100 mg/L) están exentos de interferencias tan corrientes como fluoruro y fosfato y son los preferidos.
- El método colorimétrico de eriocromo cianina R (3500-AI D) es una forma de determinación de aluminio con instrumentación más sencilla. El método automatizado de violeta de pirocatecol (3500-AI E) constituye una técnica de análisis de gran sensibilidad con inyección de flujo o flujo continuo (Méndez, et. al, 2004).

3.8.1.12 Determinación de Cadmio

- Una concentración de 200 µg/L es tóxica para ciertos peces.
- Se prefiere el método EAA electrotérmico (horno de grafito) (3500-Cd B) (LD=0,1 µg/L; margen=0,5-10 µg/L). Los métodos de EAA de llama (LD=0,002 mg/L; margen=0,05-2 mg/L) y de PAI (3500-Cd C) (LD=4µg/L; LS=50 mg/L). El método de la di tizona (3500-Cd D) es adecuado cuando no se dispone de instrumental para la EAA o para el PAI y la precisión buscada no es tan grande.

- Métodos propuestos por la EPA, [5]: Inductively Coupled Plasma, ICP - Atomic Emission Spectrometry (200.7)
- Inductively Coupled Plasma, ICP – Mass Spectrometry (200.8)
- Stabilized Temperature Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (200.9)
- Ultrasonic Nebulization ICP- Atomic Emission Spectrometry (200.15) (Méndez, et. al, 2004).

3.8.1.13 Determinación de mercurio

- El método del EAA de vapor frío (3500-Hg B) es el seleccionado para todas las muestras, aunque el método de ditizona (3500-Hg C) (LD=2 µg/L) es útil para determinar niveles elevados de mercurio (> 2µg/L) en aguas potables.
- Conservación de las muestras: Como el mercurio de las muestras puede perderse con facilidad, es necesario tratarlas con HNO₃ para reducir el pH a < 2.
- Métodos propuestos por la EPA, [5]:
 - Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry, AAS (245.1)
 - Inductively Coupled Plasma, ICP – Mass Spectrometry (200.8)
 - Ultrasonic Nebulization ICP- Atomic Emission Spectrometry (200.15) (Méndez, et. al, 2004).

3.8.2. MATERIALES Y REACTIVOS.

3.8.2.1. Para medición de Temperatura y pHs del lixiviado

- Equipo de protección personal (Investigador) (Mandil, mascarilla de 2 cartuchos contra vapores orgánicos y ácidos marca 3M, gafas marca 3M, guantes de caucho)
- Jarra plástica para muestreo de 500 ml
- Envase plástico de 1 galón.
- Agua destilada
- Alcohol al 70% para desinfección.
- Papel indicador de pH MACHEREY-NAGEL
- Termómetro de Mercurio de -10°C a 110°C.

3.8.2.2 Para Arranque reactor UASB

- 400 Kg de rumen fresco de ganado del camal municipal Ambato.
- 300 lt de efluente del camal municipal Ambato.
- Tanques contenedores de 200lt
- Fundas plásticas
- Equipo de protección personal (Investigador)

3.8.2.3 Para Arranque Biofiltro Percolador (BFP)

- 150 lt de efluente del camal municipal Ambato.
- Tanque contenedor de 200 lt
- Compresor de aire
- Manguera de 3 m
- Balde de 12 lt.
- Tubería PVC agujereada de 110 mm

3.8.2.4 Para Clarificación

A. Prueba de jarras

- Equipo de jarras *PHIPPS & BIRD™*
- Turbidímetro *Hach 2100 N*
- pH-metro *Hach*
- Lixiviado del reactor UASB
- Cloruro férrico (FeCl_3)
- Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)

B. Etapa de Clarificación

- Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)
- Agua
- Bomba dosificadora de membranas marca *GRUNDFOS*, X *DME* series, cap. Max: 7.5 l/h.
- Motor agitador *General Electric*, 200 rpm.

3.9. METODOLOGÍA

3.9.1. DETERMINACIÓN DE LA ESTRUCTURA E IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS (PTL) DEL RELLENO SANITARIO AMBATO (RSA).

- a) Primeramente se observó los componentes de la planta de tratamiento y las funciones de cada uno.
- b) Diariamente se realizó la operación de la planta en base al manual de la misma realizada por el diseñador de la PTL.
- c) Se tomó información descrita en el Manual de operación de la planta realizada por el diseñador de la PTL.
- d) Se recopilaron los planos generales y específicos existentes (Anexo B, Diagramas 1 y 2).
- e) Se verificaron las dimensiones especificadas en manuales y planos, las que coinciden perfectamente.
- f) Se tomaron los siguientes datos:
 - Diagrama general de la planta (Anexo B, Diagrama 1)
 - Materiales utilizados en la construcción: Hormigón, ladrillo, cemento, tubería PVC, arena, granillo, bombas, válvulas.
 - Dimensiones de la planta
 - Dimensiones del reactor UASB, del clarificador y del biofiltro
 - Volumen clorador

3.9.2 PRUEBAS OPERATIVAS Y PROCESOS DE RUTINA PARA LA DEPURACIÓN DE LOS LIXIVIADOS

- a) Luego del arranque de cada etapa de la depuración de los lixiviados del RSA, se efectuaron las pruebas operativas sobre el funcionamiento de cada fase y constantemente se supervisó el flujo de lixiviado por cada una. También se supervisó diariamente el correcto funcionamiento de todos los sistemas de la planta.
- b) Diariamente se realizó los análisis elementales de los parámetros pH y temperatura, de los lixiviados. Además se tomaron en cuenta los valores de caudal y volumen de biogás (Anexo A, Tablas 2, 3 y 4). Los datos fueron determinados in situ, inmediatamente de haber recolectado la muestra, tomando en cuenta las medidas de seguridad industrial como son el uso de mandil, mascarillas, guantes, gafas.
- El pH se determinó utilizando tiras de papel indicador de pH.
 - La temperatura se midió utilizando un termómetro de mercurio de -10°C a 110°C.
 - El caudal (promedio diario) se midió a través del medidor de caudal instalado a la salida del clarificador. El caudal corresponde al del lixiviado que ingresa a la PTL.
 - El volumen de biogás producido en el UASB (promedio diario) se determinó con la ayuda del medidor de volumen de gas instalado antes del quemador de biogás.
 - Las muestras para la medición de pHs y temperaturas se recolectaron en los siguientes puntos: Al ingreso (lixiviado crudo), interior del reactor UASB y a la salida del tanque clarificador.
- c) Luego de transcurrido entre 30 a 60 días de su puesta en marcha, dependiendo la etapa de depuración, se tomaron muestras de lixiviado que fueron enviadas a los laboratorios CICAM - EPN para un análisis físico químico completo. Entre los parámetros analizados constan: DBO, DQO, alcalinidad, sólidos totales disueltos, Aluminio, Cloruros, Conductividad, Fenoles, Fosfatos, Mercurio, Nitrógeno orgánico, sólidos suspendidos, sulfatos, tenso activos, etc (Anexo A, Tablas 5, 6, 7 y 8).

A. PROCESO DE ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO MANTO DE LODOS DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)

El reactor construido en la planta es del tipo UASB (reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente), el cual en su etapa inicial requiere de la puesta en marcha de la parte biológica, es decir, es necesario la introducción de la carga bacteriana que se encargará de la descomposición anaerobia (sin presencia de oxígeno) de la materia orgánica contenida en el lixiviado crudo.

A más de eso, para conseguir la mayor eficiencia del UASB, es necesario dotar de temperatura (superior a 30°C) a las bacterias para su mayor desempeño metabólico.

A continuación se describen los trabajos realizados en base a conocimientos técnicos y científicos para el arranque del reactor UASB (Anexo B, Diagrama 3):

1. Para iniciar, en noviembre de 2009 se recolectó en el camal municipal de Ambato (Parque Industrial) 4 tanques de rumen de ganado (Anexo C, Imagen 16), aproximadamente 400 kg, el cual se introdujo por la parte superior del reactor mediante empuje por las tuberías de entrada de lixiviado (Anexo C, Imagen 18). Se utilizó el rumen debido a su contenido de microorganismos metanogénicos, necesarios para propiciar la descomposición anaerobia de la materia orgánica y el consecuente incremento de la temperatura y producción de biogás.
2. En días posteriores, el rumen que por la formación de biogás trataba de salir por las mismas tuberías de ingreso en la parte superior del UASB, se lo empujó nuevamente hacia el interior del digestor, hasta que finalmente no se notó su presencia.
3. El 2 de diciembre 2009, nuevamente se recolectaron del camal municipal aproximadamente 450 lt de efluente (Anexo C, Imagen 17), de los cuales 300 lt fueron introducidos en el reactor para incrementar la carga bacteriana del mismo, además de materia orgánica para consumo de los microorganismos. El resto del efluente, aproximadamente 150 lt, se mantuvo en un tanque dotándole de oxígeno mediante un compresor

durante 10 días para impulsar el crecimiento de microorganismos aerobios (Anexo C, Imagen 21) y utilizarlos para el arranque del biofiltro, para la descomposición aerobia de la materia orgánica.

4. Además, durante esta etapa se mantuvo un sistema de calentamiento provisional (Anexo C, Imagen 19), compuesto por un calefón a base de gas de cocina, el que permitía la circulación de agua caliente en el interior del UASB mediante bombeo a través de una tubería de hierro galvanizado. Este sistema dio buenos resultados, ya que las temperaturas registradas eran superiores a 28°C. Este sistema de calentamiento se mantuvo funcionando hasta finales del mes de enero 2010.

5. Finalmente, para comprobar los resultados de los trabajos realizados en la etapa de arranque del UASB, el 5 de enero de 2010, se recolectó una muestra compuesta del reactor UASB, es decir se tomaron muestras de todas las alturas del reactor. Se tomó un volumen de 4 litros, la cual se colocó en un envase plástico y se lo cubrió con una funda negra que inmediatamente fue conducida hacia la ciudad de Quito para su análisis en los laboratorios CICAM de la Escuela Politécnica Nacional (EPN).

B. PROCESO DE ARRANQUE DEL BIOFILTRO PERCOLADOR BFP

A continuación se describen los pasos realizados para el arranque del Biofiltro Percolador (Anexo B, Diagrama 4):

1. Como se mencionó anteriormente, se recolectó el efluente del camal, y una parte de este volumen, aproximadamente 150 lt se mantuvo en un tanque dotándole de oxígeno mediante un compresor durante 10 días (Anexo C, Imagen 21), para impulsar el crecimiento de microorganismos aerobios y utilizarlos para la descomposición de la materia orgánica en el biofiltro.
2. Inmediatamente, se volvió a recolectar aproximadamente 300 lt de efluente del camal, parte de este volumen se colocó en el reactor y otra en un tanque para oxigenación. Otro volumen del efluente se roció directamente sobre el biofiltro.
3. Finalmente, se empezó a recircular el efluente del camal directamente al biofiltro mediante una tubería provisional, desde el pozo de bombas 2 con el objetivo de permitir la formación de la película microbiana y continuar con la depuración aerobia del lixiviado. La recirculación del efluente por medio de las tuberías provisionales se mantuvo hasta los primeros días de enero 2010, luego de lo cual la recirculación se inició de manera normal por el sistema propio de la planta.
4. El 10 de Febrero de 2010, se recolecto una muestra de 4 litros de lixiviado a la salida del biofiltro, es decir en el ingreso al pozo de bombas 2, durante el bombeo que se inicia desde el pozo de bombas 1, y así se obtuvo una muestra real del proceso que se da en el biofiltro. La muestra se recolecto en un envase plástico herméticamente cerrado y fue enviado a Quito a los laboratorios CICAM (EPN), para los análisis respectivos.

C. ARRANQUE TRATAMIENTO MECÁNICO Y QUÍMICO (TANQUE DE CLARIFICACIÓN)

El tratamiento mecánico y químico consiste en el tanque de clarificación, tanque de mezcla de floculante y el proceso de floculación.

(Anexo B, Diagrama 5).

1. El 10 de diciembre de 2009, se realizó la prueba de jarras en los laboratorios de EMAPA (planta Casigana) (Anexo C, Imagen 28, 29, 30) para determinar el coagulante más apropiado para el lixiviado tratado en la planta. Se analizaron dos coagulantes: cloruro férrico (FeCl_3) y sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), y según la prueba mencionada el sulfato dio mejores resultados, por lo que sería el más apropiado para la planta.
2. En base a esta prueba se realizó el cálculo (Anexo D) de la cantidad de sulfato de aluminio a colocar en el tanque dosificador de la planta.
3. A finales del mes de diciembre 2009 se paralizó el bombeo al UASB para realizar una adaptación en la tubería de ingreso de lixiviado hacia el clarificador (Anexo C, Imagen 32 - 33), con el objeto de crear mayor turbulencia, mejorar la mezcla coagulante-lixiviado y obtener mayor clarificación.
4. Luego de realizar la dosificación con sulfato de aluminio se observó la formación de lodos en el clarificador, estos han sido bombeados hacia la piscina de lecho de lodos, dos veces por semana y por acción solar se han secado (Anexo C, Imagen 39). Una vez secos fueron transportados al relleno sanitario.
5. A principios de Marzo se recolectó una muestra de lixiviado a la salida del clarificador para el análisis de esta etapa. Al comparar los resultados de los análisis de cada etapa de depuración con los del lixiviado crudo, se da una disminución de la contaminación de entre un 60 a un 99% en algunos parámetros como DBO, DQO, Cadmio, aceites y grasas, etc.
6. Posteriormente se realizaron pruebas manuales de dosificación de coagulante dentro de la planta, utilizando un tipo de polímero (policloruro de aluminio) y sulfato de aluminio a diferentes dosis, dando mejores resultados con el primero (Anexo C, Imagen 35). Con el polímero se

dosificó a 25ml/lt; 30 ml/lt y 50 ml/lt, y obteniéndose mayor clarificación a 50 ml/lt.

7. A mediados de marzo se inició las pruebas de dosificación con cloruro férrico para la etapa de clarificación, pero se suspendió su uso por los efectos corrosivos en el tanque del coagulante.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1.1 ESTRUCTURA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS (PTL) DEL RELLENO SANITARIO AMBATO (RSA).

A. TANQUE DESARENADOR, VÁLVULA A POZO BOMBAS 1 Y VÁLVULA A BYPAS (Anexo C, Imagen 1)

- La estructura de ingreso comprende un desarenador, una rejilla, bypass, y un pozo de bombeo. La función principal de esta estructura es la retención de arenas y cualquier otro material extraño que pueda ocasionar daños a las bombas de impulsión hacia el digestor UASB.
- Se ha previsto un bypass desde la entrada hacia la conducción de la descarga a la quebrada en caso de emergencia en la planta y estar en capacidad de cerrar la descarga de todo el lixiviado al sistema de tratamiento.

B. REACTOR UASB (Anexo C, Imagen 3)

El digestor UASB (Upflow Anarobic Sludge Blanket), es un sistema de tratamiento anaeróbico. El digestor UASB comprende un tanque de hormigón que forma una unidad compacta conjuntamente con el biofiltro. En dirección de flujo, el digestor UASB se ubica primero. En este tanque se degrada la materia orgánica y se retienen sólidos en suspensión por adhesión.

El digestor tiene una forma rectangular, con una profundidad de 4,5 m, un volumen de 36 m³, con un tiempo de retención hidráulica de aproximadamente 12 horas, a una temperatura interior promedio de 20°C.

Los lixiviados son bombeados desde el pozo de bombeo ubicado en la estructura de entrada, hacia el tanque UASB. El lixiviado se descarga a un canal de reparto ubicado sobre la losa de cubierta del digestor. Se trata de una estructura para la distribución uniforme del caudal a cada tubería de conducción al fondo del digestor. Esta estructura dispone de compuertas para la regulación para cada tubería con lo que se regula el flujo para cada difusor. Son 7 tubos de PVC distribuidos uniformemente, con lo que se consigue una uniformidad de la distribución del lixiviado en el fondo del digestor y se evita zonas muertas. Estas tuberías de alimentación tienen un diámetro de 100 mm, para evitar taponamientos, el flujo está dirigido para obtener un movimiento ascendente contra el manto de lodos. En la parte superior del digestor se ha instalado un agitador para evitar la formación de espuma y costras.

En el fondo de los digestores UASB se va formando un lecho de lodos que va reteniendo los sólidos suspendidos y contaminantes contenidos en los lixiviados. La retención ocurre por adherencia o retención. En este lecho de lodos ocurren procesos anaerobios que se van ampliando a todo el tanque del digestor. Este proceso anaeróbico va descontaminando las aguas residuales y transformando los componentes orgánicos en CO_2 , CH_4 y en otros elementos. En el digestor UASB se descontaminan las aguas hasta lograr una degradación de aproximadamente un 75 %. La eficiencia de degradación depende del tiempo de retención y de la carga orgánica volumétrica que se aplique al digestor.

Al interior del digestor UASB ocurre un proceso anaeróbico de degradación de la materia orgánica que produce biogás. Este biogás es captado por medio de tuberías de acero inoxidable que conducen el biogás hacia a un sello hidráulico y a una unidad de combustión de biogás o quemador.

Después de este contacto con el lecho de lodos, las aguas ascienden a la superficie del digestor y son descargadas por gravedad hacia el biofiltro por medio de tuberías de PVC 110 mm.

El digestor UASB tiene dos desagües de fondo uno a cada lado con tubería de PVC de 200 mm con sus respectivas válvulas de control. Estos desagües conducen los lodos hacia el lecho de secado. Los lixiviados que se producen

en el lecho de secado se conducen otra vez hacia el tanque desarenador por medio de una tubería de PVC de 200 mm, para continuar con el tratamiento en el digestor UASB.

Además, el UASB dispone de 6 tuberías (Anexo C, imagen 40) ubicadas a diferentes alturas, con sus respectivas válvulas, para permitir el muestreo del lixiviado que se encuentra en su interior.

C. BIOFILTRO PERCOLADOR BFP

El biofiltro (Anexo C, Imagen 5) y el digestor UASB forman una sola estructura compacta. Se trata de un tanque de hormigón armado con una base útil de 2x3 m; y una altura de 3,1 m desde la tina donde se recoge el lixiviado, hasta el borde del medio filtrante. En dirección de flujo el BFP se encuentra después del digestor UASB.

La conducción desde el digestor UASB hasta el biofiltro (BFP) se la realiza por gravedad en la parte superior por medio de tuberías 7 tuberías de PVC de 100 mm de diámetro con una separación de 10 cm. Estas tuberías son agujeradas en el tramo que corresponde al biofiltro. Se ha previsto una pantalla deflectora que permite solamente el paso del lixiviado hasta el biofiltro. Estas tuberías descargan y percolan el lixiviado sobre un medio filtrante de PVC.

Se trata de un filtro sintético industrial de PVC, con una superficie unitaria de $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ de material, con lo que se logra una mayor eficiencia en la descomposición de la materia orgánica. Este material se denomina ACCU-PACCFS-3000 de Brentwood Industries con una superficie específica de $102 \text{ m}^2/\text{m}^3$ de material; el flujo sobre el medio filtrante es descendente.

Este medio filtrante consiste en bloques que tienen agujeros y canales que permiten que el flujo percole o escurra hacia el fondo del digestor. En este medio filtrante se va formando un biofilme que es el que descontamina los componentes biológicos contenidos en el lixiviado. A medida que el lixiviado se escurre por los huecos y hendiduras del medio filtrante entra en contacto con las bacterias que descomponen a los contaminantes orgánicos.

El medio filtrante está colocado sobre una losa con agujeros que permite el drenaje o descarga del lixiviado y de sólidos o capas de biofilme, que se desprenden del medio filtrante, hacia la tina de recolección. La losa de drenaje cubre toda el área del piso. Esta tiene agujeros de 30 mm de diámetro espaciados a 20 cm en ambas direcciones.

En su parte exterior y ubicado a los dos costados hay 4 tuberías de ventilación de pvc, en un total de 8 con un diámetro de 110 mm que permiten el ingreso de aire hacia el interior del medio filtrante. Este ingreso de aire apoya la degradación de la materia orgánica y la formación del biofilme que se adhiere al medio filtrante.

En el fondo del biofiltro tiene una tina para recolectar el lixiviado tratado, la misma que tiene tres desagües con un diámetro de 110 mm con una pendiente del 1%, para la conducción del lixiviado tratado biológicamente hacia el tanque pozo de bombeo 2, con lo que se asegura una velocidad de 0.6 m/s lo que evita la sedimentación en la tubería. Mediante esta unidad se bombeo el lixiviado hacia el tanque de clarificación.

El sistema tiene una tubería de retroalimentación para alimentar al digestor UASB y biofiltro cuando no hay afluente desde el relleno sanitario. Esta retroalimentación es importante para mantener un flujo de alimentación constante en estas unidades y evitar la proliferación de moscas en él.

D. TANQUE DE CLARIFICACIÓN (Anexo C, Imagen 8)

Esta etapa de tratamiento combina un proceso mecánico de sedimentación en el tanque de clarificación y un tratamiento químico por medio de un floculante químico, cloruro férrico, que se mezcla en un tanque de mezclado ubicado a un costado el clarificador.

La alimentación hacia el clarificador se la realiza por medio de un pozo de bombeo. Este pozo tiene dos bombas de 1 HP para impulsar el lixiviado pretratado en el biodigestor. Este pozo de bombeo alberga también dos unidades de bombeo de 0.5 HP para la recirculación del lixiviado hacia el digestor UASB.

El clarificador es un tanque circular construido en hormigón, con un diámetro de 5.5 m y una profundidad de 4.00 m. En su parte superior tiene un canal de descarga del lixiviado hacia el sistema de cloración.

En el fondo del clarificador se han instalado dos bombas con una capacidad de 1 HP de succión de lodos que extraen los lodos que se sedimentan al fondo del clarificador. Estas bombas son operadas desde el panel de control principal ubicado en la caseta que se encuentra al ingreso de la PTL. Los lodos son bombeados hacia el lecho de secado de lodos. Estas bombas funcionan diariamente y por las mañanas por espacio de 1 hora. El encendido y apagado de las bombas es automático y es accionado por un temporizador.

Como parte de esta etapa de tratamiento se ha construido un tanque de mezcla para la preparación de un floculante para la coagulación de metales pesados. Este sistema de floculación cuenta con un sistema de dosificación. Se trata de una bomba de 0.25 hp y un sistema de mezcla. La bomba dosificadora es accionada desde un panel de control eléctrico. Esta bomba dosifica en forma precisa la cantidad de químicos exacta requerida para el adecuado tratamiento de clarificación.

