

**IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR PILOTO ANAEROBIO DE CARGAS
SECUENCIALES PARA EL TRATAMIENTO DE LOS VERTIMIENTOS DEL
MATADERO DE ACACIAS, META.**

JUAN SEBASTIÁN CASSANDRO SALAZAR

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ, D.C.
2006**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR PILOTO ANAEROBIO DE CARGAS
SECUENCIALES PARA EL TRATAMIENTO DE LOS VERTIMIENTOS DEL
MATADERO DE ACACIAS, META.**

JUAN SEBASTIÁN CASSANDRO SALAZAR

**Proyecto de grado para optar al título de
Ingeniero Ambiental y Sanitario**

**Director
ROBERTO BALDA AYALA
INGENIERO DE ALIMENTOS
Magíster en Ingeniería Sanitaria**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ, D.C.
2006**

Nota de aceptación:

Firma del Director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C. Marzo de 2006

CONTENIDO

OBJETIVOS	19
1. EL MUNICIPIO DE ACACIAS DEPARTAMENTO DEL META.....	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 DESCRIPCIÓN AMBIENTAL DEL MUNICIPIO	1
1.2.1 Clima:	1
1.2.2 Temperatura:	2
1.2.3 Precipitaciones:	2
1.2.4 Vientos:.....	2
1.2.5 Litología:	2
1.2.6 Flora:	3
1.2.7 Fauna:	3
2. LA INDUSTRIA PROCESADORA DE CARNES EN EL MUNICIPIO DE ACACIAS....	4
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	4
2.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PRODUCTIVO	4
2.3 ETAPAS DEL PROCESO.....	6
2.3.1 Recepción de animales:	6
2.3.2 Corrales:	6
2.3.3 Inspección:	7
2.3.4 Aturdimiento:	7
2.3.5 Sangría:	8
2.3.6 Separación de cabezas y patas:	8
2.3.7 Separación de manos:.....	9
2.3.8 Desuello:.....	9
2.3.9 Corte del esternón:	10
2.3.10 Evisceración:	10
2.3.11 Vísceras rojas:.....	11
2.3.12 Vísceras blancas:	11
2.3.13 Oreado:.....	12
2.3.14 Refrigerado:.....	12
2.4 MATERIAS PRIMAS E INSUMOS	12
2.5 PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS	13
2.6 IMPACTOS AMBIENTALES DEL PROCESO DE SACRIFICIO	13
2.6.1 Pielés:.....	13
2.6.2 Cabezas:	13
2.6.3 Patas, manos y rabos:.....	13
2.6.4 Sangre:	14
2.6.5 Contenidos estomacales:	14
2.6.6 Estiércol:.....	14
2.6.7 Agua residual:.....	14
3. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS VERTIMIENTOS GENERADOS EN EL MATADERO DE ACACIAS	16
3.1 CIRCUITOS DE VERTIMIENTO	16
3.1.1 Corrales:	16
3.1.2 Vísceras rojas:.....	16

3.1.3	Vísceras blancas:	17
3.2	DIAGNOSTICO DE VERTIMIENTOS.....	17
3.2.1	Caracterización de contaminantes.....	17
3.2.1.1	Monitoreo (1):	19
3.2.1.2	Monitoreo (2):	19
3.2.1.3	Monitoreo (3):	20
3.2.1.4	Características promedio en vísceras rojas:	20
3.2.1.5	Características promedio en vísceras blancas (estercolero):.....	20
3.2.2	Aforos de caudal	21
3.2.3	Determinación de cargas de contaminantes.....	22
3.2.3.1	Cargas de contaminantes para el vertimiento de vísceras rojas.....	23
3.2.3.2	Cargas de contaminantes para el vertimiento de vísceras blancas	23
4.	TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE VERTIMIENTOS PARA EL MATADERO MUNICIPAL DE ACACIAS	24
4.1	INTRODUCCIÓN A LOS TRATAMIENTOS ANAEROBIOS	24
4.1.1	Parámetros de operación y control de procesos anaerobios.....	25
4.1.1.1	Parámetros de operación	25
4.1.1.2	Parámetros de control	25
4.1.2	Sistema por contacto de lodos.....	25
4.1.3	Condiciones de estabilidad del proceso	26
4.1.4	Condiciones de inestabilidad	26
4.2	REACTORES ANAEROBIOS DE CARGAS SECUENCIALES.....	27
4.2.1	Justificación del sistema	27
4.2.2	Antecedentes	28
4.2.3	Conceptualización del sistema ASBR.....	29
4.2.4	Ejemplos consultados	30
4.2.4.1	Ejemplo 1:.....	30
4.2.4.2	Ejemplo 2:.....	31
4.3	PLANTEAMIENTO DEL REACTOR ASBR A ESCALA PILOTO	32
4.3.1	Descripción general	33
4.3.2	Herramientas y materiales	34
4.3.3	Montaje	35
4.3.4	Volúmenes experimentales.....	38
4.3.5	Arranque del sistema piloto	38
4.3.6	Operación del sistema piloto.....	39
4.3.6.1	Llenado:.....	39
4.3.6.2	Reacción:.....	39
4.3.6.3	Sedimentación:.....	39
4.3.6.4	Decantación:.....	39
4.3.6.5	Vaciado:.....	39
5.	DISEÑO EXPERIMENTAL	40
5.1	PARÁMETROS <i>IN-SITU</i>	40
5.1.1	Temperatura	41
5.1.2	pH	42
5.1.3	Sedimentabilidad de lodo.....	43
5.2	PARÁMETROS DE LABORATORIO.....	44