E. SISTEMA DE CLORACIÓN

La planta de tratamiento consta también de un sistema de cloración consistente en un tanque de hormigón armado de 1,8 m de largo 0,90 m de altura. La dosificación se la realiza por medio de una llave de paso. Junto al tanque de cloración se ha instalado un medidor de caudal y dos llaves de cierre. Por medio de estas llaves de cierre se puede obstruir la descarga del lixiviado tratado hacia el tanque de cloración y descargarlo a la quebrada Chasinato.

F. LECHO DE SECADO DE LODOS (Anexo C, Imagen 9)

Para la recolección y secado de los lodos digeridos que se descargan del digester UASB, se ha previsto un lecho de secado. Esta es una estructura a base de ladrillo y un fondo de tubería de drenaje cubierto con geotextil para la recolección del lixiviado que contiene los lodos. Este lixiviado se conduce nuevamente al pozo de bombeo para su tratamiento. Los lodos secos deben ser depositados en el relleno sanitario.

G. POZOS DE BOMBEO

La PTL cuenta con tres pozos de bombeo. El pozo de bombeo 1 eleva el lixiviado hacia el digester UASB. El pozo 2 consta de dos grupos de bombas con dos unidades cada uno. Un grupo impulsa el lixiviado hacia el tanque de clarificación. El segundo grupo de bombeo recircula el lixiviado hacia el digester UASB. El pozo de bombeo 3 está ubicado dentro del clarificador en el fondo del tanque y sirve para succionar los lodos que se han sedimentado al fondo del clarificador. Estos lodos son bombeados al lecho de secado de lodos.

H. SISTEMA DE RECIRCULACIÓN Y CONTROL

El sistema dispone de tuberías de retroalimentación, para recircular el lixiviado tratado al digester UASB y biofiltro cuando no hay descarga del lixiviado que se produce en el relleno sanitario. La recirculación es importante para mantener un flujo constante en toda la planta y evitar la proliferación de moscas en el BFP la resequedad del biofiltro. Las bombas para la recirculación están ubicadas en el pozo de bombeo 2. Estas son de encendido automático y funcionan por medio de sensores de nivel ubicados en el pozo de bombeo 1.

Las bombas de recirculación son operadas automáticamente. Se encienden automáticamente cuando no hay flujo de lixiviado desde el relleno sanitario y se apagan automáticamente cuando se encienden las bombas de alimentación del lixiviado hacia el digester UASB ubicadas en el pozo 1.

El control de estas bombas se la realiza por medio de un panel de control ubicado en la caseta a la entrada a la planta de tratamiento. Este panel de control tiene las señalizaciones correspondientes para el encendido y

apagado de las bombas. Todas las bombas cuentan con un contactor y un variador de velocidad.

La planta cuenta con un sistema de control hidráulico que interrumpe el ingreso del lixiviado a la planta dependiendo de si el tanque de almacenamiento y las unidades de tratamiento están llenas o no.

I. QUEMADOR DE BIOGÁS

Al interior del digestor UASB se produce biogás, producto de la digestión anaeróbica. Este biogás se capta en el digestor y es conducido hacia un quemador (Anexo C, Imagen 10). El quemador se compone de un tanque de eliminación de condensados, un tanque cortallamas, medidor de caudal y el quemador.

4.1.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RSA

Una vez determinada la estructura de la PTL, se realizó la implementación en cada estructura, en donde se consideró necesario hacerlo. A continuación se describe la implementación realizada.

4.1.2.1 Tanque desarenador, válvula a pozo bombas 1 y válvula a bypas

- Se implementó la cubierta respectiva en el trayecto de ingreso del lixiviado crudo, para evitar la lluvia y la caída de elementos extraños al lixiviado en el tanque desarenador y pozo bombas 1 (Anexo C, Imágenes 13, 14).
- También se instaló una cubierta similar sobre el biofiltro percolador.

4.1.2.2 Pozo de Bombas 1.

- Debido a que el tiempo de llenado del pozo de bombas 1 era muy extenso (aproximadamente 6 horas), razón por la que el lixiviado crudo que tenía una temperatura promedio de 33°C, se enfriaba hasta los 10°C, se realizó una división para reducir el volumen del tanque y permitir que el lixiviado que se bombea al UASB no pierda mucha temperatura.
- Luego de la división (Anexo C, Imagen 15), el tiempo de llenado del tanque es de aproximadamente 1.5 horas, y la temperatura del lixiviado en el tanque esta entre de 25 – 30°C, dependiendo del caudal de entrada y de las condiciones climáticas, lo que ayudo sustancialmente a mantener temperaturas superiores a 20°C dentro del reactor UASB.

4.1.2.3 Reactor UASB

- En esta etapa se implementó un sistema de calentamiento provisional (Anexo C, Imagen 19), compuesto por un calefón, el que permitía la recirculación de agua caliente en el interior del UASB mediante bombeo a través de una tubería de hierro galvanizado. Este sistema dio buenos resultados, ya que las temperaturas registradas eran superiores a 28°C.

Este sistema de calentamiento se mantuvo funcionando hasta finales del mes de enero 2010.

4.1.2.4 Biofiltro Percolador BFP

- A partir del 8 de diciembre de 2009 y por 3 semanas, se empezó a recircular el efluente del camal directamente al biofiltro mediante una tubería provisional (Anexo C, Imágenes 23, 24), desde el pozo de bombas 2 con el objetivo de permitir la formación de la película microbiana y continuar con la depuración aerobia del lixiviado. La recirculación del efluente por medio de las tuberías provisionales se mantuvo hasta inicios de enero 2011, luego de lo cual la recirculación se inició de manera normal por el sistema propio de la planta. La recirculación de líquido en el biofiltro es muy importante, puesto que una vez formada la película microbiana este debe permanecer húmedo para evitar la muerte de los microorganismos.

4.1.2.5 Tratamiento mecánico y químico (tanque de clarificación)

- A finales del mes de Diciembre de 2009 se paralizó el bombeo al UASB para realizar una adaptación en la tubería de ingreso de lixiviado hacia el clarificador, con el objeto de crear mayor turbulencia y mejorar la mezcla coagulante-lixiviado para obtener mayor cantidad de sedimentos. El trabajo consistió en colocar dos tuberías tipo codo en forma invertida a cada tubería de ingreso de lixiviado (Anexo C, Imágenes 32, 33), lo que provocó que el lixiviado al momento de ser bombeado al tanque clarificador gire, con lo que mejoró la clarificación.
- Sin embargo considero que una mejora sustancial en esta etapa sería realizar la combinación del coagulante y el lixiviado antes del ingreso al clarificador, ya que la floculación-coagulación disminuye su eficacia a medida que el tanque se llena.

4.1.3 PRUEBAS OPERATIVAS Y PROCESOS DE RUTINA PARA LA DEPURACIÓN DE LOS LIXIVIADOS DEL RSA

El trabajo diario, además del conocimiento completo acerca de la Planta de Tratamiento, permitieron realizar las pruebas y el monitoreo de la planta y de sus componentes.

4.1.3.1 MONITOREO DE COMPONENTES

- **PLC:** que se mantenga encendido todo el tiempo, enviando las señales eléctricas de encendido y apagado del sistema de bombeo, dosificación, quemador de biogás y motor agitador. Todo esto de acuerdo a la programación realizada por el profesional eléctrico, por ejemplo, que el PLC envíe la señal de encendido de las bombas del pozo de bombas 1, cuando reciba la señal de los niveles instalados en dicho pozo que el lixiviado se encuentra en la parte superior y viceversa.
- **Bombas pozo 1:** Que se mantengan funcionando alternadamente cada 12 horas, de acuerdo a las señales de encendido-apagado del PLC.
- **Sensores de nivel pozo 1 y 2:** Que no se obstruyan por acción corrosiva del lixiviado y que envíen las respectivas señales de aviso del nivel del lixiviado.
- **Motor agitador (UASB):** Se encienda 1 vez por día durante 1 minuto, para eliminar las costras o espuma formada en el reactor.
- **Bombas de recirculación (pozo 2):** Que trabajen continuamente, alternadamente cada 6 horas y que únicamente se apaguen cuando las bombas de bombeo al tanque clarificador se enciendan.
- **Motor mezclador:** Que se encienda durante el bombeo de lixiviado desde el pozo 2 hacia el tanque clarificador, para mezclar el coagulante y el agua dentro del tanque metálico.

- **Bomba dosificadora:** Que dosifique la cantidad de solución programada durante todo el tiempo.
- **Quemador de biogás:** Que se encienda automáticamente ante la presencia de biogás.

4.1.3.2 REGISTROS DE TEMPERATURAS, pHs, CAUDAL DE LIXIVIADO Y VOLUMEN DE BIOGÁS

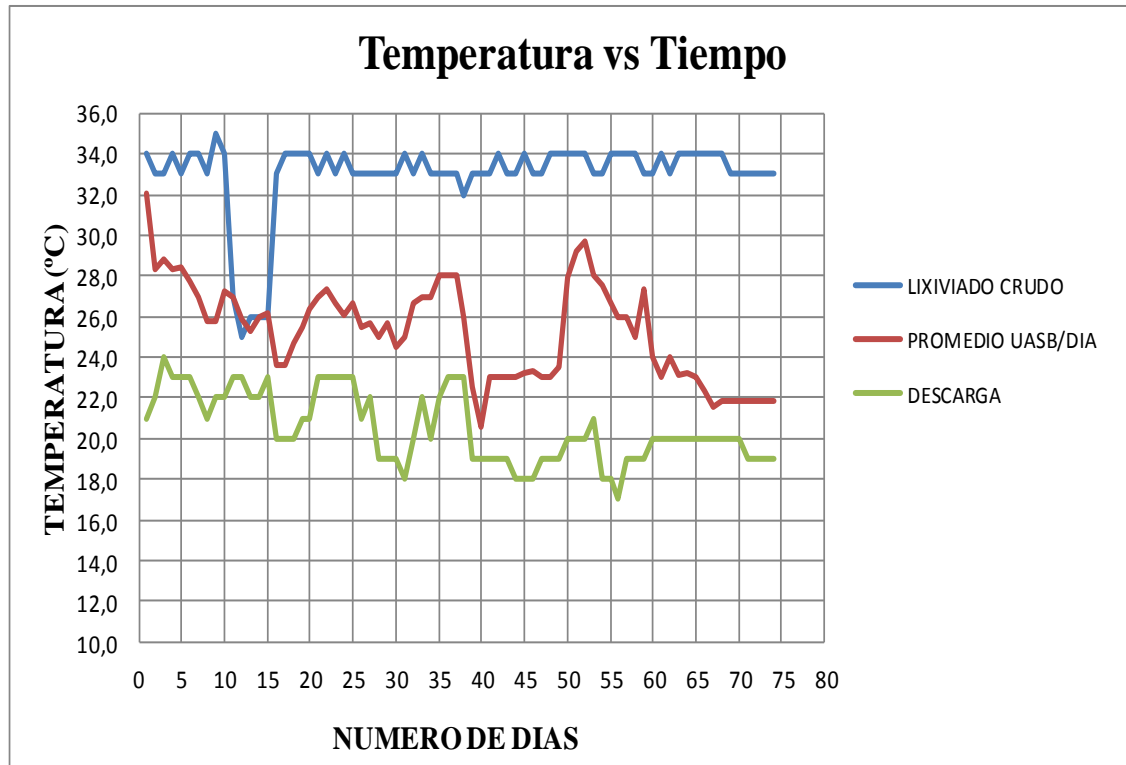
Con respecto al registro de Temperatura, pH, Caudal de lixiviado y Volumen de biogás, se obtuvo los siguientes resultados (Anexo A, Tablas 2, 3 y 4):

- Temperatura: El lixiviado crudo se mantuvo entre 25°C y 35°C, en el UASB entre 20.5°C y 32°C; en la descarga de 17°C a 24°C.
- Las temperaturas a partir de los 25°C en el UASB fueron las mejores para propiciar la mayor producción de Biogás.
- Volumen Biogás: sus valores oscilaron entre 0 lt/día y 35 lt/día, dependiendo de la temperatura del UASB, ya que se observó que a mayor temperatura mayor volumen de biogás. (Anexo F, grafica 8).
- A continuación se muestra una tabla de resumen de los datos máximos, mínimos y promedios obtenidos:

LUGAR MUESTREO	VALORES		
	Mínimo	Máximo	Promedio
Temperatura Lixiviado Crudo (°C)	25,0	35,0	33,0
Temperatura Reactor UASB (°C)	20,5	32,0	25,3
Temperatura Lixiviado Descarga (°C)	17,0	24,0	20,5
pH Lixiviado Crudo	8	8	8
pH Reactor UASB	7,5	8,5	8,1
pH Lixiviado Descarga	8,0	8,5	8,5
Caudal (lt/seg)	0,06	2,40	0,4
V Biogás (lt/día)	0	35	12,0

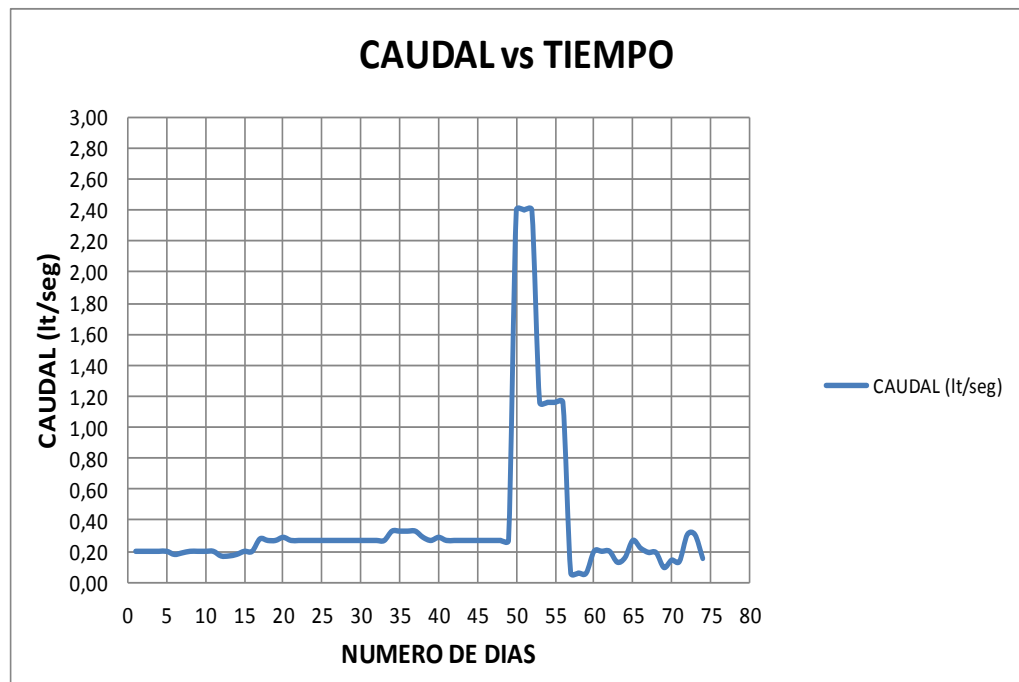
Realizado por: Villacrés, 2011

- A continuación se presentan graficas que muestran el comportamiento a través del tiempo de los parámetros medidos en la PTL:



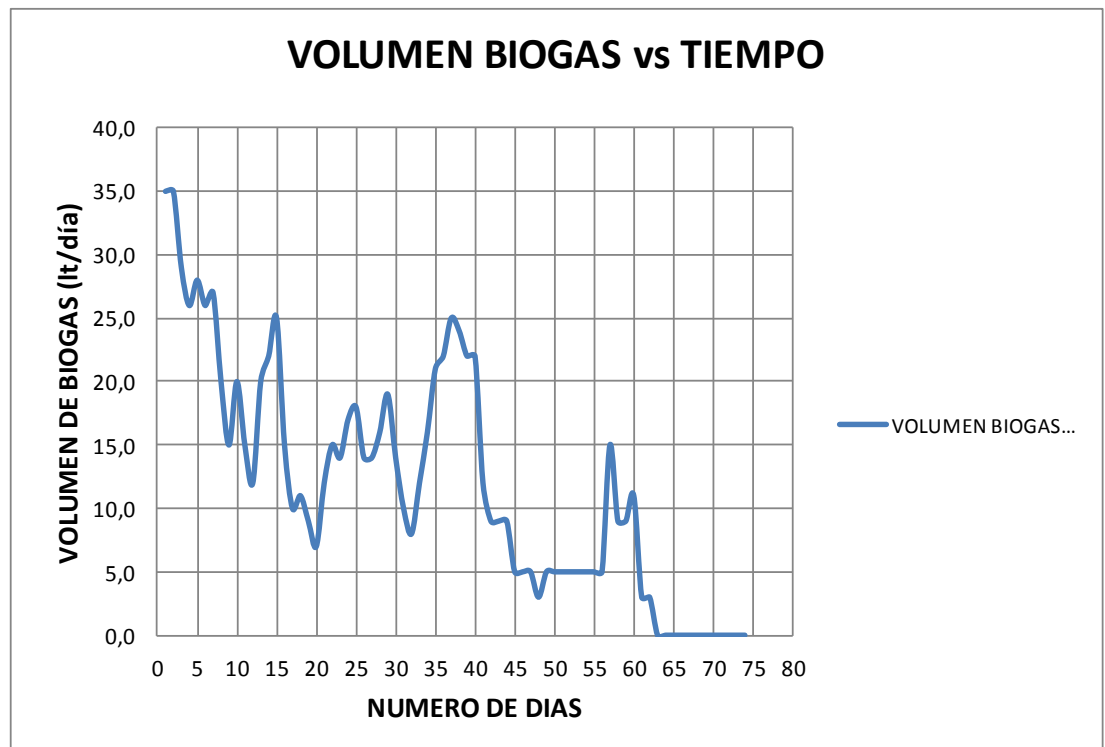
Realizado por: Villacrés, 2011

- En la gráfica se observa las temperaturas registradas en cada zona de muestreo, la temperatura del lixiviado crudo muestra un valor prácticamente constante superior a los 32 °C, mientras que el lixiviado del UASB desciende paulatinamente.



Realizado por: Villacrés, 2011

- En la gráfica Caudal vs Tiempo, se observa un valor constante de caudal en el tiempo, pero que muestra una variación drástica entre los días 45 – 55, lo cual se debe a que en esos días se presentaron precipitaciones fuertes en el sector del RSA, lo que incrementó notablemente el caudal del lixiviado crudo que ingresó en la PTL.



Realizado por: Villacrés, 2011

- En la gráfica Volumen de biogás vs Tiempo, se nota la disminución continua de la producción de biogás, debida a distintos factores, entre los que se encuentra la disminución de la temperatura del UASB.
- Con los datos de Temperatura del UASB y volumen de biogás, se realizó un análisis de regresión lineal para visualizar la incidencia de la variable Temperatura del UASB sobre la producción de biogás, análisis que dio como resultado un valor de $r^2=0.75$, es decir que la T influencia en un 75% la formación de biogás (Anexo F, grafica 9).
- Los valores adecuados de pH y Temperatura dependen exclusivamente del lugar, corresponden a cada planta de tratamiento, ya que los desechos sólidos son distintos de un sitio a otro. En el caso particular, en el reactor UASB el pH se mantuvo entre 7.5 – 8.5 con una temperatura óptima partir de 25°C, pues a estos valores la producción de biogás fue la mayor. En otros sitios (Relleno Sanitario

Mallasa - Bolivia) tienen buenos resultados con pH de 6.5 y temperaturas inferiores a 15 °C (Arriata, 2009).

- Como se mencionó anteriormente, con los datos se prepararon informes dirigidos a las autoridades de la Dirección de Higiene Municipal, un ejemplo de estos informes se encuentra en el Anexo E.

Como resultado del trabajo de investigación, se proponen a continuación los procesos de rutina para la operación y monitoreo de la PTL en la depuración de los lixiviados del RSA:

4.1.3.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PTL

A. 1. Tratamiento mecánico

A continuación se indican los pasos a seguir para su operación y mantenimiento

- Abrir válvulas: a) entrada a tanque desarenador b) entrada a Pozo bombas 1
- Cerrar válvulas de bypass
- Visualizar si han ingresado palos, escombros y otros elementos extraños al afluente. Si existieran debe ser recogidos y ser almacenados en tanque de basura para su depósito al relleno sanitario.
- Limpieza semanal de la rejilla.
- Extracción manual mensual o dependiendo de la cantidad de sólidos en suspensión y arenas que se acumulen en el tanque desarenador.
- Controlar los niveles de funcionamiento de las bombas: nivel superior arranque encendido, nivel inferior apagado, funcionamiento automático y programado de las bombas.

A. 2 Pozos de bombeo

- Controlar los niveles de funcionamiento de las bombas: nivel superior arranque encendido, nivel inferior apagado, funcionamiento automático y programado de las bombas, funcionaran alternadamente cada 12 horas.

A. 3 Digestor UASB, válvulas de muestreo y descarte de lodos

- Chequeo semanal, abrir y cerrar válvulas (para mantenerlos operables y que no se obstruyan) y descarte semanal de lodos por las tuberías de desagüe de lodos.
- Toma de muestras de lixiviados a diferente altura con apertura de válvula respectiva.

A. 4 Canal y tuberías de alimentación al digestor UASB

- Para la operación deben estar abiertas todas las compuertas y a la misma abertura. Se debe controlar que no estén sucias o que se hayan depositado escarchas o lamas en su estructura.

A. 5 Biofiltro (BF)

- Se debe controlar semanalmente que las tuberías agujereadas de alimentación no estén obstruidas.
- Verificar la descarga de lixiviado por las tres tuberías de descarga hacia el pozo de bombeo que impulsa el lixiviado al tanque de clarificación.

A. 6 Tanque de clarificación

- Visualizar la salida del efluente y toma de muestras de acuerdo a requerimientos.
- En el mezclador cargar el coagulante y verificar el encendido automático del motor para mezclar el producto químico con el agua.
- Verificar el funcionamiento de la bomba dosificadora en función de los requerimientos.
- Verificar el funcionamiento de las bombas automáticas para la limpieza de sedimentos del tanque clarificador al lecho de secado.

A. 7 Secado de lodos

- Tomar precauciones en el manejo de los lodos.
- Usar guantes y máscaras. No deben tocar los lodos con las manos. Los operarios que pisan el lecho de lodos lo deben hacer utilizando zapatos de suela de caucho.

- El mantenimiento del lecho de secado se limita a la limpieza de lodos secos y su transporte al relleno sanitario.
- Se debe evitar el crecimiento de plantas o maleza en la superficie del lecho de secado.
- En caso de que se formen cochas de agua sobre los ladrillos del lecho de secado, se debe asumir que los filtros se han colmatado o que están tapados. En este caso se debe retirar los ladrillos y proceder a cambiar la capa de arena

A. 8 Quemador y líneas de conducción de biogás

- Inspección semanal de las uniones, válvulas, acoples y demás accesorios de las tuberías de biogás para detectar fugas.
- Se debe purgar periódicamente la trampas de agua (eliminación de condensados), abriendo y cerrando la llave de drenaje del respectivo tanque.
- En el quemador se debe verificar que el tanque corta llamas tenga el nivel máximo de agua de 20 mbar. Este aspecto es importante ya que el nivel de agua en el corta llamas actúa también como válvula de seguridad y reguladora de presión al interior del digester UASB.

B. PARÁMETROS DE CONTROL

B.1 Temperatura

- Se debe registrar las temperaturas (°C) del ingreso (pozo bombas 1), al interior del UASB y en la descarga final.

B.2 pH

- Medir el pH al ingreso, al interior del UASB y en la descarga.

B.3 Análisis físico químicos

- Los parámetros a analizar durante la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, serán al menos los siguientes: DBO, Sólidos

suspendidos totales, pH, Grasas y aceites, DQO. Una frecuencia aceptable es realizarlos cada 3 meses (Moncayo, 2009).

- Los resultados de la calidad de las aguas residuales serán comparados a los límites descritos en el texto unificado de legislación ambiental (TULAS).

B.4 Otros

- Medir el caudal de lixiviado a través del medidor de caudal instalado a la salida del clarificador.
- Medir el volumen de biogás con la ayuda del medidor de gas ubicado antes del quemador de biogás.

B.5 Muestreo

- Las alturas para muestreo (Anexo C, Imagen #40) de lixiviado ubicadas en el reactor UASB son:

Altura 1: 1.45 m

Altura 2: 1.96 m

Altura 3: 2.37 m

Altura 4: 3.07 m

Altura 5: 3.46 m

Altura 6: 4.25 m

El procedimiento del muestreo de las aguas residuales deberán seguirse las recomendaciones siguientes:

- La persona a realizar el muestreo deberá protegerse adecuadamente (guantes y mascarilla).
- Debe tomarse donde estén bien mezcladas las aguas residuales y de fácil acceso, como puntos de mayor turbulencia, caída libre desde una tubería o justamente en la entrada de una tubería.
- Las muestras deben examinarse tan pronto sea posible, ya que la descomposición bacteriana continúa en el frasco de la muestra.
- Identificar muestra, fecha, hora, anotar datos de la muestra y colocarlo en hielera.

4.2. ANÁLISIS DE DATOS

Finalmente, se demuestra la disminución de la carga contaminante del lixiviado por el trabajo realizado en la PTL, según las gráficas respectivas (Anexo F, gráfica 5), y con los resultados del análisis estadístico (Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales) (Anexo A, tabla 12), aplicado a cada uno de los parámetros entre el lixiviado crudo y lixiviado de descarga y cuyo resultado a un nivel de confianza del 95%, nos lleva a rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, ya que el t calculado es mayor al t de tabla, es decir, existe diferencia significativa entre sí, la que se da entre los parámetros más importantes para la medición de la contaminación en efluentes, como lo son los parámetros DBO y DQO.

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

En base al análisis estadístico se rechaza la Hipótesis Nula (H_0) que señalaba que “La estructuración, implementación y puesta en marcha de la planta de tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario Ambato (RSA) no permitirá un alto grado de depuración de los lixiviados producidos”.

En consecuencia, se acepta la Hipótesis alternativa (H_i) que indicaba que “La estructuración, implementación y puesta en marcha de la planta de tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario Ambato (RSA) permitirá un alto grado de depuración de los lixiviados producidos”.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.1. CONCLUSIONES

5.1.1 Una vez concluida la presente investigación, se determinó la estructura completa de la PTL, dimensiones y materiales:

- a) Estructura de ingreso con un desarenador; rejilla y pozo de bombeo
- b) Bypass
- c) Digestor UASB¹: construido en hormigón, tiene una profundidad de 4,5 m, un volumen de 36 m³, con un tiempo de retención hidráulica de aproximadamente 12 horas, a una temperatura interior promedio de 20°C.
- d) Biofiltro: tanque de hormigón armado con una base útil de 2x3 m; y una altura de 3,1 m desde la tina donde se recoge el lixiviado, hasta el borde del medio filtrante.
- e) Pozo de bombeo hacia clarificador:
- f) Tanque de clarificación con su pozo de bombeo para succión de lodos: tanque circular construido en hormigón, con un diámetro de 5.5 m y una profundidad de 4.00 m.
- g) Unidad de mezcla de floculante: tanque metálico de 1000 litros de capacidad.
- h) Unidad de cloración: tanque de hormigón armado de 1,8 m de largo 0,90 m de altura.

¹Upflow anearobic sludge blanket

- i) Lecho de secado de lodos: estructura a base de ladrillo y un fondo de tubería de drenaje cubierto con geotextil para la recolección del lixiviado que contiene los lodos.
- j) Sistema de bombeo para recirculación
- k) Quemador de biogás

5.1.2 Además se estableció la implementación necesaria de la PTL, como fue:

- Instalación de la cubierta respectiva en el trayecto de ingreso del lixiviado crudo y sobre el biofiltro.
- Reducción del volumen del pozo de bombas 1 para que el lixiviado que se bombea al UASB no disminuya excesivamente su temperatura.
- Implementación de un sistema de calentamiento provisional (Anexo C, Imagen 19), compuesto por un calefón y una bomba, que permitía la circulación de agua caliente al interior del UASB a través de una tubería de hierro galvanizado, para ayudar al incremento de temperatura en el UASB.
- Instalación de un sistema provisional de recirculación directamente al biofiltro para el efluente del camal (Anexo C, Imágenes 23, 24), desde el pozo de bombas 2 con el objetivo de permitir la formación de la película microbiana sobre el BFP.
- Adaptación en la tubería de ingreso de lixiviado desde el pozo 2 hacia el clarificador, colocando dos tuberías tipo codo en forma invertida con el objeto de crear mayor turbulencia y mejorar la mezcla coagulante-lixiviado.

Para la etapa de clarificación, se decidió utilizar como coagulante al sulfato de aluminio, ya que al probar como segunda alternativa al cloruro férrico, este dio problemas de corrosión en el tanque metálico contenedor de la solución, por lo que se suspendió inmediatamente su uso.

El sulfato de aluminio se lo utilizó en concentraciones superiores a 600 ppm, valor obtenido mediante la prueba de jarras (prueba que permite determinar la concentración de coagulante a utilizar). Con el uso de sulfato de aluminio se observó la formación de flócs que se acumularon en el fondo del clarificador y fueron descargados semanalmente mediante bombeo hacia la piscina de secado, posteriormente recolectados y llevados hacia el depósito de desechos hospitalarios del RSA.

Como se mencionó anteriormente, aunque existió formación de lodos en el tanque clarificador, no se consiguió mayor clarificación del lixiviado con sulfato de aluminio, por lo que es necesario seguir probando otras alternativas, como por ejemplo la utilización de un polímero, ya que al realizar pruebas manuales en la PTL con Policloruro de aluminio se observó que a partir de 35 ml/lt de lixiviado se consigue buenos resultados de clarificación (Anexo C, Imágenes 35, 36), pero el problema en su uso está obstaculizado por sus altos costos.

5.1.3 Se ejecutaron las pruebas operativas exploratorias del proceso de depuración en lo que respecta al correcto funcionamiento de todos los sistemas de la PTL, pues se supervisó el buen desempeño del PLC, Bombas pozo 1, bombas pozo 2, Motor agitador (UASB), bombas de recirculación (pozo 2), motor mezclador, bomba dosificadora y bombas para descarte de lodos desde el tanque clarificador.

A su vez, la supervisión constante del funcionamiento de los sistemas de la PTL, permitió realizar un buen arranque de cada etapa y por ende un excelente inicio del proceso depurativo de los lixiviados, especialmente en el reactor UASB, lo que se comprobó con los resultados de los análisis físico-químicos efectuados en cada una de las etapas de tratamiento (Lixiviado crudo, Biodigestor, Biofiltro y clarificador), donde se obtuvieron porcentajes de remoción de la carga contaminante que van del 19% (cloruros) hasta el 99% (sólidos suspendidos) (Anexo F, Grafica 5 y Anexo A, Tabla 11).

También se obtuvo un registro completo de las mediciones correspondientes a los parámetros pH, Temperatura, Caudal de lixiviado y Volumen de Biogás producido. Estos registros se encuentran tabulados en el Anexo A (Tablas 2, 3 y 4).

Con dichos datos se realizó gráficas con los distintos parámetros obtenidos, además se obtuvo datos correspondientes a valores promedios, Máximos, mínimos, moda, varianzas y desviaciones estándar (Anexo A, Tablas 3 y 4).

En lo que respecta a la temperatura del lixiviado en el UASB en relación con la producción de biogás, mediante un análisis de regresión lineal se obtuvo que la variable temperatura influye en un 75% sobre la producción de biogás.

5.1.4. Finalmente se propuso los procesos de rutina para la depuración de los lixiviados, operación y mantenimiento de la PTL, los mismos que se resumen a continuación:

- Se debe mantener operables todas las estructuras de la PTL, por ejemplo en el caso de las válvulas, abrirlas y cerrarlas periódicamente.
- Realizar la limpieza de las rejillas, canales, etc, para evitar taponamientos.
- Vigilar que los sistemas eléctricos funcionen adecuadamente.
- Realizar la medición de T, Caudal, Volumen de biogás diariamente, en los diferentes puntos de muestreo.
- Vigilar que las tuberías no se encuentren obstruidas.
- Colocar el coagulante y verificar el encendido automático del motor para mezclar el producto químico con el agua en el tanque respectivo.
- Purgar periódicamente la trampa de agua (eliminación de condensados), abriendo y cerrando la llave de drenaje del respectivo tanque (sistema quemador de biogás).
- La persona a realizar el muestreo para la toma de muestras y de datos antes descritos, deberá protegerse adecuadamente utilizando guantes, mascarilla, botas y ropa impermeable.

Con el cumplimiento de los objetivos se concluye que se logró satisfactoriamente la puesta en marcha de la Planta de Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario Ambato, lo que se reflejó en la disminución de la carga contaminante de los lixiviados, comprobado a través de las gráficas respectivas, y mediante el análisis estadístico T Student (Anexo A, Tabla 12), el cual dio, entre otros, para los parámetros más importantes DBO y DQO diferencia significativa, es decir que existe disminución significativa de la carga contaminante del lixiviado, mientras que otros parámetros como el As, Cr, Fenoles, etc, permanecen sin una variación significativa, probablemente a que todos los procesos están en etapa de arranque. Otros parámetros que presentaron diferencia significativa (disminución) fueron Aluminio, Cadmio, Plomo y sólidos suspendidos.

En porcentajes, se alcanzó valores de disminución de la carga contaminante superiores al 80% en parámetros como sólidos suspendidos, plomo y cadmio. Mientras que para los parámetros de medición de la contaminación más utilizados, como es el DBO y DQO, se alcanzaron porcentajes del 58% y 49% respectivamente (Anexo A, Tabla 11).

5.2 RECOMENDACIONES

- Es muy importante instalar un sistema de calentamiento para el UASB, ya que se requiere incrementar la temperatura del lixiviado a valores superiores a 30°C y así mejorar las condiciones para el desarrollo óptimo de los microorganismos y obtener mayor porcentaje de descomposición de la materia orgánica, que generara una mayor producción de biogás, que será combustionado a través del quemador de biogás para evitar la contaminación del aire.
- También es imprescindible realizar análisis microbiológicos completos en cada etapa del proceso, para determinar la cantidad y variedad de microorganismos presentes.

- Se debe contar con un vertedero triangular al inicio del ingreso del lixiviado crudo, que permita la medición de caudal durante las interrupciones de funcionamiento del sistema de bombeo.
- Además, es recomendable mantener un ayudante con los elementos de seguridad para la PTL, y así realizar las diferentes actividades de limpieza y mantenimiento.
- Se recomienda la colocación de los diferentes letreros de seguridad en toda la PTL.
- Es indispensable contar con equipos en la planta para el control de los parámetros físico-químicos de los lixiviados, como: pH-metro digital, Turbidímetro, Equipo para prueba de jarras, material de vidrio. Dichos equipos deben ser los adecuados para el trabajo con lixiviados, ya que de lo contrario se verán afectados en un corto tiempo de uso.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS

1. Título	“Arranque de un reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanquet) para el tratamiento de lixiviados provenientes del Relleno Sanitario Ambato, mediante el uso de rumen fresco de ganado vacuno, lodo de lagunas de oxidación y lodos digeridos de aguas residuales domesticas”
2. Universidad Técnica de Ambato	Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, carrera de Ingeniería Bioquímica.
3. Beneficiario	Dirección de Higiene Municipio de Ambato - Planta de Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario Ambato
4. Director del proyecto	Dr. Ramiro Velasteguí, Ph.D
5. Personal Operativo	Egdo. Mario Danilo Villacrés Pérez
6. Tiempo de duración	6 meses
7. Fecha de inicio	01 de Noviembre de 2011
8. Lugar de ejecución	Planta de Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario Ambato

(Villacrés, M. 2011)

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Según el estudio “Arranque y Operación de Reactores Anaerobios” (Rodríguez, 2010) realizado en Colombia, el uso de la tecnología anaerobia implica dos etapas fundamentales: el **arranque** y **operación** del sistema. Estas etapas generalmente se controlan a través del conocimiento de lo que entra al sistema de tratamiento: caudal de agua residual y su carga orgánica, así como la existencia o no de sustancias tóxicas en concentraciones apreciables. El seguimiento de las salidas del sistema se desarrolla por medio del monitoreo de la calidad del efluente líquido y de la cantidad y calidad del efluente gaseoso.

Por otra parte, el trabajo “Arranque de reactores anaerobios industriales: dos casos de estudio” (Hernández, et.al, 2010) dice que el primer arranque de cualquier reactor anaerobio es lento y requiere de largos periodos de tiempo, debido a las bajas tasas de crecimiento de los microorganismos ($Y= 0.03$ a 0.08 kgSSVDQO/kgDQO convertida para bacterias metanogénicas), por lo que siempre es conveniente la inoculación. De hecho, esta es una de las principales desventajas del proceso. Sin embargo, una vez que el sistema ha sido arrancado y se opera adecuadamente es posible considerar que el problema se resuelve en definitiva.

6.3. JUSTIFICACIÓN

Los sistemas de tratamiento biológico tienen la función de degradar la materia orgánica de un efluente residual a partir de la acción de colonias de microorganismos heterogéneos, encargados de realizar la descomposición. El interés por el estudio y desarrollo de estos sistemas ha venido incrementándose debido a la necesidad de reducir el impacto ambiental generado por los residuos líquidos y sólidos provenientes de las actividades urbanas e industriales con el ánimo de lograr cumplir con normativas ambientales (Muñoz, 2006)

La contaminación ambiental es la problemática más común en todos los niveles de la sociedad. Un ejemplo claro ocurre con el inadecuado tratamiento de efluentes producidos por la descomposición de los residuos sólidos urbanos en los rellenos sanitarios, que generan lixiviados los cuales son descargados directamente hacia los sistemas hídricos.

Una alternativa ecológica, consiste en el empleo de reactores biológicos para la degradación de las sustancias contaminantes de los lixiviados, como por ejemplo los reactores tipo UASB (upflow anaerobic sludge blanket)

El arranque de reactores biológicos es un punto importante para el buen funcionamiento de los digestores. Durante esta fase la biomasa sufre cambios para adaptarse al agua residual, produciéndose un periodo de inestabilidad.

Debido a la tasa tan lenta de generación de la biomasa en los procesos anaerobios, se sugiere utilizar un inóculo con buenas características de sedimentación y actividad metanogénica.

Generalmente este inóculo proviene de otro reactor anaerobio. Pero en lugares que no cuentan con este tipo de procesos es necesario encontrar una fuente de inóculo alternativo que tenga las características necesarias (Fajardo, 1997).

6.4 OBJETIVOS

6.3.1 Objetivo General

6.3.1.1 Realizar un estudio sobre el Arranque de un reactor UASB, mediante el uso de rumen fresco de ganado vacuno, lodo de lagunas de oxidación y lodos digeridos de aguas residuales domesticas

6.3.2 Objetivos específicos

- Utilizar un reactor UASB a escala para las pruebas de laboratorio.
- Usar rumen fresco de ganado vacuno, lodo de lagunas de oxidación y lodos digeridos de aguas residuales domésticas como inóculos para el arranque del reactor UASB.
- Realizar un monitoreo de los parámetros temperatura, caudal de ingreso, pH, turbiedad, DQO, DBO, Aceites, metales pesados, volumen de biogás y microbiológicos del lixiviado crudo y del lixiviado a la salida del reactor UASB.
- Determinar las mejores condiciones de temperatura, caudal de lixiviado y pH del lixiviado en el UASB, para conseguir un alto grado de depuración de los lixiviados.
- Determinar el mejor inóculo para el reactor en estudio.

6.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

El proyecto de investigación es de tipo tecnológico, ya que con ello se constituye en un referente para la utilización de rumen fresco de ganado vacuno, lodo de lagunas de oxidación o lodos digeridos de aguas residuales domesticas como inóculos para reactores anaerobios, en especial del tipo UASB.

El análisis de factibilidad además incluye el carácter económico, ya que se reducirán costos de operación de plantas de tratamiento al utilizar como inóculo mediante el uso de rumen fresco de ganado vacuno, lodo de lagunas de oxidación o lodos digeridos de aguas residuales domesticas; por otro lado

abarca el aspecto ambiental, ya que contrarrestará el problema medioambiental que ocasionan los lixiviados, a más de la utilización de los distintos lodos orgánicos, como el rumen de ganado igualmente eliminado hacia el recurso agua.

Tabla 1: Análisis económico de la Propuesta

RECURSOS HUMANOS	UNIVERSIDAD	GRADUANDO
Tutor	200	125
Graduado		
Recursos Físicos		
Análisis Físico - Químicos	2400	
Material de Escritorio		150
Materiales UASB	400	
Recursos Económicos		
Transporte		200
Publicaciones		50
Imprevisto		150
Subtotal	3000	675
TOTAL	3675	

Realizado por: Villacrés, 2011.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

6.6.1 REACTORES ANAEROBIOS U. A. S. B.

La abreviación U. A. S. B. se define como Upflow Anaerobic Sludge Blanket o Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente. Esta tecnología proveniente de Bélgica y Holanda, es aplicada especialmente al tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica (Caicedo, 2006).

El primer trabajo publicado de un reactor de lecho suspendido data del año 1910 y se le denominó “tanque biológico”, con tiempos hidráulicos de retención de 8,5 horas. Posteriormente, un nuevo invento se llevó a cabo en 1957 que consistió en un lecho suspendido con separador interno sólido-líquido, seguido de un filtro anaerobio.

El reactor UASB, fue desarrollado en Holanda por Lettinga y sus colaboradores en los años 70. El diseño de un reactor UASB consiste en una zona de reacción en la parte inferior, en la que se acumula la biomasa, la de mejor sedimentabilidad en el fondo y encima los lodos más ligeros (Caicedo, 2006).

Las grandes concentraciones de biomasa con elevada actividad que se consiguen, permiten el funcionamiento a altas velocidades de carga orgánica con buenas eficacias de eliminación. Esta biomasa puede estar en forma de gránulos compactos o en forma de lodos floculentos con buena sedimentabilidad. El reactor UASB está siendo experimentado con éxito en el tratamiento de aguas residuales muy diversas, de procesados alimenticios, industriales, urbanas y lixiviados (Ruiz, et al, 2009)

En general, las bacterias son incapaces de alimentarse de material complejo por lo que las macromoléculas (proteínas, carbohidratos y lípidos) son hidrolizados previamente por enzimas extracelulares a compuestos más simples (azúcares, aminoácidos y ácidos grasos). Esta hidrólisis ayuda a que el material particulado y los polímeros orgánicos que componen las aguas

residuales puedan ser asimilados por las bacterias e incorporados a sus procesos metabólicos, así:

- Proteínas a aminoácidos
- Carbohidratos a azúcares
- Lípidos a ácidos grasos y alcoholes (Caicedo, 2006)

6.6.2 ARRANQUE DE UN REACTOR ANAEROBIO.

El arranque de reactores anaerobios está influenciado por diversos factores como son: la composición química del agua residual, la calidad del inóculo (actividad específica, *ML*, granulación, contenido de *SSV*, etc), así como de factores ambientales como son el pH, la temperatura, los nutrientes (N, P, Co, Ni, Fe) entre otros. Los parámetros de operación, como el tiempo de retención hidráulica y el diseño del reactor juegan también un papel muy importante en el arranque y estabilización del proceso (Fajardo, 1997).

El arranque de los sistemas anaerobios consiste en hacer ingresar el agua residual al sistema y procurar mantener las condiciones idóneas para el desarrollo de la biomasa anaerobias. (Noyola, 1998).

Desde que se inicia el arranque hasta que se considera se ha alcanzado la estabilidad del proceso, lo más importante es la retención de biomasa viable dentro del reactor y su posterior acumulación, aspecto que tiene mucho que ver con la formación de gránulos. La formación de estos, es una característica que distingue a los sistemas de fermentación metanogénica de flujo ascendente, de los otros sistemas anaerobios.

Para que un reactor anaerobio sea estable es necesario que exista un ambiente que permita la mejor actividad de la biomasa y que el tiempo de retención de sólidos sea adecuado. Por contrario; agrega, una sobrecarga orgánica causada por el aumento en la concentración o en el caudal, variaciones en la temperatura y la entrada de tóxicos al reactor, son causas que rompen la estabilidad.

Una de las causas más frecuentes del mal funcionamiento de los reactores anaerobios es el desacople entre las bacterias productoras y las consumidoras de ácidos. Dicho desacople es ocasionado, durante el arranque, a la ausencia de un sistema microbiano maduro (Pacheco – Magaña, 2010)

6.6.3. EJEMPLO DE UN REACTOR UASB A ESCALA DE LABORATORIO.

El reactor UASB es de sección circular en acrílico con diámetro interno aproximado de 6 cm, altura 177 cm y volumen de 5 litros; dispone de una campana para recolección de biogás conectada a un sistema de medición por desplazamiento de líquido.

La figura 1 muestra el montaje experimental del UASB.