5.2.1	Alcalinidad y Ácidos Grasos Volátiles.....	44
5.2.2	Demanda Química de Oxígeno.....	45
5.2.3	Sólidos Suspendidos Totales.....	47
5.3	DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS	49
5.3.1	Reactor a 50 rpm (Grupo de datos 1 al 5)	49
5.3.2	Reactor a 10 rpm (Grupos de datos 6 al 12)	50
5.3.3	Reactor a 5 rpm (Grupos de datos 13 al 23)	50
5.4	VALIDACIÓN DE RESULTADOS.....	51
5.5	DISEÑO ESTADÍSTICO	54
5.5.1	Comparaciones de Duncan	54
5.5.2	Comparaciones de Gabriel	54
5.5.3	Modelos de análisis	55
5.5.3.1	AGV/Alca:	55
5.5.3.2	PDQO(Porcentaje de eficiencia de la variable DQO):.....	56
5.5.3.3	PSST(Porcentaje de eficiencia de la variable SST):	59
6.	SISTEMA DE TRATAMIENTO A ESCALA REAL	62
6.1	CAUDAL DE DISEÑO	62
6.2	CARGAS CONTAMINANTES	64
6.2.1	Carga de DQO	68
6.2.2	Carga de DBO	68
6.2.3	Carga se SST	68
6.3	BALANCE DE CARGAS.....	68
6.4	TRATAMIENTO PRIMARIO	69
6.4.1	Trampa de grasas.....	69
6.4.1.1	Parámetros de Diseño	69
6.4.1.2	Dimensionamiento	69
6.4.2	Sedimentador.....	72
6.4.2.1	Parámetros de diseño	72
6.4.2.2	Dimensionamiento	72
6.4.3	Tanque de bombeo.....	74
6.4.3.1	Parámetros de diseño	74
6.4.3.2	Dimensionamiento	74
6.5	REACTORES ANAEROBIOS DE CARGA SECUENCIAL (ASBR).....	76
6.5.1	Parámetros de diseño.....	76
6.5.2	Conceptualización.....	77
6.5.3	Dimensionamiento	79
6.6	Mitigación del impacto visual producido por la PTAR.....	81
7.	ALTERNATIVAS PARA EL PULIMENTO DEL EFLUENTE DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	82
7.1	LAGUNA DE MADURACIÓN	82
7.2	FILTRO RADICULAR	82
8.	MANEJO DE SUBPRODUCTOS DEL TRATAMIENTO.....	84
8.1	TRATAMIENTO DE LODOS	84
8.1.1	Digestor anaeróbico.....	84
8.1.1.1	Parámetros de diseño	84
8.1.1.2	Dimensionamiento	84

8.1.2	Lechos de secado.....	85
8.1.2.1	Parámetros de diseño	85
8.1.2.2	Dimensionamiento.....	86
8.2	TRATAMIENTO DE SÓLIDOS.....	87
8.2.1	Proceso biológico.....	88
8.2.2	Descripción general del proceso.....	88
8.2.3	Diseño de las pilas.....	89
8.2.4	Monitoreo del proceso	89
8.2.5	Control de aireación y riego por temperatura:	90
8.2.6	Control del producto final:	90
8.2.7	Producción de biogás	90
9.	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	92
9.1	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	92
9.2	CARACTERÍSTICAS DEL AGUA TRATADA	92
9.3	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	92
9.3.1	Tratamiento primario.....	92
9.3.2	Tanque de bombeo.....	93
9.3.3	Reactores ASBR.....	93
9.3.4	Pozo de lodos	93
9.3.5	Digestor de lodos.....	94
9.3.6	Lechos de secado de lodos	94
9.4	ESTRUCTURAS Y EQUIPOS.....	94
10.	COSTOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	99
11.	CONCLUSIONES.....	101
12.	RECOMENDACIONES.....	104
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	105

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de impactos ambientales, Matadero de Acacias.....	15
Tabla 2. Caracterización del agua residual.....	19
Tabla 3. Concentraciones de contaminantes de los vertimientos del matadero de Acacias.	21
Tabla 4. Resumen de resultados de los aforos de caudal de vertimientos en el matadero de acacias.....	22
Tabla 5.Consolidado de datos obtenidos en los ensayos del ASBR piloto	40
Tabla 6. Eficiencias de remoción encontradas	54
Tabla 7. Matriz de correlación de la DQO.....	57
Tabla 8. Matriz de correlación de los SST.	59
Tabla 9. Consumos de agua en el proceso de sacrificio de ganado en el matadero municipal de Acacias	62
Tabla 10. Cargas contaminantes	66
Tabla 11. Especificaciones trampa de grasas	71
Tabla 12. Especificaciones Sedimentador	73
Tabla 13. Cálculo del volumen de igualación.....	74
Tabla 14. Especificaciones tanque de bombeo	76
Tabla 15. Especificaciones reactores ASBR.....	80
Tabla 16. Matriz de comparación de alternativas para el pulimento del efluente tratado.....	83
TABLA 17. CALIFICACIÓN DE LAS OPCIONES DE PULIMIENTO	83
Tabla 18. Especificaciones del digestor anaerobio	85
Tabla 19. Especificaciones del lecho de secado.....	87
Tabla 20. Ficha técnica trampa de grasas	95
Tabla 21. Ficha técnica Sedimentador.....	96
Tabla 22. Ficha técnica tanque de bombeo	97
Tabla 23. Ficha técnica reactores biológicos	98
Tabla 24. Costos de los materiales para la construcción del sistema diseñado	99
Tabla 25. Costos de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento diseñado.	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de sacrificio de ganado bovino en el municipio de Acacias.	5
Figura 2. Recepción de animales, Matadero de Acacias.	6
Figura 3. Corrales, Matadero de Acacias.....	6
Figura 4. Inspección de animales, Matadero de Acacias.....	7
Figuras 5 y 6. Pasillo de entrada y trampa de insensibilización, Matadero de Acacias.	7
Figura 7. Sangría, Matadero de Acacias.....	8
Figura 8. Separación de cabezas y patas, Matadero de Acacias..	8
Figura 9. Separación de manos y desuello, Matadero de Acacias..	9
Figuras 10 y 11. Cadena diferencial y pieles desprendidas, Matadero de Acacias..	9
Figura 12. Sierra eléctrica para corte de esternón, Matadero de Acacias..	10
Figura 13. Evisceración, Matadero de Acacias.....	10
Figura 14. Vísceras rojas, Matadero de Acacias.....	11
Figuras 15 y 16. Lavado de vísceras blancas y recolección de rumen, Matadero de Acacias..	11
Figura 17. Proceso de oreado de carne en canal, Matadero de Acacias.....	12
Figura 18. Camión refrigerado, Matadero de Acacias.....	12
Figura 19. Punto de monitoreo, vertimiento de vísceras roja (Trampa de grasas) , Matadero de Acacias.....	18
Figura 20. Punto de muestreo, vertimiento de vísceras blancas y corrales (Sedimentador) , Matadero de Acacias.....	18
Figura 21. Esquema del reactor empleado en el ejemplo 1.....	31
Figura 22. Esquema del reactor empleado en el ejemplo 2.....	32
Figura 23. Esquema del reactor empleado en la investigación.....	33
Figuras 24 y 25. Paleta agitadora y motorreductor	35
Figura 26. Montaje reactor piloto.	35
Figuras 27 y 28. Juego de poleas.....	36
Figura 29. Dimensiones de poleas.....	36
Figuras 30 y 31. Muestreadotes y salida de lodos.....	37
Figuras 32 y 33. Generación de gas metano (antes y después).....	37
Figura 34. Balde muestreador.....	38
Figura 35. Lodo anaeróbico.	39
Figura 36. Gráfica del comportamiento de la temperatura en el reactor.	41
Figura 37. Gráfica del comportamiento de pH en el reactor.	42
Figura 38. Gráfica del volumen de lodos en el reactor.....	43
Figura 39. Grafica de Alcalinidad y Ácidos Grasos Volátiles	45
Figura 40. Grafica de la Demanda Química de Oxígeno de entrada al reactor	46
Figura 41. Grafica de la remoción de la Demanda Química de Oxígeno	47
Figura 42. Grafica de los Sólidos Suspendidos Totales de entrada al reactor.....	48
Figura 43. Grafica de la remoción de los Sólidos Suspendidos Totales	48

Figura 44. Comportamiento del ASBR piloto operando a 50 rpm	51
Figura 45. Comportamiento del ASBR piloto operando a 10 rpm	52
Figura 46. Comportamiento del ASBR piloto operando a 5 rpm	52
Figura 47. Comportamiento de las eficiencias de remoción.	53
Figura 48. Balance de cargas para el sistema de tratamiento propuesto	68
Figura 49. Etapas del compostaje.....	90

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. METODOLOGÍAS

ANEXO B. TABLAS DE RESULTADOS DE LOS AFOROS DE CAUDALANEXO C.

TABLAS DE RESULTADOS DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS

ANEXO C. TABLAS DE RESULTADOS DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS

ANEXO D. PLANOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DISEÑADO

ANEXO E. PLANTA GENERAL DEL MATADERO DE ACACIAS Y UBICACIÓN

DEL ASBR PILOTO

ANEXO F. ANÁLISIS DE LABORATORIO

GLOSARIO

Aerobio: Un proceso que ocurre en presencia del oxígeno, tal como la digestión de la materia orgánica por las bacterias en una charca de oxidación.

Aguas residuales: Fluidos residuales en un sistema de alcantarillado. El gasto o agua usada por una casa, una comunidad, una granja, o industria que contiene materia orgánica disuelta o suspendida.

Alcalinidad: En química del agua la alcalinidad se expresa en PPM o el mg/l de carbonato equivalente del calcio. La alcalinidad total del agua es la suma de las tres clases de alcalinidad; alcalinidad del carbonato, del bicarbonato y del hidróxido.

Alícuota: Una porción de una muestra tomada para el análisis. Unas o más partes alícuotas forman una muestra.

Anaerobio: Un proceso que ocurre en ausencia de oxígeno, tal como la digestión de la materia orgánica por las bacterias en un UASB-reactor.

Bacterias: Pequeños microorganismos unicelulares.

Biota: Todos los organismos vivos en una región o un ecosistema.

Caudal: Flujo de agua superficial en un río o en un canal.

Ciclo: Longitud de tiempo que un sistema lleva las etapas de tratamiento.

Contaminante: Un compuesto que a concentración suficientemente alta causa daños en la vida de los organismos.

Crecimiento microbiano: La multiplicación de microorganismos como las bacterias, algas, diatomeas, plancton, y fungis.

DBO (Demanda Biológica de Oxígeno): La cantidad de oxígeno (medido en el mg/l) que es requerido para la descomposición de la materia orgánica por los organismos unicelulares, bajo condiciones de prueba. Se utiliza para medir la cantidad de contaminación orgánica en aguas residuales.

DBO₅: La cantidad de oxígeno disuelto consumido en cinco días por las bacterias que realizan la degradación biológica de la materia orgánica.

DQO (Demanda Química de Oxígeno): Cantidad de oxígeno (medido en mg/L) que es consumido en la oxidación de materia orgánica y materia inorgánica oxidable químicamente, bajo condiciones de prueba. Es usado para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales. En contraposición al BOD, con el DQO prácticamente todos los compuestos son oxidados.

Descarga: La liberación de contaminantes que fueron capturados por un medio de filtración.

Digestor: Tanque cerrado para el tratamiento de aguas residuales, en el cual las bacterias actúan induciendo la ruptura de la materia orgánica.

Efluente: La salida o flujos salientes de cualquier sistema que despacha flujos de agua, a un tanque de oxidación, a un tanque para un proceso de depuración biológica del agua, etc. Este es el agua producto dada por el sistema.

Fermentación: La conversión de materia orgánica a metano, dióxido de carbono y otras moléculas por bacterias anaeróbicas.

Lodo activado: Proceso biológico dependiente del oxígeno que sirve para convertir la materia orgánica soluble en biomasa sólida, que es eliminada por gravedad o filtración.

Lodos: Residuo semisólido, que contiene microorganismos y sus productos, de cualquier sistema de tratamiento de aguas.

Materia orgánica: Sustancias de material de plantas y animales muertos, con estructura de carbono e hidrógeno.

Medio: Materiales que forman una barrera para el paso de ciertos sólidos suspendidos o líquidos disueltos en los filtros suspendidos.

Muestra compuesta: Una serie de muestras de agua adquirida en un periodo de tiempo dado y ponderada por un ratio de flujo.

Nutriente: Cualquier sustancia que promueve el crecimiento de organismos vivos. El término es generalmente aplicado para el nitrógeno y el fósforo en aguas residuales, pero es también aplicado a otros elementos esenciales y elementos traza.

Oxidación biológica: Descomposición de materiales orgánicos complejos por microorganismos a través de la oxidación

Parámetro: Una variable, propiedad medible cuyo valor está determinado por las características del sistema en el caso del agua por ejemplo, estas pueden ser la temperatura, la presión, la densidad, etc.

pH: El valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presente. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indica que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica.

Planta de tratamiento: Una estructura construida para tratar el agua residual antes de ser descargada al medio ambiente.

Pruebas piloto: Las pruebas de tecnologías bajo condiciones de laboratorio que buscan identificar problemas potenciales antes de su implantación.