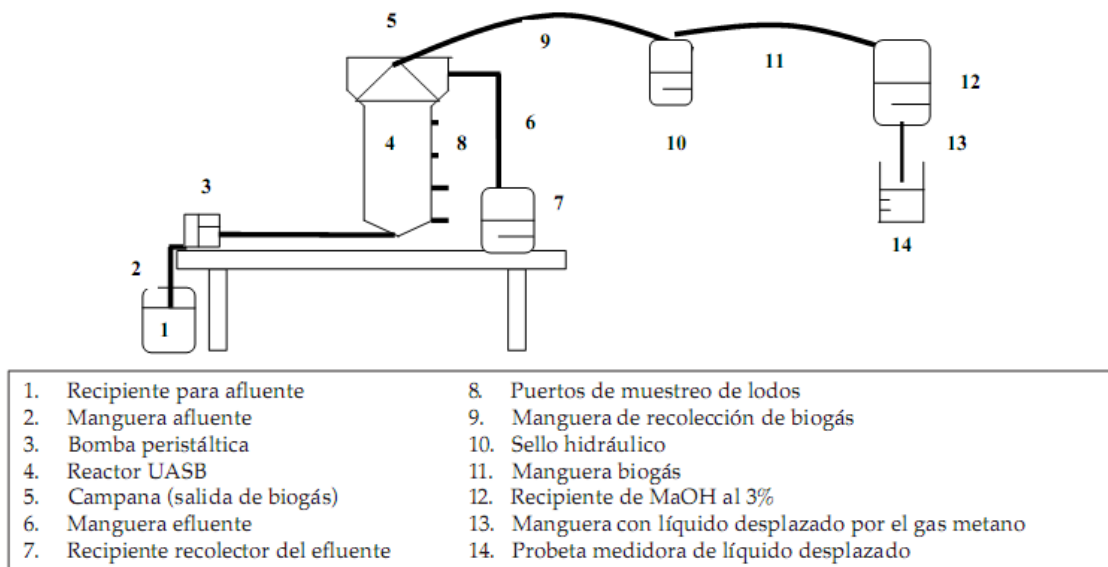


Figura 1. Montaje experimental

Fuente: Torres, et. al 2005

6.6.4 BASES DEL PROCESO ANAEROBIO

El proceso de degradación anaerobia se lleva a cabo en ausencia de oxígeno. Un gran número de microorganismos que trabajan en serie o en serie-paralelo, degradan la materia orgánica en sucesivas etapas. En una aproximación general, podemos diferenciar tres etapas fundamentales, la de hidrólisis-acidogénesis, la de homoacetogénesis-acetogénesis y por último la de metanogénesis.

En el proceso anaerobio, sólo una pequeña cantidad de la energía contenida en el sustrato es utilizada en el mantenimiento y crecimiento celular, quedando una gran parte en los productos, en forma de biogás. Esto hace que el tiempo de crecimiento sea lento, lo que condiciona el diseño y la operación de los digestores anaerobios (Ruiz, et al, 2009).

Dicho proceso se caracteriza por un conjunto de reacciones asociadas al metabolismo de numerosas especies de microorganismos, que son los intermediarios necesarios para transformar la materia orgánica en sustratos simples fermentables por las bacterias metanogénicas (Caicedo, 2006).

6.6.5 HIDRÓLISIS Y FERMENTACIÓN

Las bacterias hidrolizan inicialmente los polímeros (carbohidratos, proteínas y lípidos) por medio de enzimas extracelulares a polímeros solubles como son: azúcares, aminoácidos y grasas. Estos productos son utilizados por bacterias fermentadoras y transformados en ácidos grasos volátiles (AGV): acético, propiónico, butírico en hidrógeno y COS, así como en alcohol y ácidos dicarboxílicos. Las principales bacterias involucradas en este proceso son anaerobias estrictas o facultativas y pertenecen a una variedad de géneros como son: Clostridium, Bacteroides, Bacillus, Enterobacter, Pelobacter y Acetobacterium (Fajardo, 1997).

6.6.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS LIXIVIADOS QUE AFECTAN SU TRATAMIENTO

Existen numerosas caracterizaciones de los lixiviados en donde se hace énfasis en su alto poder contaminante. Se concluye usualmente que los lixiviados contienen toda característica contaminante principal, es decir, alto contenido de materia orgánica, alto contenido de nitrógeno y fósforo, presencia abundante de patógenos e igualmente de sustancias tóxicas como metales pesados y constituyentes orgánicos. Estas características son importantes en cuanto nos indican qué es lo que toca removerle a los lixiviados durante su tratamiento, sin embargo, desde el punto de vista de la selección de la tecnología existen otras características que, sin ser necesariamente contaminantes, pueden afectar el funcionamiento de los procesos de tratamiento.

6.6.7 RUMEN FRESCO DE GANADO VACUNO

Los ruminantes son mamíferos herbívoros que poseen un órgano especial en cuyo interior se lleva a cabo la digestión de celulosa y otros polisacáridos mediante la actividad microbiana, porque estos animales carecen de las enzimas necesarias para digerirlos.

El rumen tiene un tamaño relativamente grande, con una capacidad de 100 a 150 litros en una vaca o 6 litros en una oveja, y se encuentra a una temperatura y acidez constantes (39°C, pH 6,5). La naturaleza anóxica del rumen es un factor significativo para su funcionamiento. El forraje llega al rumen o panza, mezclado con la saliva que contiene bicarbonato y allí es sometido a un movimiento rotatorio durante el cual ocurren las fermentaciones. Esta acción peristáltica facilita la adherencia microbiana al material celulósico suspendido.

El alimento permanece en el rumen de nueve a doce horas. El fluido ruminal contiene gran cantidad de células, entre ellas 10¹⁰ a 10¹¹ bacterias /mL. Las bacterias y los hongos celulolíticos actúan produciendo el disacárido celobiosa y glucosa. Ésta experimenta una acción bacteriana en la que se

forman principalmente los ácidos acético, propiónico y butírico, dióxido de carbono y metano. Los ácidos grasos atraviesan la pared del rumen y pasan a la sangre. Desde allí van a los tejidos donde son utilizados como la principal fuente de energía. Además los microorganismos del rumen sintetizan aminoácidos y vitaminas esenciales para el animal.

La masa de forraje pasa gradualmente a la redecilla donde se forman unas porciones llamadas rumias que regresan a la boca y son masticadas otra vez. Cuando esta masa sólida queda bien fragmentada es engullida de nuevo pero pasa directamente al libro y termina en el cuajar, donde las condiciones son ácidas y allí se inicia un proceso digestivo que continua en el intestino. Muchas de las células microbianas formadas en el rumen son digeridas y constituyen la principal fuente de proteínas y vitaminas del animal, dado que la pastura es un alimento deficiente en proteínas.

Las reacciones químicas que ocurren en el rumen requieren la actividad combinada de una variedad de microorganismos entre los que predominan las bacterias anaerobias estrictas, dado que el potencial de reducción es de $-0,4$ V. La concentración de O_2 a ese potencial es 10^{-22} M (Carrillo, 2003).

6.6.8 SISTEMA LAGUNA DE OXIDACIÓN

Las lagunas de oxidación son excavaciones de poca profundidad en el cual se desarrolla una población microbiana compuesta por bacterias, algas y protozoos (que conviven en forma simbiótica) y eliminan en forma natural, patógenos relacionados con excrementos humanos, sólidos en suspensión y materia orgánica, causantes de enfermedades tales como el cólera, el parasitismo, la hepatitis y otras enfermedades gastrointestinales. Es un método fácil y eficiente para tratar aguas residuales provenientes del alcantarillado sanitario.

El sistema esta compuesto inicialmente por un grupo de trampas que atrapan y separan los elementos sólidos no inherentes al diseño del sistema, en etapas siguientes el agua y sus residuos pasan a un sistema de lagunas

(una o más) donde permanecen en contacto con el entorno, principalmente el aire, experimentando un proceso de oxidación y sedimentación, transformándose así la materia orgánica en otros tipos de nutrientes que pasan a formar parte de una comunidad diversa de plantas y ecosistema bacteriano acuático.

En el primer metro de profundidad, la renovación de oxígeno atmosférico hace que sea la reacción aerobia la que se lleve a cabo, ya que las bacterias que se desarrollan son aerobias. En los metros más profundos es una degradación anaerobia. Así se distinguen los distintos tipos: lagunas aerobias para las que tienen aproximadamente un metro de profundidad, y las lagunas facultativas, que combinan la reacción aerobia en la superficie con la anaerobia en las partes más profundas (Ingeniería de procesos químicos, 2008).

Fuentes de Inóculos para Reactores Anaerobios

Tipo de inóculo	actividad metanogénica (GCH ₄ -DQO/GSSV.D)	SSV EN EL LODO (G/L)
Lodo Granula	0,5 a 1,5	70 a 120
Biopelícula	0,4 a 1,2	ND
Lodos Digeridos de aguas residuales domésticas	0,02 a 0,2	15 a 40
Estiércol Digerido	0,02 a 0,08	20 a 80
Estiércol Fresco	0,001 a 0,002	30 a 140
Laguna Anaerobia	0,03	30
Tanque Séptico	0,01 a 0,07	10 a 50
Sedimento de Laguna	0,002 a 0,005	20 a 50

Fuente: Rodríguez, 2010.

6.7 METODOLOGÍA

Tabla 2. Modelo Operativo (Plan de acción)

Fases	Metas	Actividades	Responsables	Recursos	Presupuesto	Tiempo
1. Formulación de la propuesta	Arranque del reactor UASB mediante el uso de rumen fresco de ganado vacuno, lodo de lagunas de oxidación y lodos digeridos de aguas residuales domésticas.	Revisión bibliográfica	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$400	1 mes
2. Desarrollo preliminar de la propuesta	Cronograma de la propuesta.	Arranque reactor UASB y análisis Físico – Químicos.	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$ 1200	3 meses
3. Implementación de la propuesta	Ejecución de la propuesta	Ensayo del efecto del rumen de ganado, lodo de lagunas de oxidación y lodos digeridos de aguas residuales domésticas en el reactor UASB	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$ 600	2 meses
4. Evaluación de la propuesta	Comprobación del proceso de arranque del UASB	Constatación de la actividad metanogénica de los microorganismos de cada tipo de inóculo en el UASB.	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$ 1200	2 meses

Realizado por: Mario Villacrés, 2011

6.8 ADMINISTRACIÓN

La ejecución de la propuesta estará coordinada por los responsables del estudio Dr. Ramiro Velasteguí y el Egdo. Mario Danilo Villacrés Pérez, que una vez concluido se constituirá en un referente para investigaciones afines al tema tratado.

Tabla 3. Administración de la Propuesta

Indicadores a mejorar	Situación actual	Resultados esperados	Actividades	Responsables
Porcentajes de disminución de los niveles de contaminantes del lixiviado tratado.	Ineficiente utilización de inóculos para arranque de reactores.	Caracterizaciones físico químicas y microbiológicas del lixiviado crudo y tratado, y cantidades diferentes de inoculo utilizado.	Caracterizar físico, química y microbiológica del lixiviado crudo y tratado Determinación cantidades optimas de inoculo a utilizar.	Investigador: Mario Villacrés, Dr. Ramiro Velasteguí

Realizado por: Mario Villacrés, 2011

6.9. PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

- Se determinará mediante análisis físico – químicos, para determinar el mejor inoculo a ser utilizado a escala real para el arranque del reactor UASB perteneciente a la Planta de Tratamiento de Lixiviados (PTL) del relleno sanitario Ambato (RSA).

MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

Arratia, Olivia, 2009, "Proceso anaerobio aplicado al tratamiento de lixiviados (relleno sanitario de Mallasa)", Bolivia, <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/arratia.pdf>

Aurazo, Margarita, 2004, "manual para análisis básicos de calidad del agua de bebida".pdf, Perú.

Caicedo, Francisco, 2006, "Diseño, Construcción y arranque de un reactor U.A.S.B. piloto para el tratamiento de lixiviados", Universidad Nacional de Colombia sede Manizales especialización en ingeniería ambiental – área sanitaria, Colombia. <http://digital.unal.edu.co/dspace/bitstream/10245/427/1/franciscojaviercaicedomessa.pdf>

Carrillo, Leonor, 2003, "Microbiología Agrícola", Capítulo 5.p

Distintos métodos de análisis según varios autores. <http://www.google.com/url?sa=t&source=web&cd=3&ved=0CCIQFjAC>

Fajardo, María del Carmen, 1997, "Producción de inóculos para Reactores Anaerobios", Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México D.F – México. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/unam7/arranque.pdf>

Fernández, Jesús; Dolores, María, "Métodos Analíticos para aguas residuales".pdf

Fuertes, Héctor, 2009, "Sistema de tratamiento de lixiviados Relleno Sanitario", IDOM, Santo Domingo de los colorados – Ecuador,

<http://www.ambiente.gov.ec/userfiles/222/file/SANTO%20OMINGO/A2Lixiviados.pdf>

Herran, Carlos; EMETERIO, José, MEC 2009, Calor y temperatura, Proyecto Newton, <http://newton.cnice.mec.es/4eso/calor/calor.pdf>.

Hernández, Jorge; Morgan, Manuel; Noyola, Adalberto, Arranque de reactores anaerobios industriales: dos casos de estudio, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.- México.

Hilbert, Jorge, 2009, “Manual para la producción de Biogás”, Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A.–Castelar, <http://www.inta.gov.ar/info/bioenergia/Manual%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s%20del%20IIR.pdf>

Ingeniería de procesos, lagunas de oxidación, 2008, <http://ingenieriapro.blogspot.com/2008/05/lagunas-de-oxidacin.html>

Jaramillo, Jorge, 1991, “Residuos sólidos municipales Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales, Washington, D.C” .pdf

Management & ConsultingS.A, 2009, Biorecuperación de Lixiviados en Rellenos Sanitarios. Dirección de investigación agroindustrial Management & ConsultingS.A., <http://www.pdf-search-engine.com/relleno-sanitarios-pdf.html>

Morillo, Cristina; Fajardo, Eliana, 2005, “Estudio de los reactores UASB para el Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario La Esmeralda”, Universidad Nacional de Colombia, Manizales – Colombia, <http://digital.unal.edu.co/dspace/bitstream/10245/1035/1/fernandacristinamorilloleon.2005.pdf>

Méndez, Roger; Castillo, Elba; Sauri, Rosa; Quintal, Carlos; “Tratamiento físico – químico de los lixiviados de un relleno sanitario”, México, 2004.pdf

Moncayo, Gabriel, “manual de operación y mantenimiento Planta de Tratamiento de Lixiviados Relleno Sanitario Ambato”, 2009.

Muñoz, Rafael, “aproximación de estimación de estados en un reactor UASB”, revista colombiana de tecnologías de avanzada, universidad nacional de Colombia sede Manizales, 2010.

Rodríguez, Jenny, 2010, Arranque y Operación de reactores anaerobios, Universidad del Valle, Cali-Colombia, 2010, <http://www.ingenieroambiental.com/4014/arranque.pdf>.

Ruiz, Isabel; Álvarez, Juan; Soto, Manuel, “el potencial de la digestión anaerobia en el tratamiento de aguas residuales urbanas y efluentes de baja carga orgánica”, universidad de la Coruña, facultad de ciencias, España, 2010.

Torre, Francisco, 2005, “Identificación de Opciones MDL por la Reducción de Emisiones en la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en el Ecuador”, Quito – Ecuador.

Torre, Francisco, “Caso Cuenca-Ecuador- gestión pública con participación comunitaria”, DIRSA, Revista de casos exitosos de gestión integrada de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe, 2011, <http://www.dirsa.org/pgirsu/inicio.html>

Torres Patricia, Rodríguez Alexandra, Barba Luz, Morán Adriana y Narvárez Jorge, “Tratamiento anaerobio de lixiviados en reactores UASB”, Ingeniería & Desarrollo, Universidad del Norte 2005, http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/TratamientoAnaerobio.pdf

Texto unificado de Legislación Ambiental (TULAS), 2009, Libro VI, Anexo 1, tabla 12.

UPRM, 2009, Parámetros Físico-químicos: Alcalinidad, <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-alcalinidad.pdf>

Universidad de Chile, “Coagulación y Floculación de Contaminantes del Agua”, 2010, Chile. <http://cabierta.uchile.cl/revista/15/articulos/pdf/edu4.pdf>

Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra, “Tratamiento de Aguas Blancas y Aguas Residuales”, Ciudad Bolívar, 2000. <http://pdf./aguas-blancas-y-residuales.pdf>

Zayas, Manuel, 2010, “El Rombo de las investigaciones de las Ciencias Sociales”. Universidad de Málaga. Eumed.net.

2. ANEXOS

ANEXO A: TABLAS

Tabla 1. Características del biogás.

CARACTERISTICAS	CH4	CO2	H2-H2S	OTROS	BIOGAS 60/40
Proporciones % Volumen	55-70	27-44	1	3	100
Valor Calórico MJ/m3 kCal/m3	35,8 8600	-- --	10,8 2581	22 5258	21,5 5140
Ignición % en aire	5-15	--	--	--	6-12
Temp. ignición en °C	650-750	--	--	--	650-750
Presión crítica en Mpa	4,7	7,5	1,2	8,9	7,5-8,9
Densidad nominal en					
g/l	0,7	1,9	0,08	--	1,2
Densidad relativa	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83
Inflamabilidad Vol. en % aire	5-15	--	--	--	6-12

Fuente: Hilbert, 2009

Tabla 2. Registro diario de Temperaturas del lixiviado.

MES	NUMERO DÍAS	TEMPERATURAS		
		LIXIVIADO CRUDO	PROMEDIO UASB/DÍA	DESCARGA
DICIEMBRE (2009)	1	34,0	32,0	21,0
	2	33,0	28,3	22,0
	3	33,0	28,8	24,0
	4	34,0	28,3	23,0
	5	33,0	28,4	23,0
	6	34,0	27,7	23,0
	7	34,0	26,9	22,0
	8	33,0	25,7	21,0
	9	35,0	25,8	22,0
	10	34,0	27,3	22,0
	11	27,0	27,0	23,0
	12	25,0	25,8	23,0
	13	26,0	25,3	22,0
	14	26,0	26,0	22,0
15	26,0	26,2	23,0	
ENERO (2010)	17	34,0	23,7	20,0
	18	34,0	24,7	20,0

	19	34,0	25,5	21,0
	20	34,0	26,4	21,0
	21	33,0	27,0	23,0
	22	34,0	27,3	23,0
	23	33,0	26,7	23,0
	24	34,0	26,0	23,0
	25	33,0	26,7	23,0
	26	33,0	25,5	21,0
	27	33,0	25,7	22,0
	28	33,0	25,0	19,0
	29	33,0	25,7	19,0
	30	33,0	24,5	19,0
	31	34,0	25,0	18,0
	32	33,0	26,7	20,0
	33	34,0	27,0	22,0
	34	33,0	27,0	20,0
	35	33,0	28,0	22,0
	36	33,0	28,0	23,0
	37	33,0	28,0	23,0
	38	32,0	26,0	23,0
	39	33,0	22,5	19,0
	40	33,0	20,5	19,0
	41	33,0	23,0	19,0
	42	34,0	23,0	19,0
	43	33,0	23,1	19,0
	44	33,0	23,0	18,0
	45	34,0	23,2	18,0
	46	33,0	23,3	18,0
	47	33,0	23,1	19,0
	48	34,0	23,0	19,0
	49	34,0	23,6	19,0
	50	34,0	28,0	20,0
	51	34,0	29,2	20,0
	52	34,0	29,7	20,0
	53	33,0	28,1	21,0
	54	33,0	27,5	18,0
FEBRERO (2010)	55	34,0	26,7	18,0
	56	34,0	26,0	17,0
	57	34,0	26,0	19,0
	58	34,0	25,0	19,0
	59	33,0	27,3	19,0
	60	33,0	24,0	20,0
	61	34,0	23,0	20,0
	62	33,0	24,0	20,0
	63	34,0	23,2	20,0
MARZO (2010)	64	34,0	23,2	20,0
	65	34,0	23,0	20,0

66	34,0	22,3	20,0
67	34,0	21,6	20,0
68	34,0	21,9	20,0
69	33,0	21,9	20,0
70	33,0	21,9	20,0
71	33,0	21,9	19,0
72	33,0	21,9	19,0
73	33,0	21,9	19,0
74	33,0	21,9	19,0
VAL MIN	25,0	20,5	17,0
VAL MAX	35,0	32,0	24,0
PROMEDIO	33,0	25,3	20,5
MODA	33	23	20
VARIANZA	3,87504	5,67957	2,96575
DESVIACIÓN	1,96851	2,3831	1,72213

Realizado por: Villacrés, 2011

Tabla 3. Registro diario de pH del lixiviado.

MES	NUMERO DÍAS	pH		
		LIXIVIADO CRUDO	PROMEDIO UASB DÍA	DESCARGA
DICIEMBRE (2009)	1	8,0	7,5	8,0
	2	8,0	7,5	8,0
	3	8,0	8,0	8,0
	4	8,0	8,0	8,0
	5	8,0	7,5	8,0
	6	8,0	7,5	8,0
	7	8,0	8,0	8,5
	8	8,0	8,0	8,5
	9	8,0	8,0	8,5
	10	8,0	8,0	8,5
	11	8,0	8,5	8,5
	12	8,0	8,5	8,5
	13	8,0	8,5	8,5
	14	8,0	8,5	8,5
	15	8,0	8,5	8,5
	16	8,0	8,5	8,5
ENERO (2010)	17	8,0	8,5	8,5
	18	8,0	8,5	8,5
	19	8,0	8,5	8,5
	20	8,0	8,5	8,5
	21	8,0	8,5	8,5
	22	8,0	8,5	8,5

	23	8,0	8,5	8,5
	24	8,0	8,5	8,5
	25	8,0	8,5	8,5
	26	8,0	8,0	8,5
	27	8,0	8,5	8,5
	28	8,0	8,5	8,5
	29	8,0	8,5	8,5
	30	8,0	8,0	8,5
	31	8,0	8,0	8,5
	32	8,0	8,0	8,5
	33	8,0	8,0	8,5
	34	8,0	8,0	8,5
	35	8,0	8,0	8,5
	36	8,0	8,0	8,5
FEBRERO (2010)	37	8,0	8,0	8,5
	38	8,0	8,0	8,5
	39	8,0	8,0	8,5
	40	8,0	8,0	8,5
	41	8,0	8,0	8,5
	42	8,0	8,0	8,5
	43	8,0	8,0	8,5
	44	8,0	8,0	8,5
	45	8,0	8,0	8,5
	46	8,0	8,0	8,5
	47	8,0	8,0	8,5
	48	8,0	8,0	8,5
	49	8,0	8,0	8,5
	50	8,0	8,0	8,5
	51	8,0	8,0	8,5
	52	8,0	8,0	8,5
	53	8,0	8,0	8,5
	54	8,0	8,0	8,5
	55	8,0	8,0	8,5
	56	8,0	8,0	8,5
MARZO (2010)	57	8,0	8,0	8,5
	58	8,0	8,0	8,5
	59	8,0	8,0	8,5
	60	8,0	8,0	8,5
	61	8,0	8,0	8,5
	62	8,0	8,0	8,5
	63	8,0	8,0	8,5
	64	8,0	8,0	8,5
	65	8,0	8,0	8,5
	66	8,0	8,0	8,5
	67	8,0	8,0	8,5
	68	8,0	8,0	8,5
	69	8,0	8,0	8,5
	70	8,0	8,0	8,5

	71	8,0	8,0	8,5
	72	8,0	8,0	8,5
	73	8,0	8,0	8,5
	74	8,0	8,0	8,5
	VAL MIN	8,0	7,5	8,0
	VAL MAX	8,0	8,5	8,5
	PROMEDIO	8,0	8,1	8,5
	MODA	8	8	8,5
	VARIANZA	0	0,066373154	0,0188819
	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0	0,257629878	0,13741141

Realizado por: Villacrés, 2011

Tabla 4. Registro diario de Caudal y Volumen de biogás producido.

MES	OTROS		
	NUMERO DÍAS	CAUDAL (lt/seg)	VOLUMEN BIOGÁS (lt/día)
DICIEMBRE (2009)	1	0,20	35,0
	2	0,20	35,0
	3	0,20	29,0
	4	0,20	26,0
	5	0,20	28,0
	6	0,18	26,0
	7	0,19	27,0
	8	0,20	20,0
	9	0,20	15,0
	10	0,20	20,0
	11	0,20	15,0
	12	0,17	12,0
	13	0,17	20,0
	14	0,18	22,0
	15	0,20	25,0
	16	0,20	15,0
ENERO (2010)	17	0,28	10,0
	18	0,27	11,0
	19	0,27	9,0
	20	0,29	7,0
	21	0,27	12,0
	22	0,27	15,0
	23	0,27	14,0
	24	0,27	17,0
	25	0,27	18,0
	26	0,27	14,0

	27	0,27	14,0
	28	0,27	16,0
	29	0,27	19,0
	30	0,27	14,0
	31	0,27	10,0
	32	0,27	8,0
	33	0,27	12,0
	34	0,33	16,0
	35	0,33	21,0
	36	0,33	22,0
FEBRERO (2010)	37	0,33	25,0
	38	0,29	24,0
	39	0,27	22,0
	40	0,29	22,0
	41	0,27	12,0
	42	0,27	9,0
	43	0,27	9,0
	44	0,27	9,0
	45	0,27	5,0
	46	0,27	5,0
	47	0,27	5,0
	48	0,27	3,0
	49	0,27	5,0
	50	2,40	5,0
	51	2,40	5,0
	52	2,40	5,0
	53	1,16	5,0
	54	1,16	5,0
55	1,16	5,0	
56	1,16	5,0	
MARZO (2010)	57	0,06	15,0
	58	0,06	9,0
	59	0,06	9,0
	60	0,20	11,0
	61	0,20	3,0
	62	0,20	3,0
	63	0,13	0,0
	64	0,16	0,0
	65	0,27	0,0
	66	0,22	0,0
	67	0,19	0,0
	68	0,19	0,0
	69	0,10	0,0
	70	0,14	0,0
	71	0,14	0,0
	72	0,31	0,0
	73	0,31	0,0
	74	0,15	0,0

VAL MIN	0,06	0
VAL MAX	2,40	35
PROMEDIO	0,4	12,0
MODA	0,27	0
VARIANZA	0,2254	84,8354
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,4748	9,2106

Realizado por: Villacrés, 2011

Tabla 5. Resultados análisis Físico – Químicos del Lixiviado Crudo

Fecha ingreso a laboratorio: noviembre 2009

LIXIVIADO CRUDO					
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITE ALCANTARILLADO*	LIMITE CUERPO DE AGUA DULCE*	PROCEDIMIENTO
Aluminio	mg/l	3,74	5	5	Espectrofotométrico
DBO ₅	mg/l	2840			APHA 5210 B
DQO	mg/l	10810	500	250	APHA 5220 D
arsénico, As	mg/l	0,043	0,1	0,1	Absorción atómica
Bario, Ba	mg/l	262	5	2	Espectrofotométrico
Boro, B	mg/l	35,2		2	Espectrofotométrico
Cianuro libre	mg/l	0,64			Espectrofotométrico
Cloro activo	mg/l	0,02	0,5	0,5	Titulación
Cloruros	mg/l	3548		1000	APHA 4500-Cl B
Cobalto, Co	mg/l	42,7	0,5	0,5	Espectrofotométrico
Cobre, Cu	mg/l	2,6	1	1	Espectrofotométrico
Cromo hexavalente	mg/l	0,36	0,5	0,5	Colorimétrico
Estaño, Sn	mg/l	0,5		5	Absorción atómica
Fenoles	mg/l	0,3	0,2	0,2	APHA 5530 C
Fosforo total, P	mg/l	2,6	15	10	APHA 4500- P C
Hierro total, Fe	mg/l	72,5	25	10	APHA 3500 - Fe B
Manganeso, Mn	mg/l	8	10	2	Colorimétrico
Níquel, Ni	mg/l	8,12	2	2	Colorimétrico
Nitratos	mg/l	10			Colorimétrico
Nitritos	mg/l	0,04			APHA 4500 - NO ₂ B
Nitrógeno (Kjeldahl)	mg/l	720			Nessler APHA 4500 N - B
Organoclorados	mg/l	0,00044	0,05	0,05	EPA 8081
Organofosforados	mg/l	0,01406	0,1	0,1	EPA 8141
Plata, Ag	mg/l	0,004	0,5	0,1	Colorimétrico
Sulfatos	mg/l	1,99	400	1000	APHA 4500 - SO ₄
Sulfitos	mg/l	44,83		2	APHA 4500 - SO ₃
Sulfuros	mg/l	48	1	0,5	APHA 4500 - S-2 F
TPH (hidrocarburos totales de petróleo)	mg/l	15,6	20	20	APHA 413.1
Tensoactivos (detergentes aniónicos)	mg/l	0,862	2	0,5	APHA 5540 - C
Vanadio, V	mg/l	0,09	5	5	Absorción atómica
Zinc, Zn	mg/l	0,35	10	5	Absorción atómica

Fuente: CICAM-EPN, 2009

*Límites máximos permisibles de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental, Tablas 11 y 12

Tabla 6. Resultados análisis Físico – Químicos del Lixiviado interior del UASB

Fecha ingreso a laboratorio: enero 2010

Lixiviado UASB					
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS	LIMITE ALCANTARILLADO*	LIMITE CUERPO DE AGUA DULCE*	PROCEDIMIENTO
Aluminio	mg/l	0,325	5	5	Espectrofotométrico
DBO5	mg/l	1024	250	100	APHA 5210 B
DQO	mg/l	4330	500	250	APHA 5220 D
Aceites y grasas	mg/l	532	100	0,3	APHA 5220 B
Arsénico, As	ug/l	0,08	0,1	0,1 mg/l	Absorción atómica
Cadmio, Cd	ug/l	<0,3	0,02 mg/l	0,02 mg/l	Espectrofotométrico
Cloruros	mg/l	3599		1000	APHA 4500-Cl B
Conductividad	ms/cm a 25°C	26,8			APHA 2510 B
Cromo total	mg/l	1,075			APHA 3500 Cr B
Fenoles	mg/l	0,33	0,2	0,2	APHA 5530 C
Fosfatos	mg/l	60			APHA 4500- P C
Fosforo total, P	mg/l	23,6	15	10	APHA 3500 - Fe B
Mercurio, Hg	ug/l	<0,1	0,01 mg/l	0,005 mg/l	Absorción atómica
Nitrógeno amoniacal, N-NH3	mg/l	724			Nessler
Nitrógeno (Kjeldahl)	mg/l	768			Nessler APHA 4500 N - B
Nitrógeno orgánico	mg/l	44			Nessler APHA 4500 N - B
pH		8,6	5 a 9	6 a 9	APHA 4500 H
Plata, Ag	mg/l	<0,005	0,5	0,1	Colorimétrico
Plomo, Pb	ug/l	200	0,5 mg/l	0,2 mg/l	APHA 3500 Pb B
Sólidos suspendidos	mg/l	47	220 mg/l	100 mg/l	APHA 2540
Sulfatos	mg/l	<2	400	1000	APHA 4500 - SO4
Tensoactivos	mg/l	<0,1	2	0,5	APHA 5540 - C
Zinc, Zn	mg/l	0,61	10	5	Absorción atómica

Fuente: CICAM-EPN, 2010

*Límites máximos permisibles de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental, Tablas 11 y 12

Tabla 7. Resultados análisis Físico – Químicos del Lixiviado a la salida del Biofiltro

Fecha ingreso a laboratorio: febrero de 2010

LIXIVIADO SALIDA BIOFILTRO					
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS	LIMITE ALCANTARILLADO*	LIMITE CUERPO DE AGUA DULCE*	PROCEDIMIENTO
Aluminio	mg/l	0,008	5	5	Espectrofotométrico
DBO5	mg/l	936	250	100	APHA 5210 B
DQO	mg/l	3960	500	250	APHA 5220 D
Aceites y grasas	mg/l	4	100	0,3	APHA 5220 B
arsénico, As	ug/l	1,4	0,1 mg/l	0,1 mg/l	Absorción atómica
Cadmio, Cd	ug/l	400	0,02 mg/l	0,02 mg/l	Espectrofotométrico
Cloruros	mg/l	3942		1000	APHA 4500-CI B
Conductividad	ms/cm a 25°C	30,8			APHA 2510 B
Cromo total	mg/l	0,16			APHA 3500 Cr B
Fenoles	mg/l	0,882	0,2	0,2	APHA 5530 C
Fosfatos	mg/l	60			APHA 4500- P C
Fosforo total, P	mg/l	24	15	10	APHA 3500 - Fe B
Mercurio, Hg	ug/l	<0,1	0,01 mg/l	0,005 mg/l	Absorción atómica
Nitrógeno amoniacal, N-NH3	mg/l	750			Nessler
Nitrógeno (Kjeldahl)	mg/l	782,4			Nessler APHA 4500 N - B
Nitrógeno orgánico	mg/l	32,4			Nessler APHA 4500 N - B
pH		8,8	5 a 9	6 a 9	APHA 4500 H
Plata, Ag	mg/l	<0,01	0,5	0,1	Colorimétrico
Plomo, Pb	ug/l	1800	0,5 mg/l	0,2 mg/l	APHA 3500 Pb B
Sólidos suspendidos	mg/l	45	220 mg/l	100 mg/l	APHA 2540
Sulfatos	mg/l	<2	400	1000	APHA 4500 - SO4
Tensoactivos (detergentes aniónicos)	mg/l	12,76	2	0,5	APHA 5540 - C
Zinc, Zn	mg/l	0,45	10	5	Absorción atómica

Fuente: CICAM-EPN, 2010

*Límites máximos permisibles de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental, Tablas 11 y 12

Tabla 8. Resultados análisis Físico – Químicos lixiviado clarificador

Fecha ingreso a laboratorio: marzo de 2010

LIXIVIADO CLARIFICADOR					
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS	LIMITE ALCANTARILLADO*	LIMITE CUERPO DE AGUA DULCE*	PROCEDIMIENTO
Aluminio	mg/l	0,008	5	5	Espectrofotométrico
DBO5	mg/l	1173,6	250	100	APHA 5210 B
DQO	mg/l	5510	500	250	APHA 5220 D
Aceites y grasas	mg/l	184	100	0,3	APHA 5220 B
arsénico, As	ug/l	0,2	0,1 mg/l	0,1 mg/l	Absorción atómica
Cadmio, Cd	ug/l	45	0,02 mg/l	0,02 mg/l	Espectrofotométrico
Cloruros	mg/l	4237,7		1000	APHA 4500-CI B
Conductividad	ms/cm a 25°C	32,2			APHA 2510 B
Cromo total	mg/l	0,38			APHA 3500 Cr B
Fenoles	mg/l	1,66	0,2	0,2	APHA 5530 C
Fosfatos	mg/l	70			APHA 4500- P C
Fosforo total, P	mg/l	24	15	10	APHA 3500 - Fe B
Mercurio, Hg	ug/l	0,1	0,01 mg/l	0,005 mg/l	Absorción atómica
Nitrógeno amoniacal, N-NH3	mg/l	1030			Nessler
Nitrógeno (Kjeldahl)	mg/l	3144			Nessler APHA 4500 N - B
Nitrógeno orgánico	mg/l	2144			Nessler APHA 4500 N - B
pH		9,07	5 a 9	6 a 9	APHA 4500 H
Plata, Ag	mg/l	<0,01	0,5	0,1	Colorimétrico
Plomo, Pb	ug/l	50	0,5 mg/l	0,2 mg/l	APHA 3500 Pb B
Sólidos suspendidos	mg/l	128	220 mg/l	100 mg/l	APHA 2540
Sulfatos	mg/l	<2	400	1000	APHA 4500 - SO4
Tensoactivos (detergentes aniónicos)	mg/l	12,12	2	0,5	APHA 5540 - C
Zinc, Zn	mg/l	0,44	10	5	Absorción atómica

Fuente: CICAM-EPN, 2010

*Límites máximos permisibles de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental, Tablas 11 y 12.

Tabla 9. Resultados de las pruebas de dosificación realizadas con el lixiviado de salida del biofiltro, realizado por Químicos e Importaciones

SULFATO DE ALUMINIO	SULFATO DE ALUMINIO	POLICLORURO DE ALUMINIO	SULAFATO DE ALUMINIO + POLIAMINA	POLICLORURO DE ALUMINIO+ POLIAMINA
DOSIS: ppm	200	120	100+4	80+3
TURBIDEZ: FTU	470	390	290	250

Fuente: Químicos e Importaciones H&H, 2009.

Tabla 10. Resultados de los parámetros más representativos analizados.

PARÁMETRO	LIXIVIADO CRUDO (ppm)	REACTOR UASB (ppm)	BIOFILTRO BFP(ppm)	CLARIFICADOR (ppm)
DBO ₅	2840	1024	936	1173,6
DQO	10810	4330	3960	5510
*Aceites y grasas		532	4	184
Cadmio, Cd	256	0,2	400	45
Cloruros	3548	3599	3942	4237,7
Nitrógeno (Kjeldahl)	720	768	782,4	3144
Plomo, Pb	572	200	1800	50
Sólidos suspendidos	13540	47	45	128

Fuente: CICAM-EPN 2010

Realizado por: Villacrés, 2011

***Parámetro no analizado en la muestra de lixiviado crudo.**

Tabla 11. Porcentajes totales de disminución de la carga contaminante en los principales parámetros.

PARÁMETRO	* PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN TOTAL (%)
DBO ₅	58,7
DQO	49,0
Aceites y grasas	65,4
Cadmio, Cd	82,4
Cloruros	19,4
Plomo, Pb	91,3
Sólidos suspendidos	99,1

Fuente: CICAM-EPN 2010

Realizado por: Villacrés, 2011

***Realizado por Comparación entre los resultados del lixiviado crudo y a la salida del clarificador (tabla 10).**

TABLA 12. RESULTADOS DE LOS ANALISIS ESTADISTICOS PARA CADA UNO DE LOS PARAMETROS, ENTRE EL LIXIVIADO CRUDO Y EL LIXIVIADO DE DESCARGA.

ALUMINIO

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	3,74	0,008
Varianza	0,0008	0,000008
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	185,6739397	
P(T<=t) una cola	0,001714332	
Valor crítico de t (una cola)	6,313751515	
P(T<=t) dos colas	0,003428664	
Valor crítico de t (dos colas)	12,70620474	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, existe diferencia significativa, es decir hay disminución significativa de la concentración de Aluminio.

DBO₅

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	2840	1173,6
Varianza	200	124,82
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	130,7593863	
P(T<=t) una cola	2,92406E-05	
Valor crítico de t (una cola)	2,91998558	
P(T<=t) dos colas	5,84812E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	4,30265273	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, existe diferencia significativa, es decir que se da una disminución de la concentración de DBO₅.

DQO

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	10810	5510
Varianza	200	1352
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	190,258912	
P(T<=t) una cola	0,00167302	
Valor crítico de t (una cola)	6,313751515	
P(T<=t) dos colas	0,00334604	
Valor crítico de t (dos colas)	12,70620474	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, existe diferencia significativa, es decir hay disminución de la concentración de DQO.

ARSÉNICO

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	0,043	0,2
Varianza	0,000018	0,0032
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	-3,914007291	
P(T<=t) una cola	0,079622504	
Valor crítico de t (una cola)	6,313751515	
P(T<=t) dos colas	0,159245009	
Valor crítico de t (dos colas)	12,70620474	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, no existe diferencia significativa, es decir que la concentración de arsénico es similar en ambos casos.

CADMIO

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	256	45
Varianza	8	18
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	58,5208707	
P(T<=t) una cola	0,000145935	
Valor crítico de t (una cola)	2,91998558	
P(T<=t) dos colas	0,000291869	
Valor crítico de t (dos colas)	4,30265273	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, existe diferencia significativa, es decir se da una gran disminución de la concentración de Cadmio.

CLORUROS

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	3548	4237,7
Varianza	128	2191,22
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	-20,25369427	
P(T<=t) una cola	0,015703387	
Valor crítico de t (una cola)	6,313751515	
P(T<=t) dos colas	0,031406775	
Valor crítico de t (dos colas)	12,70620474	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, existe diferencia significativa, es decir, para este caso existe incremento en la concentración de cloruros.

CROMO TOTAL

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	0,36	0,38
Varianza	0,0008	0,0008
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	0,70710678	
P(T<=t) una cola	0,2763932	
Valor crítico de t (una cola)	2,91998558	
P(T<=t) dos colas	0,5527864	
Valor crítico de t (dos colas)	4,30265273	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, no existe diferencia significativa entre los procesos, es decir que la concentración de cromo total es similar en ambos casos.

FENOLES

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	0,3	1,66
Varianza	0,0008	0,0512
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	8,43436195	
P(T<=t) una cola	0,03756429	
Valor crítico de t (una cola)	6,31375151	
P(T<=t) dos colas	0,07512858	
Valor crítico de t (dos colas)	12,7062047	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, no existe diferencia significativa entre los procesos, es decir que la concentración de Fenoles total es similar en ambos casos.

FÓSFORO TOTAL

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	2,6	24
Varianza	0,32	18
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	7,07075902	
P(T<=t) una cola	0,04472119	
Valor crítico de t (una cola)	6,31375151	
P(T<=t) dos colas	0,08944238	
Valor crítico de t (dos colas)	12,7062047	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, no existe diferencia significativa entre los procesos, es decir que la concentración de Fosforo total es similar en ambos casos.

MERCURIO

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	0,09	0,1
Varianza	0,0002	0,0128
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	-0,12403473	
P(T<=t) una cola	0,46071914	
Valor crítico de t (una cola)	6,31375151	
P(T<=t) dos colas	0,92143828	
Valor crítico de t (dos colas)	12,7062047	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, no existe diferencia significativa entre los procesos, es decir que la concentración de Mercurio es similar en ambos casos.

NITRÓGENO KJLELDAHL

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	720	3144
Varianza	800	3200
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	-54,2022878	
P(T<=t) una cola	0,00587196	
Valor crítico de t (una cola)	6,31375151	
P(T<=t) dos colas	0,01174392	
Valor crítico de t (dos colas)	12,7062047	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, existe diferencia significativa entre los procesos, es decir, para este caso existe incremento en la concentración del Nitrógeno Kjeldahl.

PLATA

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	0,004	0,01
Varianza	0,000008	0,00000128
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	-2,78543007	
P(T<=t) una cola	0,10971498	
Valor crítico de t (una cola)	6,31375151	
P(T<=t) dos colas	0,21942995	
Valor crítico de t (dos colas)	12,7062047	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, no existe diferencia significativa entre los procesos, es decir que la concentración de Plata es similar en ambos casos.

PLOMO

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	572	50
Varianza	288	72
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	38,90758281	
P(T<=t) una cola	0,008179378	
Valor crítico de t (una cola)	6,313751515	
P(T<=t) dos colas	0,016358756	
Valor crítico de t (dos colas)	12,70620474	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, existe diferencia significativa entre los procesos, es decir, para este caso se da un descenso significativo en la concentración de Plomo.

SOLIDOS SUSPENDIDOS

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	13540	128
Varianza	882	128
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	596,8261667	
P(T<=t) una cola	0,000533337	
Valor crítico de t (una cola)	6,313751515	
P(T<=t) dos colas	0,001066674	
Valor crítico de t (dos colas)	12,70620474	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, existe diferencia significativa entre los procesos, es decir, para este caso se da descenso en la concentración de Solidos suspendidos

SULFATOS

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	1,5	2
Varianza	0,18	0,02
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	-1,58113883	
P(T<=t) una cola	0,179508518	
Valor crítico de t (una cola)	6,313751515	
P(T<=t) dos colas	0,359017036	
Valor crítico de t (dos colas)	12,70620474	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, no existe diferencia significativa entre los procesos, es decir que la concentración de sulfatos es similar en ambos casos.

TENSOACTIVOS

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	0,862	12,12
Varianza	0,027848	8,9888
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	-5,302170442	
P(T<=t) una cola	0,059336884	
Valor crítico de t (una cola)	6,313751515	
P(T<=t) dos colas	0,118673769	
Valor crítico de t (dos colas)	12,70620474	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, no existe diferencia significativa entre los procesos, es decir que la concentración de Tensoactivos es similar en ambos casos.

ZINC

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	INGRESO	DESCARGA
Media	0,35	0,44
Varianza	0,005	0,0072
Observaciones	2	2
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	-1,152331919	
P(T<=t) una cola	0,184161917	
Valor crítico de t (una cola)	2,91998558	
P(T<=t) dos colas	0,368323834	
Valor crítico de t (dos colas)	4,30265273	

Realizado por: Villacrés, 2011

A un nivel de confianza del 95%, no existe diferencia significativa entre los procesos, es decir que la concentración de Zincs es similar en ambos casos.