Recirculación: Reciclar el agua después de ser usada. A menudo esta tiene que pasar por un sistema de purificación de aguas residuales antes de poder ser reutilizada.

Residuo: Los residuos secos restantes después de la evaporación de una muestra de agua o de lodo.

Sedimentación: Asentamiento de partículas sólidas en un sistema líquido debido a la gravedad.

Sólidos sedimentables: Aquellos sólidos suspendidos en las aguas residuales que se depositan después de un cierto periodo de tiempo.

Sólidos suspendidos: Partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución.

Sólidos totales: Todos los sólidos en el agua residual o aguas de deshecho, incluyendo sólidos suspendidos y sólidos filtrables.

Tiempo de contacto: La longitud de tiempo que una sustancia está en contacto con un líquido, antes de ser eliminada biológicamente o por la presencia de un cambio químico.

Tiempo de retención: Tiempo actual que una cantidad de agua está en una base de deposición o debe ser almacenada para ser tratada.

ABREVIATURAS

ASBR: Reactor anaeróbico de cargas secuenciales

AGV : Ácidos grasos volátiles

Alca. : Alcalinidad

AR : Agua residual

DQO : Demanda química de oxígeno

DBO₅ : Demanda biológica de oxígeno

F/M : Relación alimento – microorganismos

IVL : Índice volumétrico de lodos

LM : Licor mezclado

LPS : Litros por minuto

MMC : Millones de metros cúbicos

mo : microorganismos

Q : Caudal

q : Carga orgánica

rpm : Revoluciones por minuto

pH : Potencial de hidrógeno

SS : Sólidos sedimentables

SST : Sólidos suspendidos totales

SSV : Sólidos suspendidos volátiles

SSVLM: Sólidos suspendidos volátiles e licor mezclado

T_{mtr} : Temperatura de la muestra en grados centígrados

T_{mz} : Tiempo de mezcla

T_{rh} : Tiempo de retención hidráulico

T_{sed} : Tiempo de sedimentación

T^{°C} : Temperatura en grados centígrados

UASB: Reactor anaeróbico de flujo ascendente sobre manto de lodos

V₃₀ : Volumen de lodos sedimentado en 30 minutos

RESUMEN

Autor: Juan Sebastián Cassandro Salazar.

Director: Ing. Roberto Balda Ayala.

El principal objetivo de este trabajo de pregrado para optar por el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario, es la implementación de un reactor piloto para el tratamiento del agua residual del proceso de sacrificio de ganado, en la planta del municipio de Acacias, departamento del Meta, Colombia. El trabajo se desarrolló a partir de la caracterización agua residual, proveniente del sacrificio de ganado en el municipio de Acacias, a través de la medición de parámetros típicos para el agua residual de este tipo de industrias, como son la Demanda Química y Biológica de Oxígeno y el contenido de Sólidos Suspendidos. Específicamente se monitoreó el desarrollo del sistema mediante la medición de la alcalinidad del agua al interior del reactor y la producción de Ácidos Grasos Volátiles, para conseguir con la determinación de los parámetros de diseño y operacionales de un sistema que proporcione remoción de contaminantes, con el fin de obtener un agua residual tratada con características apropiadas para ser dispuestas o vertidas en un ambiente natural sin que causen mayor impacto sobre el recurso.

Dentro de las técnicas de tratamiento de aguas residuales se encuentran los reactores de cargas secuenciales (Sequencing Batch Reactor, SBR), que es una modalidad del sistema de lodos activados (aeróbico), en los que se siguen etapas de llenado, reacción, sedimentación y descarga, que en conjunto se denominan ciclos de tratamiento.

En virtud de lo anterior, en la presente investigación se estudió una versión anaerobia del sistema biológico secuencial. Para esto se construyó un reactor que proporcionara condiciones anaerobias y permitiera variar las características de mezcla; dicho reactor estuvo integrado por un tanque plástico de 12 litros, con tapa hermética, dotado de una paleta mezcladora y tres muestreadores.

El montaje del reactor piloto se efectuó en las instalaciones del matadero del municipio de Acacias en el departamento del Meta. Dado que el sustrato (agua residual) resulta ser apropiado para los microorganismos anaerobios. Durante cinco meses se realizaron diversas pruebas con el agua residual proveniente del proceso productivo de esta empresa; se evaluaron parámetros operativos del sistema como velocidad y tiempo de mezcla y concentración de lodos, buscando de esta forma establecer los criterios más apropiados para proporcionar una efectiva remoción de contaminantes orgánicos, teniendo en cuenta como parámetros de control del proceso la Alcalinidad, la concentración de Ácidos Grasos Volátiles, la Demanda Química de Oxígeno y la concentración de Sólidos.

ABSTRACT

Author: Juan Sebastián Cassandro Salazar.

Director: Eng. Roberto Balda Ayala.

The main objective of this thesis of grade of Environmental Engineering, is the implementation of a reactor I steer pear the treatment of the residual water of the process of livestock sacrifice, in the plant of the municipality of Acacias, the department of the Meta, Colombia. The residual water was characterized by means of the mensuration of typical parameters for the residual water of this type of industries, like they are the Chemical and Biological Demand of Oxygen and the content of Suspended Solids. Specifically you watches over the development of the system by means of the mensuration of the alkalinity from the water to the interior of the reactor and the production of Volatile Fatty Acids, for this way to determine the design parameters and operational of a system that provides removal of pollutants, with the purpose of obtaining an it dilutes residual tried with appropriate characteristics to be willing or poured in a natural atmosphere without they cause bigger impact on the resource.

Inside the techniques of treatment of residual waters they are the reactors of sequential loads (Sequencing Batch Reactor, SBR) that is a system of activated muds (aerobic), in those that stages are continued of having filled, reaction, sedimentation and it discharges that on the whole are denominated treatment cycles.

By virtue of the above-mentioned, in the present investigation you study a version anaerobe of the sequential biological system. For this you builds a reactor that provides conditions anaerobe and it allowed to vary the mixture characteristics; this reactor was integrated by a plastic tank of 12 liters, with hermetic cover, endowed with a palette it mixes and three drawees of samples.