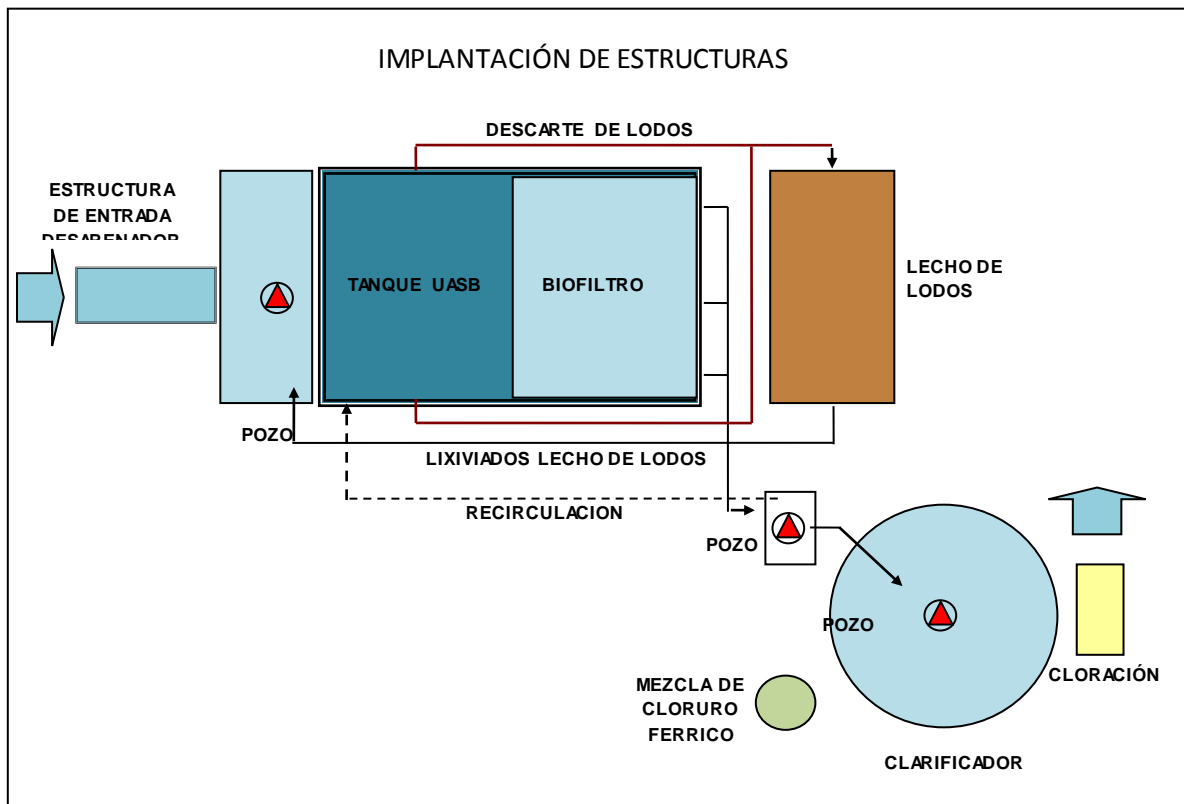
Tabla 13. Resumen del análisis estadístico aplicado a los diferentes parámetros estadísticos entre el lixiviado crudo y el de descarga.

PARÁMETRO	EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA	NO EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA
Aluminio, Al	Desciende su concentración.	
DBO₅	Desciende su concentración.	
DQO	Desciende su concentración.	
Arsénico, As		Su concentración no varía significativamente.
Cadmio, Cd	Desciende su concentración.	
Cloruros	Existe un incremento en su concentración	
Cromo total, Cr		Su concentración no varía significativamente.
Fenoles		Su concentración no varía significativamente.
Fosforo total, P		Su concentración no varía significativamente.
Mercurio, Hg		Su concentración no varía significativamente.
Nitrógeno (Kjeldahl)	Existe un incremento en su concentración	
Plata, Ag		Su concentración no varía significativamente.
Plomo, Pb	Desciende su concentración.	
Sólidos suspendidos	Desciende su concentración.	
Sulfatos		Su concentración no varía significativamente.
Tensoactivos (detergentes aniónicos)		Su concentración no varía significativamente.
Zinc, Zn		Su concentración no varía significativamente.

Realizado por: Villacrés, 2011

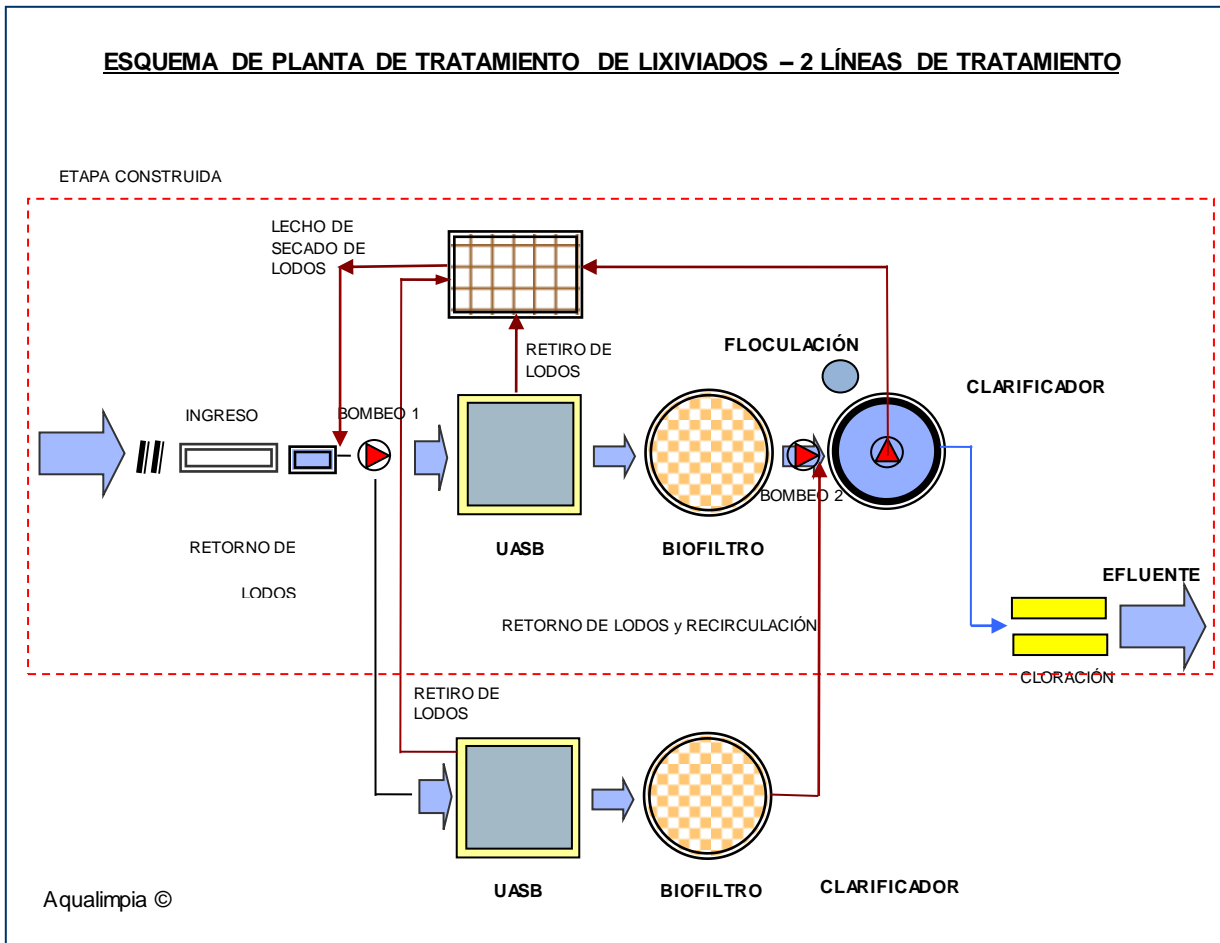
ANEXO B: DIAGRAMAS

Diagrama 1. Esquema Planta de Tratamiento de lixiviados



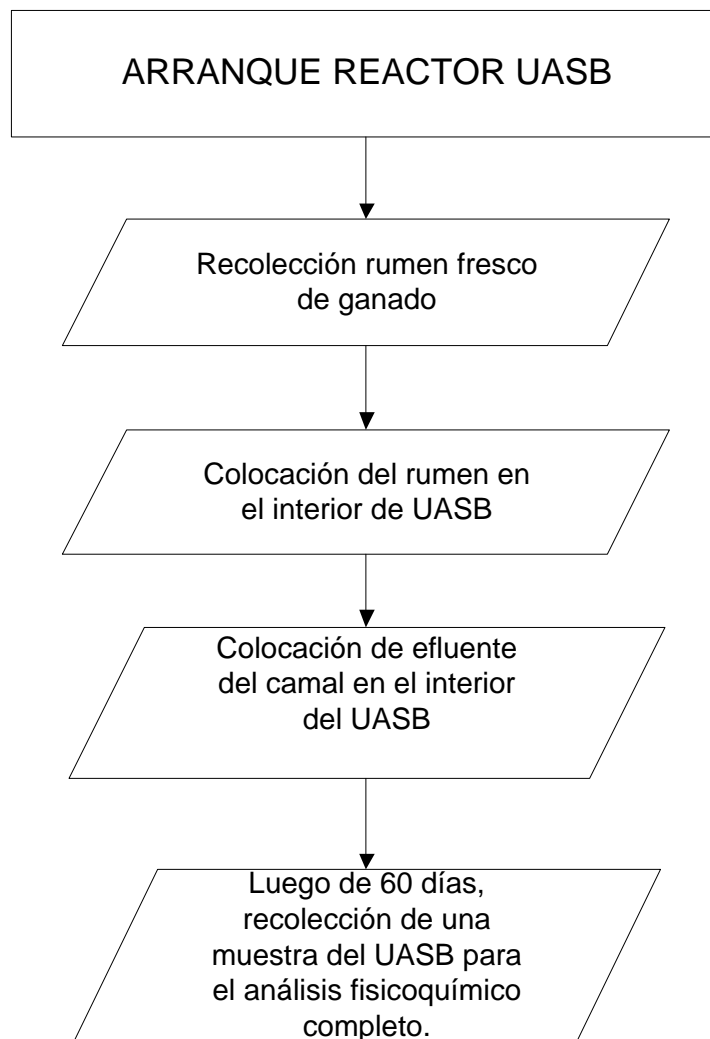
Fuente: Moncayo, 2009

Diagrama 2. Flujo de Planta de tratamiento de Lixiviados



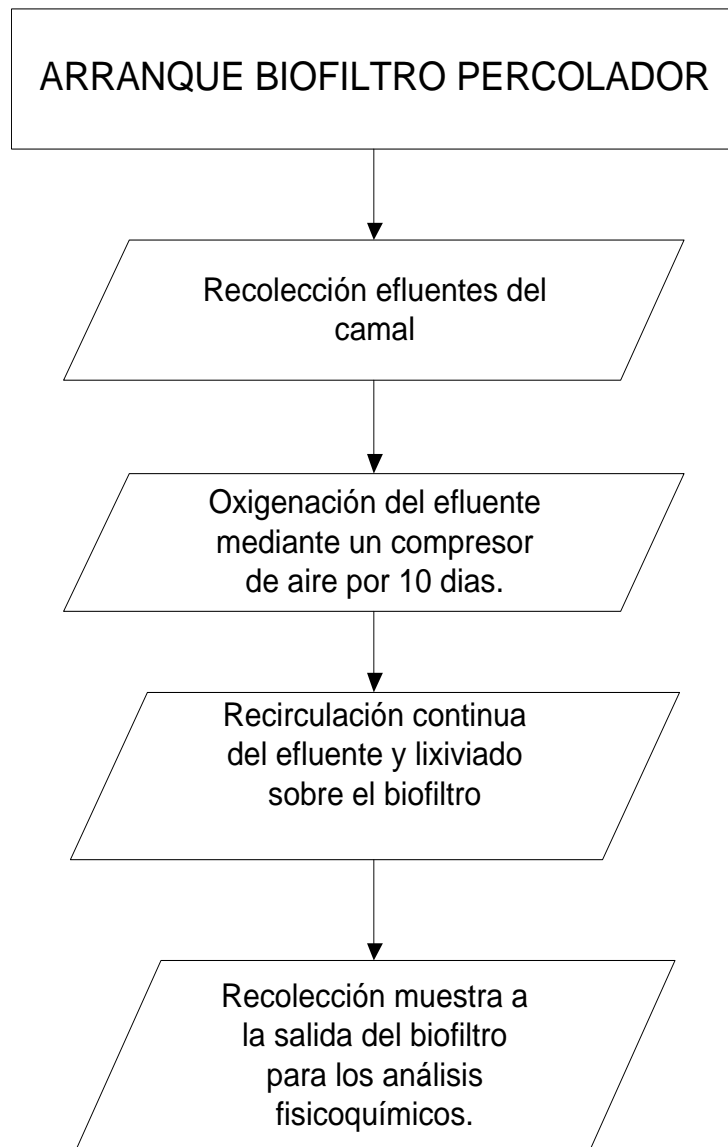
Fuente: Moncayo, 2009

Diagrama 3. Proceso de Arranque del reactor UASB



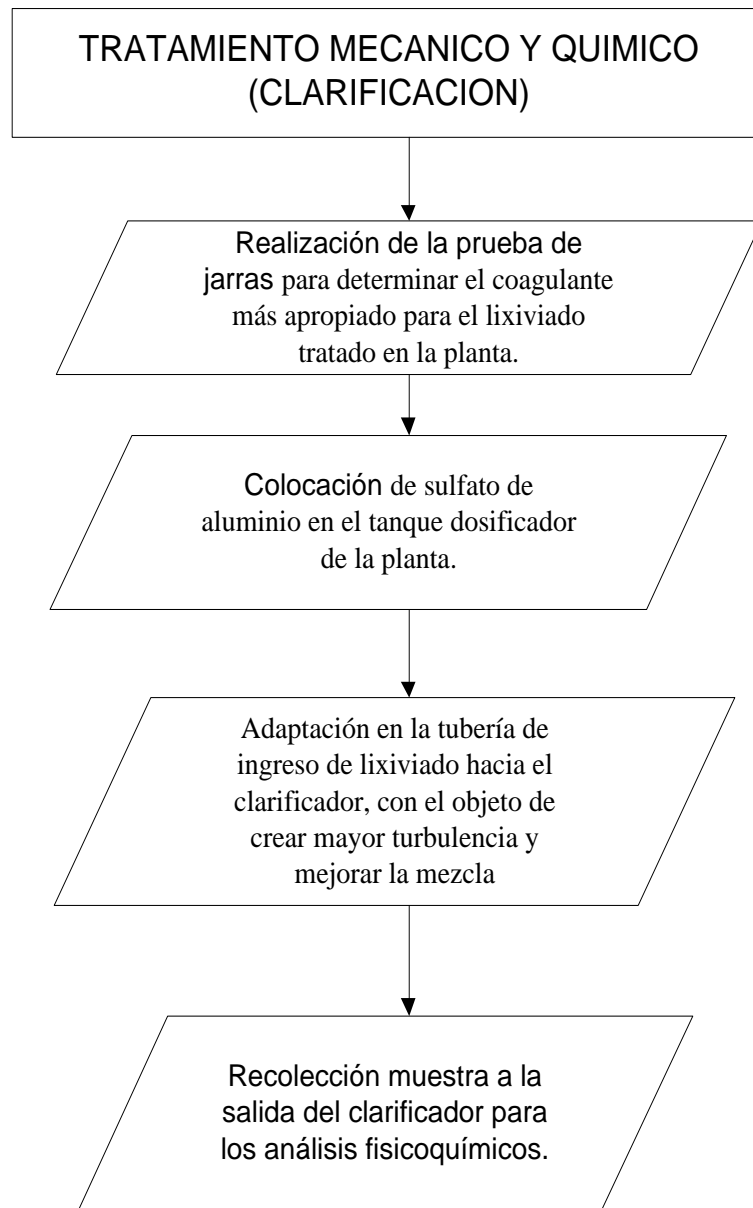
Realizado por: Villacrés, 2011

Diagrama 4. Proceso de Arranque Biofiltro Percolador (BFP)



Realizado por: Villacrés, 2011

Diagrama 5. Proceso de puesta en marcha de la etapa de Clarificación.



Realizado por: Villacrés, 2011

ANEXO C: IMÁGENES



Imagen 1. Tanque desarenador, válvula a pozo bombas 1 y válvula a bypas



Imagen 2. Pozo de bombas #1

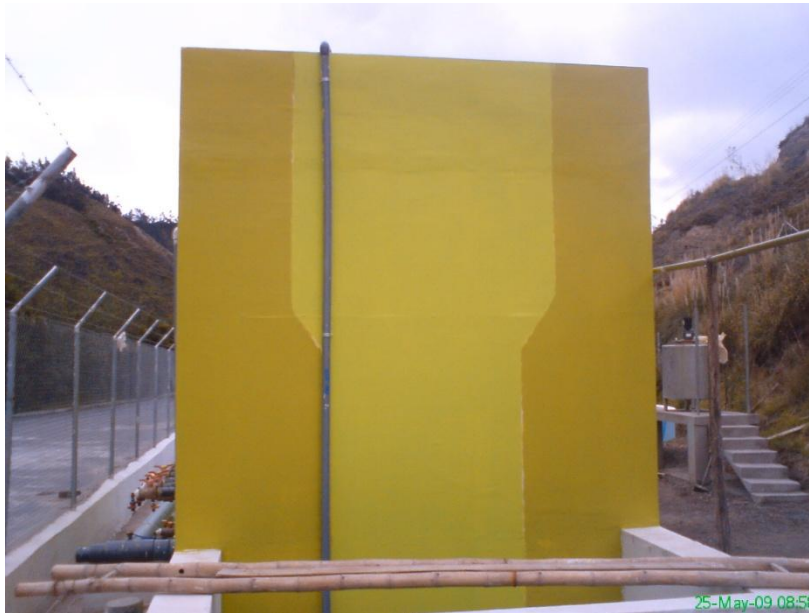
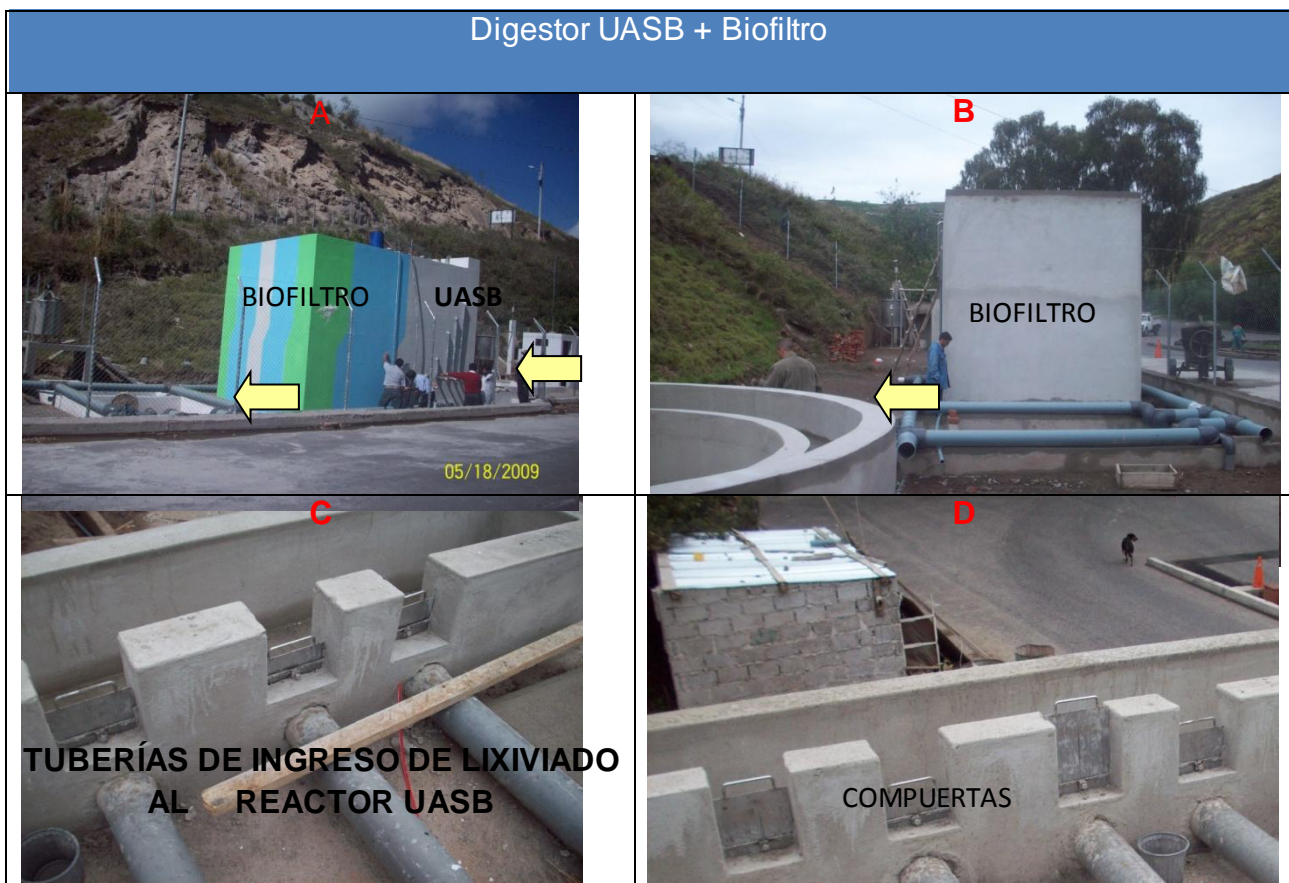


Imagen 3. Reactor Anaerobio UASB

Imagen 4. Estructuras UASB + Biofiltro





F

Agujeros de ventilación Biofiltro



G

Tuberías de descarga



H



I



Imagen 5. Biofiltro Percolador (BFP)



Imagen 6. Pozo de bombas 2



Imagen 7. Tanque del coagulante



Imagen 8. Tanque Clarificador



Imagen 9. Lecho de secado de lodos



Imagen 10. Quemador de biogás funcionando



Imagen 11. Panel principal de control para el funcionamiento de los sistemas automáticos de la planta



Imagen 12. Realización del muestreo de lixiviado a diferentes alturas del UASB



Imagen 13. Trabajo realizado para la instalación de la cubierta en el trayecto de ingreso del lixiviado crudo.



Imagen 14. Cubierta instalada actualmente

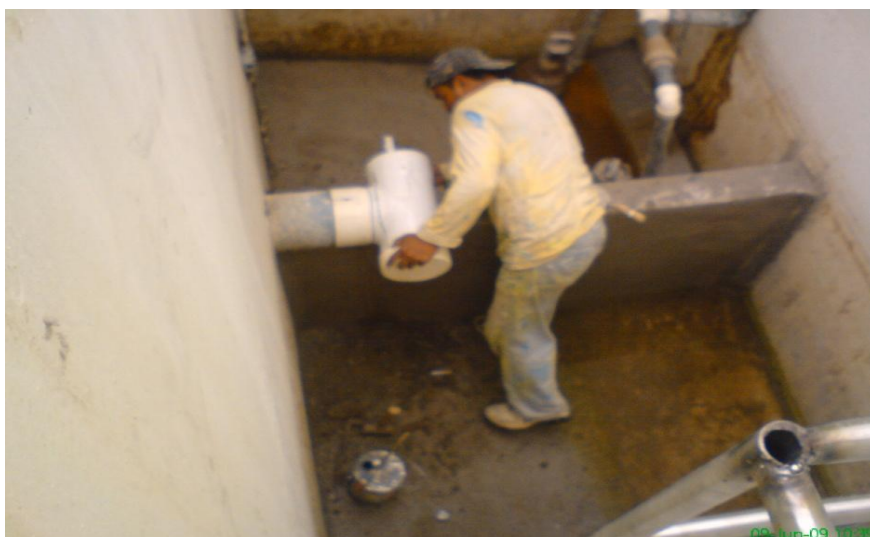


Imagen 15. División realizada en el tanque de bombas 1 para incrementar la Temperatura del UASB.



Imagen 16. Rumen fresco de ganado transportado desde el camal municipal Ambato



Imagen 17. Recolección de los efluentes del camal



Imagen 18. Colocación del efluente del camal en el interior del UASB



Imagen 19. Sistema de calentamiento provisional que se instaló para incrementar y mantener la temperatura del lixiviado en el interior del reactor UASB.



Imagen 20. Muestra de lixiviado recogido de las diferentes alturas del digester UASB



Imagen 21. Oxigenación del efluente del camal mediante un compresor.



Imagen 22. Efluente del camal recolectado



Imágenes 23 – 24. Trabajo realizado para la recirculación del efluente del camal en el biofiltro.



Imagen 25. Muestra de lixiviado recogido a la salida del biofiltro para su análisis respectivo.



Imagen 26. Filtro obstruido por flócs y agentes externos



Imagen 27. Filtro lavado



Imagen 28. Lixiviado recolectado del UASB.



Imagen 29. Realización prueba de jarras (EMAPA-Planta Casigana) para los lixiviados del interior del UASB.



Imagen 30. Equipo de jarras con el lixiviado durante la prueba (EMAPA).

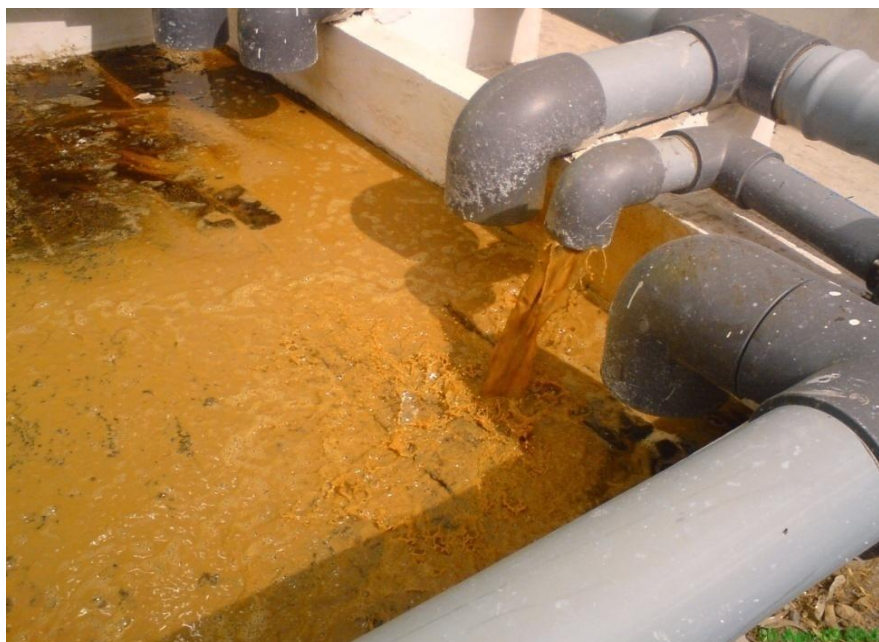


Imagen 31. Lodos formados conducidos hacia el lecho de secado desde el tanque clarificador.

- A finales del mes de Diciembre (2009) se paralizó el bombeo al UASB para realizar una adaptación en la tubería de ingreso de lixiviado hacia el clarificador, con el objeto de crear mayor turbulencia y mejorar la mezcla coagulante-lixiviado y obtener mayor cantidad de sedimentos formados y por ende clarificar el lixiviado (Figura 32 y 33).



Imagen 32. Adaptación realizada en el clarificador para incrementar turbulencia.



Imagen 33. Mayor turbulencia generada.



Imagen 34. Dosificación con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$



Imagen 35. Dosificación realizada con polímero (mayor clarificación)



Imagen 36. Dosificación con policloruro de aluminio.

- En la imagen 36, se puede observar que con el polímero se obtiene prácticamente un 50 % de sedimentación, lo que revela su alta eficacia, aunque los costos pueden resultar elevados ya que se requieren altas concentraciones (30 ml polímero/litro de lixiviado).
- En días posteriores se continuó realizando pruebas de dosificación, usando concentraciones mayores de sulfato de aluminio (750 ppm), sin mejores resultados (imagen 37).



Imagen 37. Dosificación con mayores concentraciones de sulfato



Imagen 38. Formación de flócs en el tanque clarificador durante la dosificación con sulfato de aluminio.



Imagen 39. Descarte de lodos secos.



Imagen 40. Válvulas de muestreo de lixiviado del UASB a 6 diferentes alturas.

ANEXO D: EJEMPLO DE CÁLCULO PARA DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE

- Ejemplo de Cálculo de dosificación de sulfato de aluminio a 120 ppm.

- Datos:

Caudal lixiviado crudo (Q)=0.2 lt/seg = 720 lt/h

Dosis=120 ppm (mg/lt)

Caudal máx.Bomba dosificadora = 7.5 lt/h

Volumen tanque coagulante = 1000 lt

SOLUCIÓN

Dosis requerida = **120 ppm**, es decir:

120 mg de sulfato de aluminio..... 1 lt lixiviado

X.....720 lt/h lixiviado

X = **86400 mg/h**

Tiempo de vaciado tanque coagulante = V tanque/Caudal bomba

Tiempo de vaciado tanque coagulante = 1000 lt/**7.5lt/h**

Tiempo de vaciado tanque coagulante = **133.33 h = 5.55 días**

Masa de sulfato requerida:

86400 mg..... 1 h

X.....133.33h

X=1159712 mg = **11.52 Kg de sulfato de aluminio**

**ANEXO E: EJEMPLO DE INFORME PRESENTADO A LAS AUTORIDADES
DEL MUNICIPIO DE AMBATO – DIRECCIÓN DE HIGIENE**

INFORME

**CONTROL DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y FUNCIONAMIENTO DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO
AMBATO.**

- **Nombre de la Identidad: I. Municipio de Ambato**
- **Fecha: Ambato, 22 de Diciembre de 2009.**

1. OBJETIVOS

- *Monitorear el funcionamiento general de la planta de tratamiento de lixiviados (PTL).*
- *Realizar las mediciones de los parámetros físico-químicos (temperatura y pH) de los lixiviados producidos en el relleno sanitario de Ambato, a la entrada (lixiviado crudo), en el interior del reactor UASB y a la salida.*
- *Graficar y analizar los datos de Temperatura recogidos en la planta de tratamiento de lixiviados.*
- *Dar a conocer las condiciones, bajo las cuales se obtuvo temperaturas del lixiviado superiores a los 28°C en el interior del UASB en meses anteriores.*
- *Describir los trabajos de mantenimiento realizados en la planta.*

2. MARCO TEÓRICO

2.1 REACTORES ANAEROBIOS U. A. S. B.

La abreviación U. A. S. B. se define como Upflow Anaerobic Sludge Blanquet o Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente. Esta tecnología proveniente de Bélgica y Holanda, es aplicada especialmente al tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica.

La operación de los reactores UASB se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo o barro biológicamente activo en el reactor.

Dichos grupos bacterianos establecen entre sí relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos cuya densidad les permite sedimentar en el digestor. La biomasa permanece en el reactor sin necesidad de soporte adicional (Caicedo, 2006).

2.2. LIQUIDO PERCOLADO

La descomposición o putrefacción natural de la basura, produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado o percolado, muy parecido a las aguas residuales domésticas (aguas servidas), pero mucho más concentrado. De otro lado, las aguas de lluvias que atraviesan las capas de basura, aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los desechos; de ahí la importancia de interceptar y desviar las aguas de escorrentía y pequeños hilos de agua antes del inicio de la operación, puesto que si el volumen de este líquido aumenta demasiado, puede causar no sólo problemas en la operación del relleno, sino también contaminar las corrientes de agua, nacimientos y pozos vecinos.

Si tenemos en cuenta que el área promedio a rellenar para disponer los desechos sólidos de estas pequeñas poblaciones no es muy grande, los volúmenes de percolado entonces serán también pequeños. Por lo tanto, se puede optar por su infiltración en el suelo dado que, con el paso del tiempo, la carga contaminante de los lixiviados disminuye una vez terminado el relleno; además, el suelo actúa como filtro natural (Jaramillo, 1991).

3. DATOS TÉCNICOS DEL MONITOREO

3.1. Parámetros físico-químicos.

Tabla 1: Parámetros físico-químicos promedios recogidos en la planta de tratamiento de lixiviados del 1 al 21 de Diciembre de 2009.

		LUGAR DE MUESTREO						
PARÁMETROS	INGRESO	DIGESTOR (ALTURAS)						Descarga
		1 1.45m	2 1.96m	3 2.37m	4 3.07m	5 3.46m	6 4.25m	
pH	8,0	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8
Temperatura (°C)	32,9	20,1	20,3	20,2	20,3	20,3	20,2	21
CAUDAL Q (lt/seg)	0.8							
VOLUMEN TOTAL GAS (lt)	0,00							

4. CONCLUSIONES

4.1. Monitoreo PTL

- El monitoreo de la Planta de Tratamiento de lixiviados se ha realizado normalmente en el transcurso del presente mes, aunque no se ha podido reiniciar el proceso de depuración de los lixiviados por circunstancias de carácter eléctrico, entre otros. La planta continúa paralizada hasta el momento.

•

4.2. Medición parámetros físico – químicos.

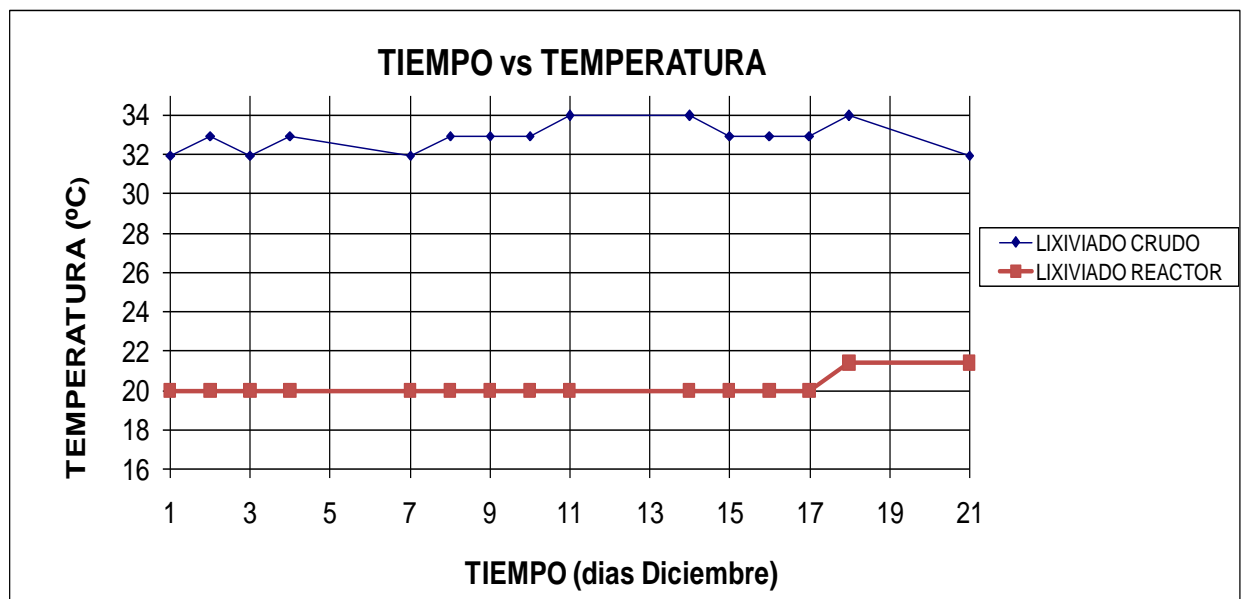
- Se realizaron las mediciones de temperatura del lixiviado en los diferentes sitios de muestreo, el promedio en el interior del reactor UASB es de 20°C. El valor máximo de temperatura registrado fue de 21.5°C, y la mínima de 20°C. Al ingreso la temperatura se mantiene en un rango de 32 a 34°C.
- El pH del lixiviado en el interior del reactor se mantiene en un promedio de 8.5, lo que puede ser no muy favorable para los microorganismos y cuyo valor debe

ser de entre 6.5 a 7.5. El lixiviado crudo presenta un valor de pH de aproximadamente 8.

4.3 Análisis de Temperaturas.

- En la siguiente grafica se presentan los datos de temperatura del lixiviado en el interior del reactor UASB y del lixiviado crudo recogidos durante diciembre de 2009.

Grafica 1: Temperaturas registradas del lixiviado crudo y del lixiviado en el interior del reactor UASB, desde el 1 al 21 de diciembre del 2009.



La grafica indica que la temperatura del lixiviado crudo mantiene un valor prácticamente constante, pues varía entre 32 y 34°C.

Por otra parte, la temperatura del lixiviado en el UASB se mantiene en un valor muy bajo, 20°C, con incremento de 1 grado centígrado cuando se reinició el bombeo de lixiviado hacia el UASB a partir del 17 de Diciembre, pero se suspendió casi inmediatamente por problemas en el sistema de bombeo, el 18 de Diciembre y hasta el momento no se logra reiniciar el proceso.

Estos valores de temperatura no ayudan a la formación de biogás, ya que las bacterias metanogénicas no trabajan óptimamente a estos valores, ya que requieren de temperaturas superiores a los 28°C.

4.4. Condiciones bajo las cuales se obtuvo temperaturas del lixiviado superiores a los 28°C en el interior del UASB en meses anteriores

- Hasta finales del mes de Octubre de 2009 se tenían registros de Temperaturas de 28 y 29 °C del lixiviado en el reactor UASB, temperaturas que se pudieron alcanzar por las siguientes 2 condiciones:
 - a) **Funcionamiento total y normal de la PTL**, sin paralizaciones mayores, lo que significaba un suministro constante de materia orgánica y temperatura hacia el interior del UASB por medio del lixiviado crudo.
 - b) Probable **Estabilidad** del lodo biológico en el interior del UASB por el continuo y normal funcionamiento de la PTL y por los trabajos previos realizados para el arranque del reactor (colocación de rumen de ganado y efluente del camal municipal.).

4.5. Trabajos de mantenimiento realizados en la PTL y problemas suscitados.

- A. En el pozo de bombas 2, el 15 de diciembre, se reemplazaron los sensores de nivel plásticos (flotadores) por unos sensores metálicos para una mayor durabilidad, trabajo realizado por el ingeniero eléctrico John Bejarano (figura 1).



Figura 1: Limpieza de lodos en el pozo de bombas 2.

B. Se realizó el día 21 de diciembre la limpieza de los ladrillos de la piscina de secado de lodos para permitir su buen funcionamiento, ya que se encontraba prácticamente saturada de lodos lo que impedía su utilización (figuras 2).



Figura 2

C. Luego de reiniciado el proceso depurativo, inmediatamente se suscitaron problemas en el sistema de bombeo en el pozo 2, pues se detectó el día 18 de Diciembre que el sistema se encendía y apagaba repetidamente en periodos de tiempo muy cortos, por lo que se suspendió todo el proceso de la PTL y el lixiviado fue enviado directamente a la descarga.

D. El técnico encargado de la parte eléctrica de la PTL realizo una nueva evaluación por lo que se permitió el ingreso del lixiviado crudo al pozo de bombas 1 y el encendido de todo el sistema, pero se suscitó un problema inesperado, ya que una de las tuberías que conducen el lixiviado desde el pozo de bombas 1 al UASB se desconectó provocando una nueva inundación de este pozo y una nueva paralización de la PTL (figura 3).



Figura 3: Problema de desconexión de la tubería en pozo de bombas 1.

- *Se espera solucionar cuanto antes estos inconvenientes para reiniciar el proceso depurativo de los lixiviados en la PTL.*

5. RECOMENDACIONES

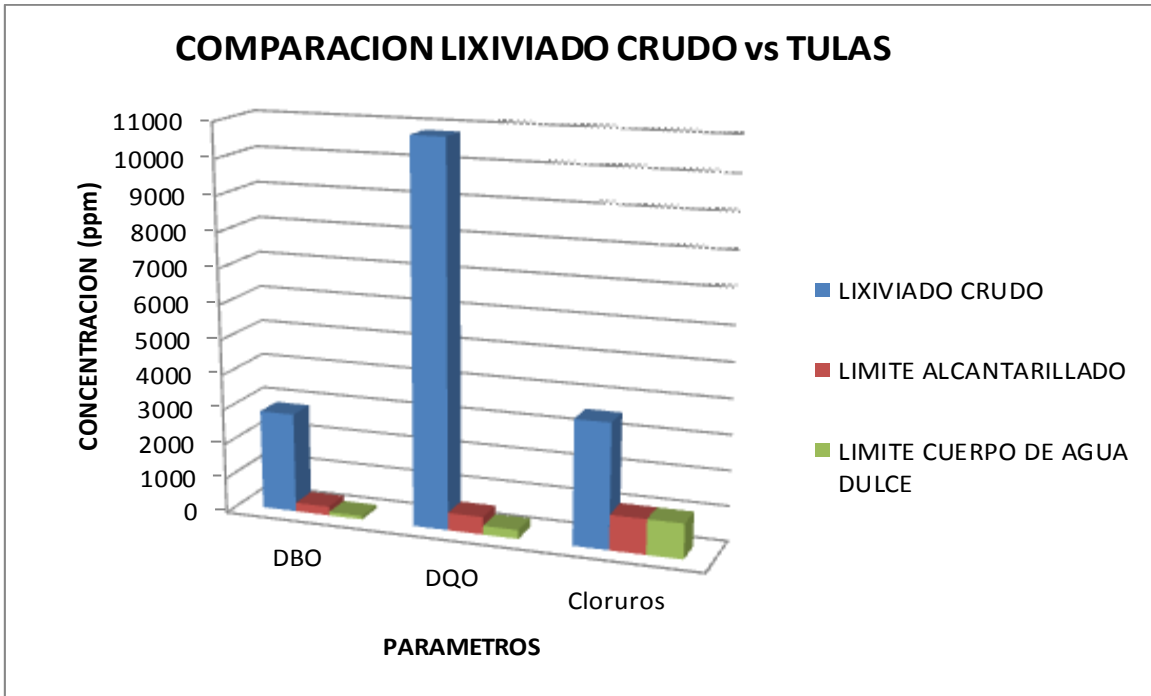
- *Es recomendable realizar análisis microbiológicos de los lixiviados en el interior del UASB para comprobar el estado de la diversidad microbiana del reactor.*
- *También se recomienda colocar en el interior del reactor UASB unos 300 Kg de rúmen fresco de ganado para reiniciar el arranque del UASB.*
- *Además, es importante la colocación de un sistema de calentamiento en el reactor UASB para incrementar la temperatura del lixiviado a valores superiores a 30°C para favorecer la formación de biogás.*
- *Sería importante que también se reemplacen los sensores plásticos del pozo de bombas 1 por unos metálicos para evitar continuas fallas.*

6. BIBLIOGRAFÍA

- *AURAZO, Margarita, 2004, "MANUAL PARA ANÁLISIS BÁSICOS DE CALIDAD DEL AGUA DE BEBIDA".pdf, Perú.*
- *CAICEDO, Francisco, 2006, "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ARRANQUE DE UN REACTOR U.A.S.B. PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS", Universidad Nacional de Colombia sede Manizales especialización en ingeniería ambiental – área sanitaria, Colombia.*

ANEXO F: GRÁFICAS

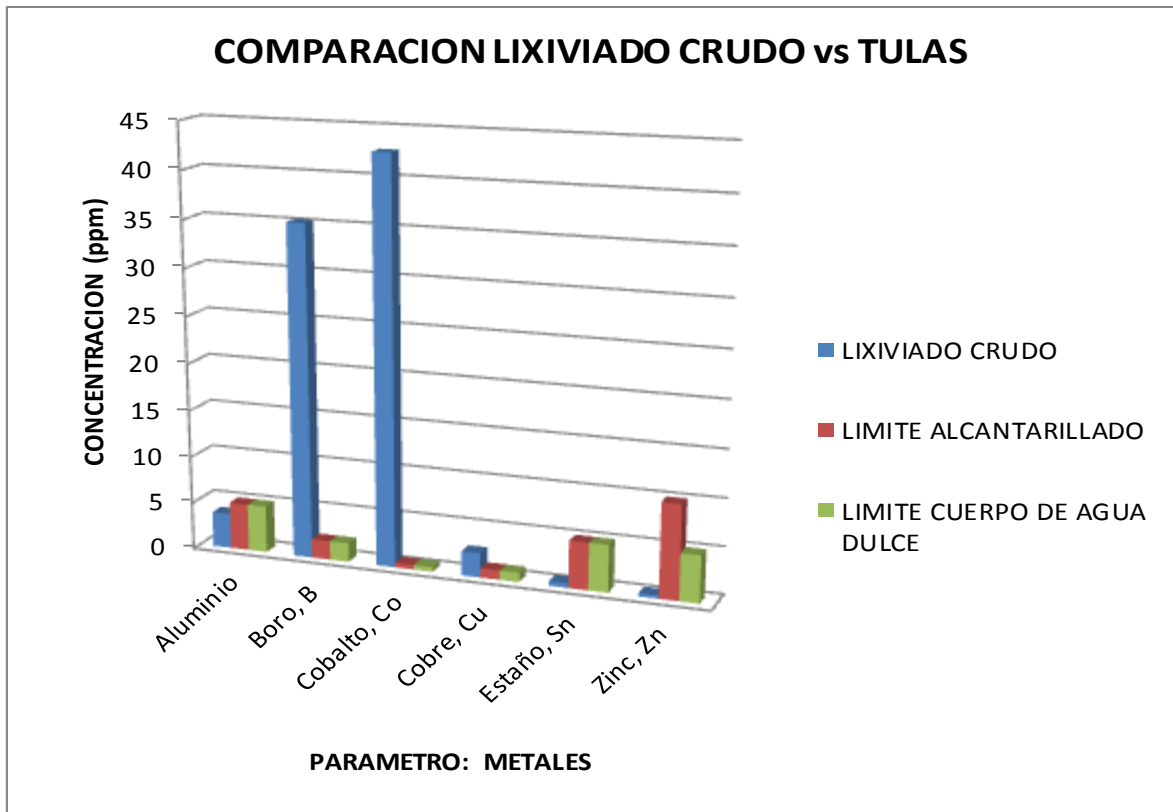
Gráfica 1. Comparación de los valores del lixiviado crudo con los límites de descarga hacia los cuerpos de agua dulce establecidos por el TULAS.