The assembly of the reactor pilot was made in the facilities of the municipal slaughterhouse of the municipality of Acacias in the department of the Meta. During five months they were carried out diverse tests with the residual water coming from the productive process of this company; operative parameters of the system like speed and time of mixture and concentration of muds were evaluated, looking for this way to establish the most appropriate approaches to provide an effective removal of organic pollutants keeping in mind as parameters of control of the process the Alkalinity, the concentration of Volatile Fatty Acids, the Chemical Demand of Oxygen and the concentration of Solids.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia en general pero especialmente a mi madre por su esfuerzo, apoyo incondicional y paciencia a lo largo del tiempo que duraron mis estudios; a mi maestro y amigo ingeniero Roberto Balda por su constante apoyo y grandes enseñanzas; al equipo de trabajo de la fundación Biodiversidad y Ambiente Sano, especialmente a su director el ingeniero Julio Roberto Camargo por el apoyo económico brindado a la investigación; a los trabajadores y gerente del matadero municipal de Acacias señor Oscar Reyes, por permitir desarrollar este trabajo en las instalaciones de esta empresa; a mi querido amigo Jefferson Becerra por sus aportes en trabajo para la culminación de esta tarea; y en general a todas las personas que de una u otra manera aportaron para el cumplimiento de los objetivos de esta investigación. A todos ellos mil gracias.

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, los objetivos de las plantas de tratamiento de aguas residuales han sido la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO), el material sólido en suspensión y los organismos patógenos. A partir de los años setenta, y de manera progresiva en diferentes países, se añadió un nuevo objetivo: eliminar nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, con el fin de evitar la eutrofización de ríos y lagos.

Esta nueva conveniencia abrió un amplio campo de estudio; nació de la observación sobre los efectos ambientales que los nutrientes causaban sobre los sistemas acuáticos al acumularse en ellos. Se observó, por ejemplo, que estos nutrientes estimulaban el crecimiento de algas y otras formas de vida acuática fotosintética, lo cual conducía a una aceleración de la eutrofización, a una excesiva pérdida de las fuentes de oxígeno y a otros cambios no deseados en la calidad de vida acuática.

Por lo tanto, la atención comenzó a enfocarse hacia el desarrollo de nuevos procesos más efectivos para la eliminación de nutrientes. En la práctica estos nuevos procesos consistieron, inicialmente, en la adición de un proceso terciario a la planta convencional y posteriormente en la aplicación de procesos discontinuos o por tandas.

Los procesos discontinuos o secuenciales permiten realizar en un mismo tanque diferentes etapas del tratamiento, haciendo que no sea necesario implementar sistemas terciarios, debido a que en el mismo reactor se suceden las etapas de reacción y sedimentación y como principal ventaja se tiene que es posible retener el agua hasta que ésta presente las características necesarias para ser vertida.

La importancia de esta investigación radica en dos ejes principales que son: primero, la generación de diseños prácticos para el manejo ambiental de los vertimientos generados a partir del desarrollo de la actividad productiva, que incluyan como fundamento esencial el equilibrio entre el aporte al ambiente y una manutención económica baja del sistema. Segundo, aplicar en un proyecto, concreto y con recursos económicos, la integralidad de la Ingeniería Ambiental como herramienta para el progreso de comunidades.

El presente documento empieza haciendo una breve descripción del proceso de sacrificio en el municipio de Acacias, seguidamente se describen los impactos ambientales causados por este, continuando con la descripción del sistema ensayado, su montaje y resultados. Y finalmente se diseña el un sistema de tratamiento a escala real empleando la tecnología investigada.

OBJETIVOS

GENERAL

Implementar un sistema piloto anaerobio de cargas secuenciales para obtener una remoción eficiente de las cargas contaminantes procedentes de los vertimientos de una planta de sacrificio.

ESPECÍFICOS

- Comparar la tecnología anaerobia convencional existente frente a una no convencional, como es el caso de un reactor anaerobio de cargas secuenciales, con el fin de determinar los parámetros óptimos de diseño a través de la implementación de una unidad piloto.
- Determinar el caudal de diseño de la unidad piloto.
- Determinar las cargas contaminantes a remover.
- Definir los parámetros de control para el correcto funcionamiento de la unidad ASBR.
- Construir una unidad piloto que involucre la tecnología ASBR.
- Plantear diferentes alternativas para el pulimento del efluente tratado.
- Diseñar la planta de tratamiento a escala real de tal manera que sea armónica con el entorno natural.
- Realizar el análisis económico de la construcción y operación del sistema de tratamiento.
- Generar los manuales de procedimientos para el manejo de subproductos del tratamiento.
- Generar el manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

1. EL MUNICIPIO DE ACACIAS DEPARTAMENTO DEL META.

1.1 GENERALIDADES

El territorio del departamento del Meta está formado por tres grandes regiones fisiográficas: la primera, ubicada en el occidente del Departamento, la constituye la parte montañosa representada por el flanco oeste de la cordillera Oriental con alturas que alcanzan los 4.000 m sobre el nivel del mar limita con los departamentos de Caquetá, Huila y Cundinamarca. La segunda unidad fisiográfica es la planicie, sector casi plano con alturas que no sobrepasan los 200 m sobre el nivel del mar y ubicado en el centro y oriente del departamento. Esta planicie está conformada por la parte occidental del Escudo Guyanés y materiales erodados de la cordillera y depositados por los diferentes ríos que la surcan, formando colinas disectadas, terrazas, vegas y vegones. La tercera corresponde a la zona sur del departamento y cubre alrededor del 60% de su territorio. Su fisiografía varía desde las tierras de páramo y laderas de la cordillera oriental hasta las vegas y planicies cálidas de los ríos Ariari y Guaviare.

El municipio de Acacias fue fundado el 7 de agosto de 1920. Este municipio se encuentra ubicado en la parte central de la República de Colombia sobre el llamado piedemonte llanero, en la zona Noroccidental del departamento del Meta.

Está localizado a 28 kilómetros de Villavicencio por medio de una vía totalmente pavimentada, su extensión territorial es de 1129 kilómetros. La actividad económica de la micro-región es básicamente agropecuaria, destacándose el cultivo de arroz, soya, frutales y cítricos, además de la piscicultura y la ganadería a gran escala. En la actualidad es el segundo municipio del departamento del Meta con mayor población con 50.628 habitantes.

El Municipio de Acacias presenta problemas con el sacrificio de ganado ya que en la actualidad las instalaciones se encuentran en la ronda del río Acacitas y no son aptas para la ejecución de las labores; se está operando en condiciones deficientes en virtud de lo cual se crea la necesidad para mejorar dichas condiciones de operación y de infraestructura, razón por la cual la autoridad ambiental y la Procuraduría Agraria, motivados en la afectación que se causa a esta fuente hídrica, han considerado la obligatoriedad de la reubicación a un sitio que reúna las condiciones requeridas y se encuentre contemplado en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial, artículo 38 y demás instrucciones contenidas en el respectivo acuerdo.

1.2 DESCRIPCIÓN AMBIENTAL DEL MUNICIPIO

1.2.1 Clima¹: El clima en Acacias está influenciado por la altitud, la latitud y el relieve de la zona. Los más relevantes para el estudio son el relieve y la altitud.

¹ MUNICIPIO DE ACACIAS. Plan básico de ordenamiento territorial. Acacias: 2000

La latitud no merece gran atención debido a que todo el municipio se encuentra ubicado en la zona tórrida o ecuatorial. Caracterizándose por ser húmedo y de comportamiento bimodal, teniendo definidos un periodo húmedo y otro seco.

En el ámbito municipal se han podido establecer grandes diferencias en cuanto a clima se refiere. En la Zona Cordillerana se presentan precipitaciones que superan los 3000 mm de promedio anual con temperaturas bajas.

1.2.2 Temperatura: La temperatura para el casco urbano oscila entre los 27 °C y 32 °C, aunque en los meses de enero reportan bajas considerables en horas de la madrugada. Estas bajas de temperatura son denominadas heladas y pueden llegar a los 5 °C.

1.2.3 Precipitaciones: Se tiene un régimen con dos periodos anuales definidos. Uno de invierno con precipitaciones mensuales por encima de lo 3500 mm, entre los meses de abril y noviembre, y otro periodo con precipitaciones medias mensuales inferiores a los 2500 mm, abarca los meses de diciembre, enero, febrero y marzo y se denota como el periodo de verano.

En la actualidad el municipio cuenta con una estación pluviométrica ubicada en la micro-cuenca del río Sardinata. Según el IDEAM, solo hay una estación pluviométrica que brinda información respecto a las lluvias en el área.

1.2.4 Vientos: La mayor velocidad del viento se registra en horas del medio día, hacia la 1:00 p.m., con un promedio de velocidad de 7.2 km/h, que se ha obtenido mediante el cálculo de 17 años de registros. Por medio de estos datos se ha podido determinar que, en las mañanas, la velocidad del viento disminuye a un promedio de 1.5 km/h; hacia las 7:00 a.m. y en horas de la tarde, sufre otra disminución hasta un promedio de 2.9 km/h hacia las 7:00 p.m.

Los meses que registran las velocidades más altas son los de diciembre a marzo, con promedio mensual de 4.7 km/h. En los meses de junio, julio, y agosto, la velocidad media mensual del viento se encuentra entre 2.5 y 2.9 km/h. Aquí también se destaca la presencia de los vientos Alisios, que afectan este sector y llevan la dirección N-E.

1.2.5 Litología: El área donde se construirá la planta de sacrificio presenta un sistema geológico bien definido que corresponde a llanuras aluviales, originado básicamente por procesos denudativos del flanco oriental de la cordillera oriental y cuyos sedimentos fueron arrastrados y depositados por la red de drenajes que bajan de dicha cordillera; el proceso antes descrito tiene en el río Sardinata un perfecto medio de transporte de sedimentos. La zona de ubicación de la planta de sacrificio de Acacias pertenece al tipo de depósitos cuaternarios (Qt), que se describen a continuación.

Depósito Aluvial reciente (Qal): Son depósitos de carácter arcilloso, de colores pardos, regular de mal drenaje debido a baja permeabilidad. El material es arcilloso-arenoso. Son depósitos estables y se disponen como una terraza plana.

Litológicamente las riveras del río Sardinata se encuentran formadas por depósitos aluviales caracterizados por material rocoso de forma subredondeada a subangular con gran diferencia de tamaños, embestidos de una matriz limo-arenos-arcillosa; es sobre este depósito que se construirá la planta de sacrificio.

Depósito Cuaternario Terraza (Qt): Conforman en general la parte de la sabana de los llanos orientales. En la zona de Acacias este depósito abarca el área comprendida entre los ríos Guayuriba y Orotoy. Litológicamente se observan guijos, gravas de roca sedimentaria y metamórfica producto de la degradación de unidades geológicas que conforman el borde llanero. En los primeros 0.10 m se presenta una capa vegetal muy delgada que corresponde a una acumulación de materia orgánica dentro de un material arenoso, color café oscuro a marrón, de poca plasticidad y cohesión. Se observó abundante presencia de raíces.

1.2.6 Flora: La Cuenca Alta del Río Guatiquía, debido a los diferentes pisos térmicos que posee, presenta una rica flora representada en la variedad de especies que allí se dan.

1.2.7 Fauna: La fauna silvestre está compuesta por el conjunto de animales no domésticos ni mejorados genéticamente, criados, o que han regresado a su estado salvaje, excluyendo los peces y todas las demás especies que tienen ciclo total de vida en el agua.

La fauna es variada, pero ha sido maltratada desde hace bastantes años, y algunas especies silvestres se encuentran en peligro de extinción y otras ya han desaparecido debido a las mismas actividades y costumbres de los pobladores al practicar la caza como medio de sustento de vida; a la explotación para el comercio ilegal de pieles, especies exóticas y pájaros propios de la región; y a la destrucción de los bosques para la obtención de madera para diferentes fines que limita el hábitat para la fauna silvestre provocando la migración hacia los bosques y la disminución de las poblaciones faunísticas.

2. LA INDUSTRIA PROCESADORA DE CARNES EN EL MUNICIPIO DE ACACIAS

Con el fin de ubicar al lector dentro del contexto del proceso de sacrificio de ganado en el municipio de Acacias, a continuación se describen las características de este en las condiciones de la región.

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

La producción de carne constituye una parte importante de la industria alimentaria del mundo. En su conjunto, esta actividad económica incluye la crianza de animales y su posterior procesamiento industrial que comprende el sacrificio, la producción de carne y el procesamiento de subproductos y desechos para su reaprovechamiento.