Realizado por: Villacrés, 2011

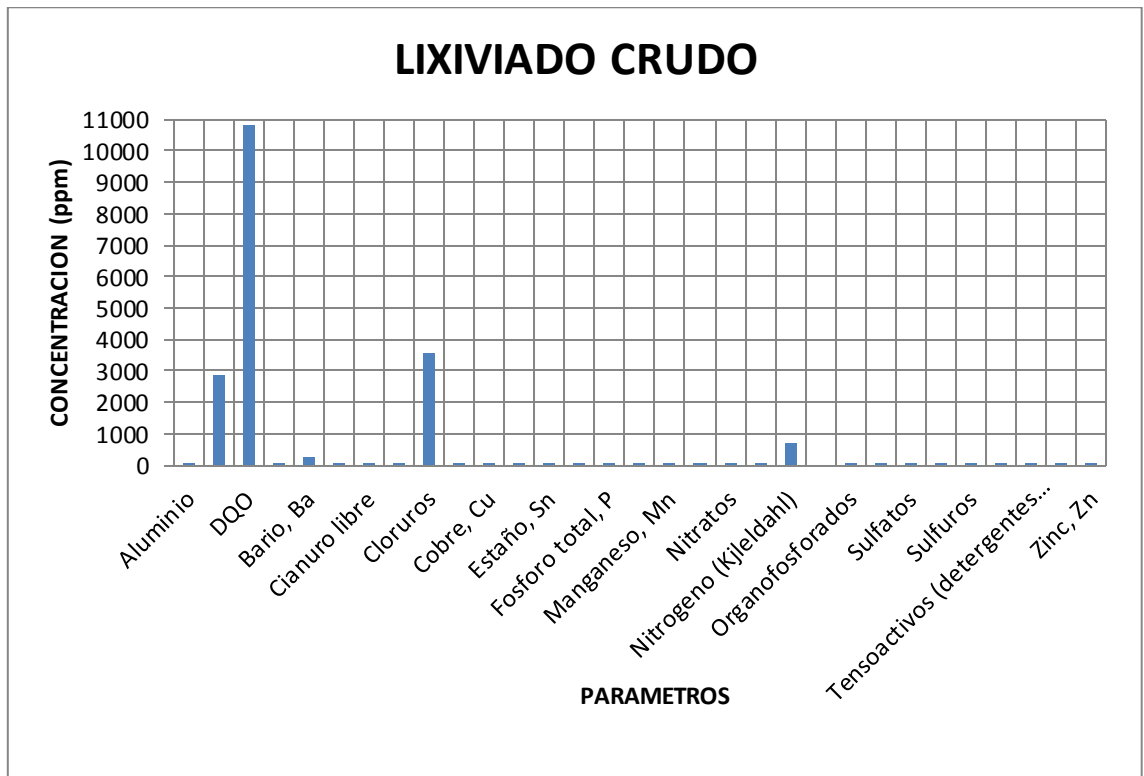
En la gráfica, se observa los niveles altos de contaminación, los mismos que exceden los límites establecidos por el TULAS.

Gráfica 2. Comparación de los valores de metales en el lixiviado crudo y límites de descarga establecida por el TULAS.



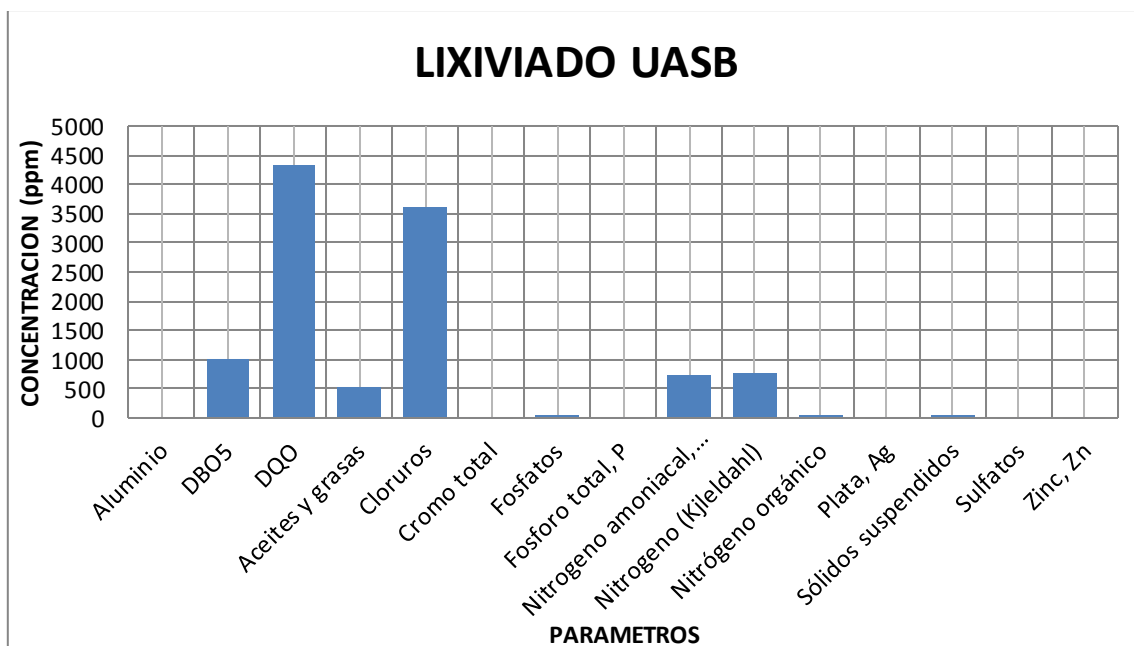
Realizado por: Villacrés, 2011

- Gráfica 3. Concentración de contaminantes en el lixiviado crudo.



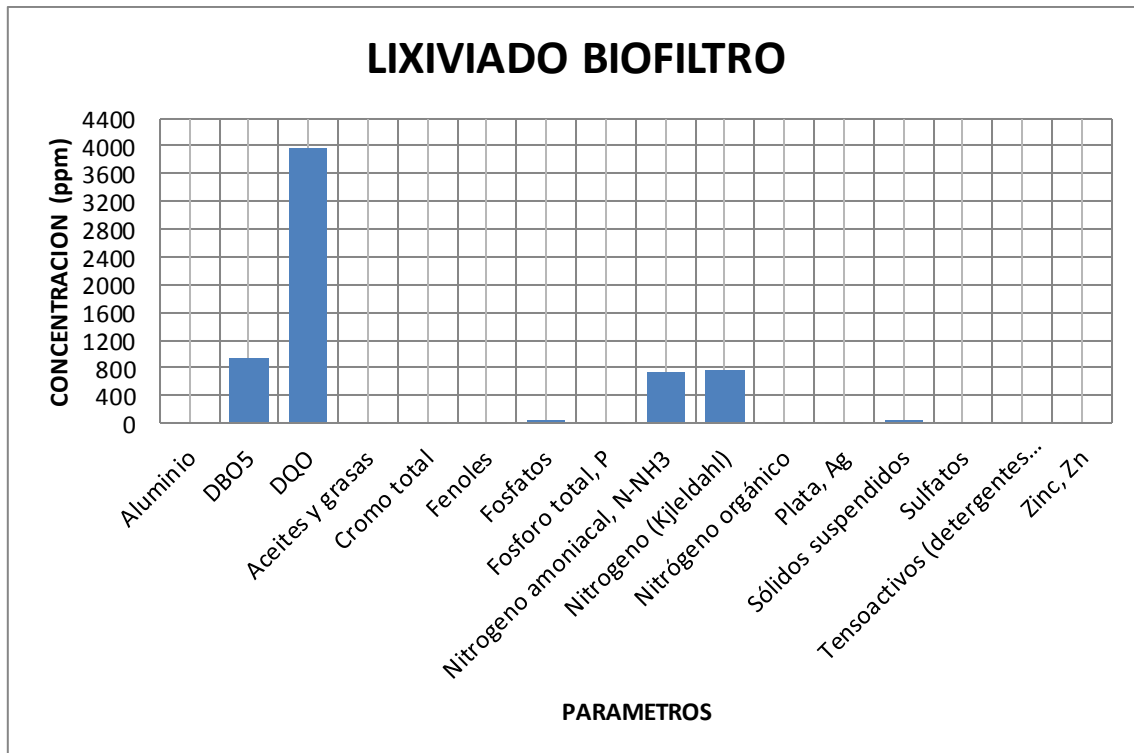
Realizado por: Villacrés, 2010

- Gráfica 4. Concentración de contaminantes en el lixiviado del UASB.



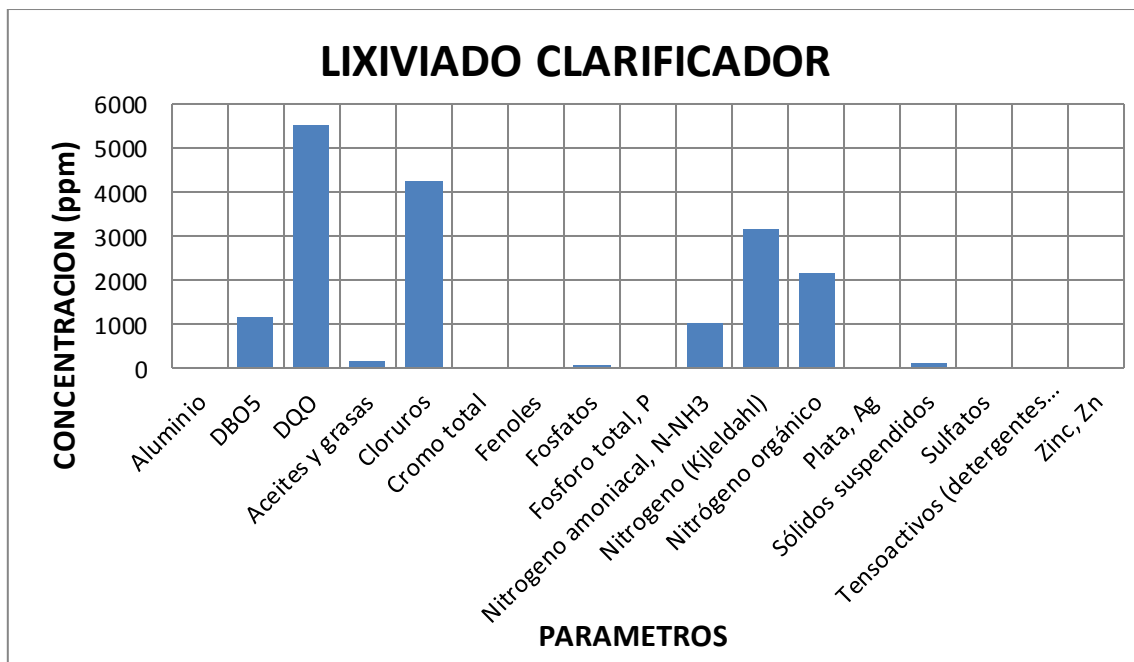
Realizado por: Villacrés, 2011

- **Gráfica 5. Concentración de contaminantes a la salida del biofiltro.**



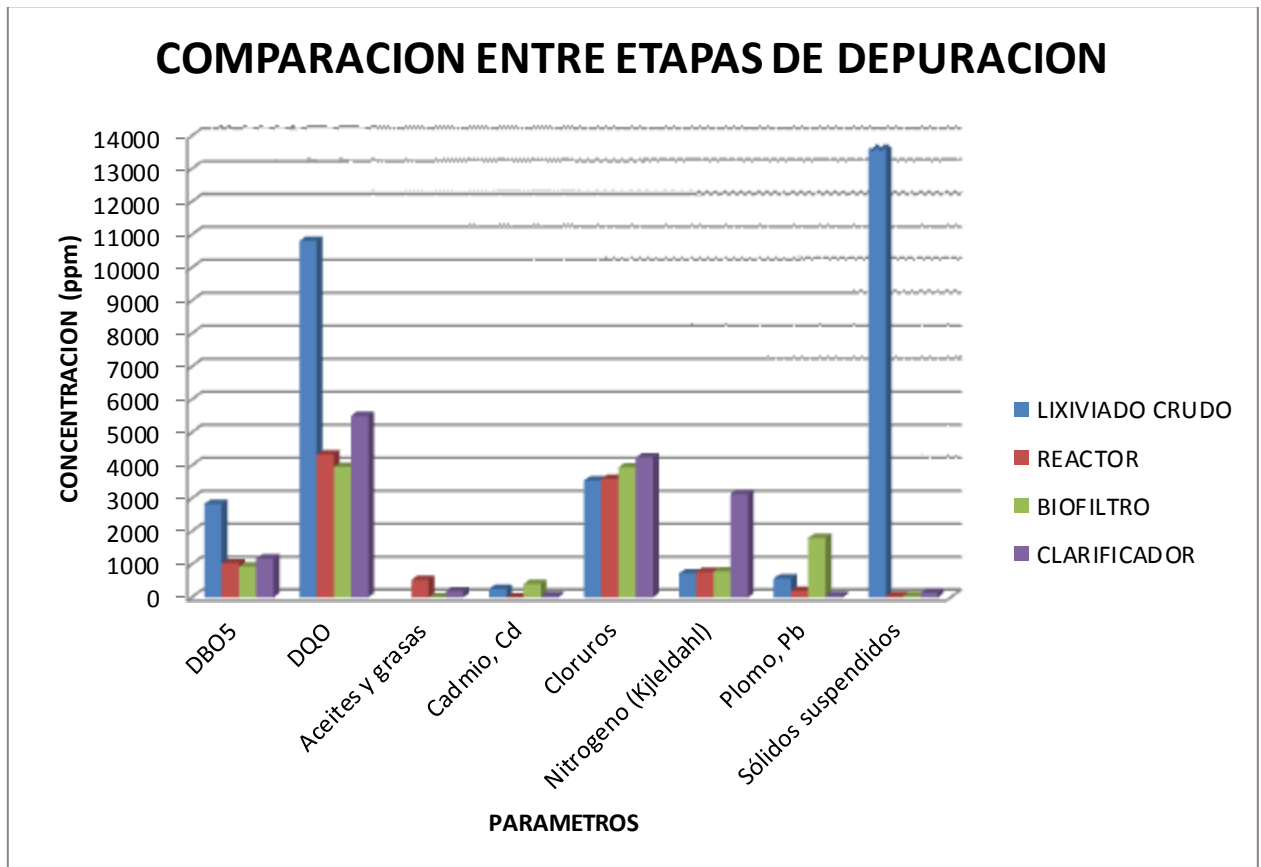
Realizado por: Villacrés, 2011

- **Gráfica 6. Concentración de contaminantes en el lixiviado del clarificador.**



Realizado por: Villacrés, 2011

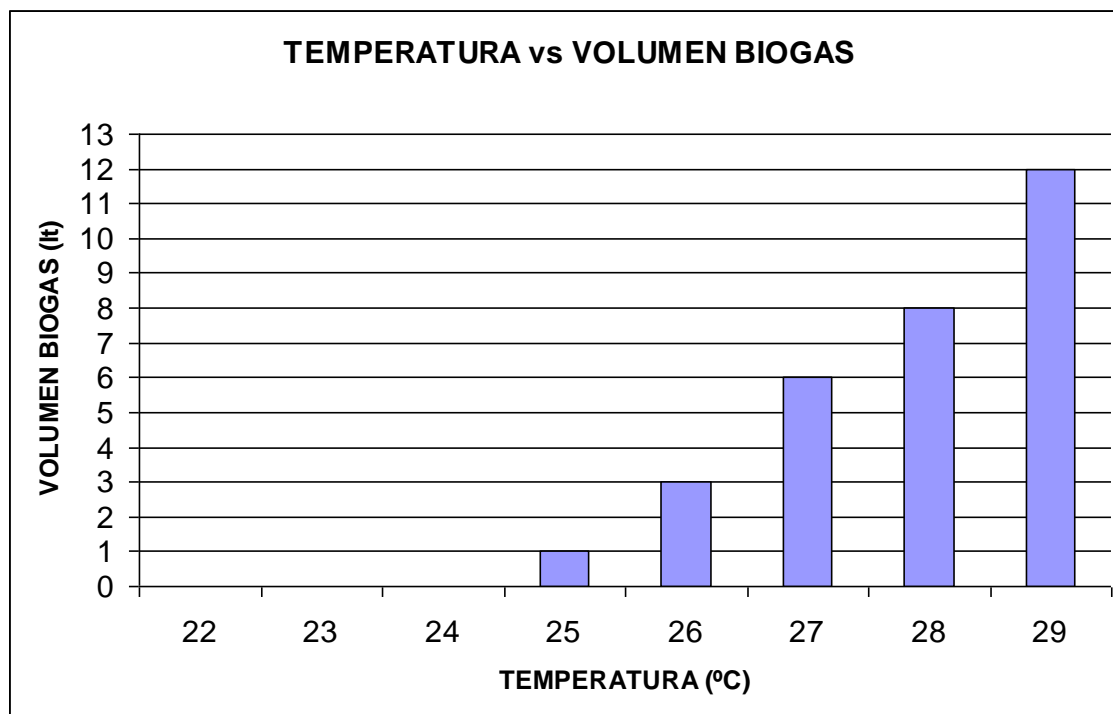
- **Gráfica 7. Comparación de parámetros químicos entre el lixiviado crudo, lixiviado en el interior del reactor UASB, lixiviado a la salida del biofiltro y lixiviado a la salida del clarificador.**



Realizado por: Villacrés, 2011

- Comparación de las concentraciones de algunos de los parámetros analizados en las muestras de lixiviado crudo, lixiviado en el interior del reactor, lixiviado a la salida del biofiltro y lixiviado a la salida del clarificador, realizados por los laboratorios CICAM de la Escuela Politécnica Nacional, y donde se aprecia claramente la disminución de la carga contaminante del lixiviado a medida que pasa por cada etapa del proceso.
- Se puede observar, que la temperatura del lixiviado crudo muestra un valor prácticamente constante, un comportamiento uniforme, pues su valor de temperatura únicamente varía en todo el tiempo entre 32 y 34°C.

Gráfica 8. Relación entre Temperatura y producción de Biogás.



Realizado por: Villacrés, 2011

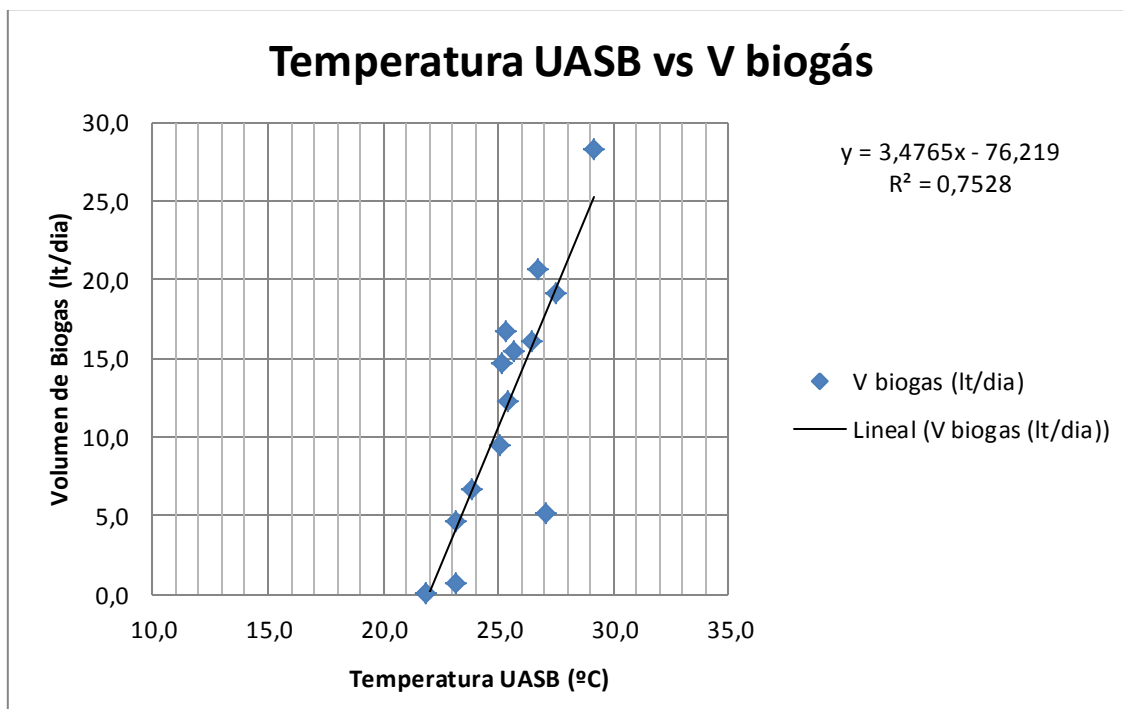
En la gráfica 8, observamos la importancia de la temperatura del lixiviado en el UASB para la depuración del lixiviado, ya que a mayor temperatura del lixiviado en el UASB, existe una mayor producción de biogás, es decir, existe un nivel mayor de descomposición de la materia orgánica.

Gráfica 9. Regresión lineal aplicado entre la Temperatura del UASB y la producción de biogás.

- **Datos**

semanas	Promedios Semanales	
	T promedio UASB (°C)	V biogás (lt/día)
1	29,2	28,2
2	26,7	20,6
3	25,7	15,3
4	25,4	12,2
5	26,4	16,0
6	25,2	14,6
7	25,4	16,6
8	27,5	19,0
9	23,8	6,6
10	23,1	4,6
11	27,1	5,0
12	25,1	9,4
13	23,1	0,6
14	21,8	0,0
15	21,9	0,0

Realizado por: Villacrés, 2011



Realizado por: Villacrés, 2011

En la gráfica, el valor de r^2 indica que la temperatura (variable independiente) incide en un 75% sobre la producción de biogás (variable dependiente), lo que demuestra la importancia de mantener temperaturas superiores a 25°C del lixiviado en el interior del reactor UASB.