Durante la cadena de producción, desde la finca hasta los mercados, puede haber pérdidas considerables de calidad y de cantidad de carne y generación de subproductos y residuos contaminantes de diversos tipos. Estas pérdidas y subproductos pueden presentarse de las siguientes formas:

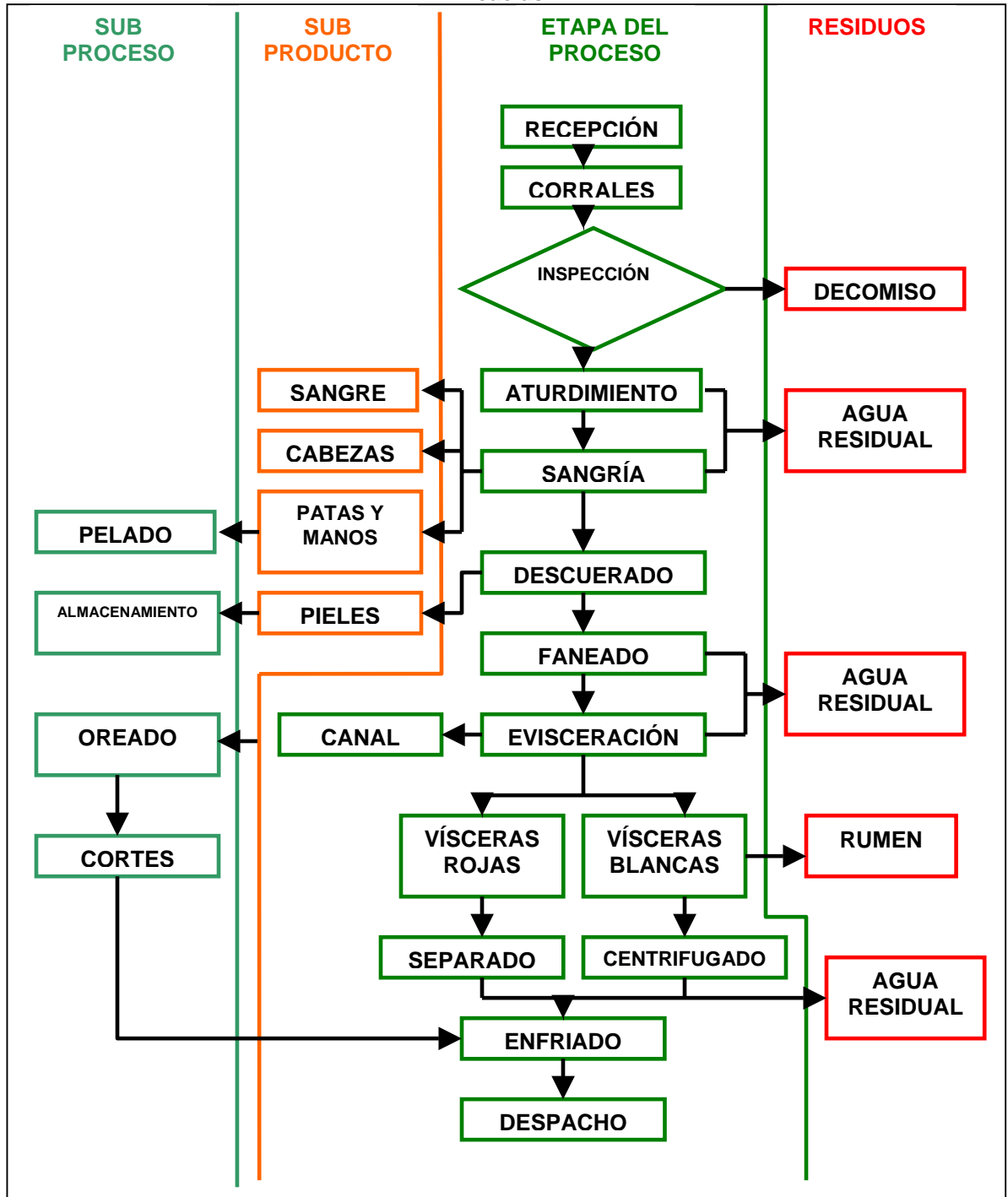
- Decomiso del canal y de la carne por lesiones, hematomas o muerte
- Disminución de la calidad de cueros y pieles por lesiones
- Pérdida de calidad de la carne por enfermedades
- Deterioro de la carne por estrés o bajo nivel de bienestar animal
- Generación de altos volúmenes agua residual
- Producción de estiércol y residuos orgánicos (contenidos estomacales)
- En algunos casos se producen residuos patológicos al sacrificar un animal enfermo.

En muchos países en desarrollo, estas pérdidas son altas porque el sistema de producción no siempre proporciona los mecanismos apropiados y no genera un incentivo económico para reducirlas. Una de las maneras más eficientes de mejorar el bienestar y reducir las pérdidas es diseñando un sistema de producción y comercialización que responsabilice a las personas y a los actores involucrados en la cadena de mercadeo del ganado por las pérdidas y residuos ocasionados y, de esta manera, asegurar un desarrollo ambiental y económico sostenible

2.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PRODUCTIVO

En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo de los procesos de sacrificio de ganado efectuados en el matadero municipal de Acacias. En el se muestran las diferentes etapas del proceso, con los subprocesos que intervienen en el mismo, al igual que los subproductos y residuos generados.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de sacrificio de ganado bovino en el municipio de Acacias.



Fuente: Autor, 2006.

2.3 ETAPAS DEL PROCESO

El proceso de sacrificio de ganado conlleva una serie de etapas, en las que se generan subproductos y residuos, estas etapas varían de acuerdo a las condiciones y costumbres de cada región, es así que para el proceso que se desarrolla en el municipio de Acacias se llevan a cabo las etapas que se muestran en la figura 1 y que a continuación se describen.

2.3.1 Recepción de animales: Consiste en desplazar el animal a través de los pasillos y corrales hasta el área de pesaje.

Figura 2. Recepción de animales, Matadero de Acacias.



Fuente: Autor, 2005.

2.3.2 Corrales: Una vez son recibidos y pesados, los animales son conducidos a los corrales. En este lugar se busca tranquilizar al animal para asegurar la calidad del producto y que este evacue la mayor cantidad de líquidos y contenidos estomacales para facilitar el proceso de vísceras blancas. El periodo de detención del animal varía dependiendo las condiciones ambientales y culturales de la región en donde se encuentre la planta de sacrificio, usualmente este tiempo se encuentra entre 6 y 12 horas. En condiciones excepcionales se le suministra alimento al animal.

Figura 3. Corrales, Matadero de Acacias..



Fuente: Autor, 2005.

2.3.3 Inspección: Un funcionario del DAS revisa todos los animales que serán sacrificados, verificando que estén debidamente identificados con el número del propietario. De igual forma un funcionario de de la procuraduría agraria revisa los animales y/o los canales verificando la calidad de la carne y efectuando decomisos cuando esta no cumple con los requisitos necesarios para ser distribuida.

Figura 4. Inspección de animales, Matadero de Acacias..



Fuente: Autor, 2005.

2.3.4 Aturdimiento: Los animales pasan a la sección de insensibilización. En el momento previo al sacrificio se bañan con agua fría. Se les realiza una incisión con una lanza al nivel de la articulación atlanto-occipital para seccionar el bulbo raquídeo bloqueando el mecanismo sensitivo.

Figuras 5 y 6. Pasillo de entrada y trampa de insensibilización, Matadero de Acacias..



Fuente: Autor, 2005.

2.3.5 Sangría: Se realiza un corte por detrás de la mandíbula y se espera que salga la sangre completamente; una vez realizada la sangría se baña nuevamente al animal.

Figura 7. Sangría, Matadero de Acacias..



2

Fuente: Autor, 2005.

2.3.6 Separación de cabezas y patas: Aquí se practica una incisión a lo largo de la pierna izquierda para sostener el animal, dejando la pata derecha libre, cortando esta con un cuchillo; este procedimiento se repite con la pata izquierda.

Figura 8. Separación de cabezas y patas, Matadero de Acacias..



Fuente: Autor, 2005.

2.3.7 Separación de manos: Este procedimiento se realiza con un cuchillo al nivel de las articulaciones carpianas, en esta fase se inicia el desuello o separación de la piel a partir de la región anterior.

Figura 9. Separación de manos y desuello, Matadero de Acacias..



Fuente: Autor, 2005.

2.3.8 Desuello: Se realiza con un cuchillo, para retirar totalmente la piel de las piernas, muslos, ancas y parte alta de los flancos; al finalizar estas operaciones la piel se encuentra adherida a lo largo de la región dorsal, se sujetan las partes libres de esta a una cadena accionándose un diferencial el cual hace el desprendimiento de la piel.

Figuras 10 y 11. Cadena diferencial y pieles desprendidas, Matadero de Acacias..



Fuente: Autor, 2005.

2.3.9 Corte del esternón: Se realiza mediante una incisión en la línea blanda del pecho introduciendo una sierra eléctrica que rompe el esternón.

Figura 12. Sierra eléctrica para corte de esternón, Matadero de Acacias..



Fuente: Autor, 2005.

2.3.10 Evisceración: Al animal se le separan los órganos genitales, vísceras blancas y rojas; la canal se somete a lavado con agua y se inspecciona sanitariamente. Se observa que las vísceras estén en buen estado y la canal higiénica, una vez aprobada, se pasa a la zona de pesaje donde se determina el peso final. Luego la canal es movilizada al cuarto de oreo durante 6 horas para posteriormente refrigerarse.

Figura 13. Evisceración, Matadero de Acacias..



Fuente: Autor, 2005.

2.3.11 Vísceras rojas: En esta etapa del proceso son lavadas las vísceras y almacenadas separadamente en canastas plásticas, se dejan orear (perder calor corporal) y después son refrigeradas para su posterior despacho.

Figura 14. Vísceras rojas, Matadero de Acacias.



Fuente: Autor, 2005.

2.3.12 Vísceras blancas: En esta etapa son vaciados los estómagos y posteriormente centrifugados. Los contenidos estomacales (rúmen) son almacenados en lonas que posteriormente se disponen en una cama de filtración para que pierdan humedad.

Figuras 15 y 16. Lavado de vísceras blancas y recolección de rumen, Matadero de Acacias..



Fuente: Autor, 2005.

2.3.13 Oreado: Con el fin de que la carne pierda el calor corporal con el que venía el animal, se deja por un tiempo en un cuarto cerrado a temperatura ambiente y posteriormente ser refrigerada y despachada. Esta etapa es muy importante en el proceso porque así se garantiza que el producto tenga el sabor y características apropiadas para su comercialización.

Figura 17. Proceso de oreado de carne en canal, Matadero de Acacias..



Fuente: Autor, 2005.

2.3.14 Refrigerado: Una vez la carne alcanza la temperatura ambiente es refrigerada. Para el caso de esta planta de sacrificio, esta etapa es efectuada directamente en el camión de reparto del producto.

Figura 18. Camión refrigerado, Matadero de Acacias..



Fuente: Autor, 2005.

2.4 MATERIAS PRIMAS E INSUMOS

En el proceso de sacrificio de ganado, como lo indica su nombre, la materia prima esencial es el ganado bovino, pero a través del proceso se requieren insumos tales como: el agua, que es usada en todas y cada una de las etapas del proceso; sal marina, empleada para acondicionar las pieles para su posterior almacenamiento; detergentes y desinfectantes, utilizados en la limpieza general de

la planta; otros insumos necesarios son la energía eléctrica y el gas natural, este ultimo empleado en la caldera.

2.5 PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS

El principal producto generado en el proceso de la planta de sacrificio de ganado de Acacias es la carne en canal. Se encuentran subproductos que son comercializados directamente, es decir que no requieren de ningún otro proceso para acceder a su valor económico, estos son: las “carnes de tercera” (vísceras rojas y blancas); las patas, manos y cabezas; las pieles y los cuernos. La sangre es un subproducto que presenta un amplio potencial de aprovechamiento, pero para poder acceder a este se hace necesario implementar sistemas de acondicionamiento de esta para poder ser almacenada y posteriormente comercializada; para el caso de Acacias son aprovechados en su mayoría estos subproductos, pero las condiciones económicas de esta empresa aun no permiten la implementación de subprocesos para el aprovechamiento de la sangre específicamente, haciendo que se generen grandes descargas de esta sustancia en el agua residual.

2.6 IMPACTOS AMBIENTALES DEL PROCESO DE SACRIFICIO

Durante el proceso de sacrificio de ganado bovino, para obtener y comercializar carne en canal, se generan subproductos y residuos los cuales presenten un gran potencial de aprovechamiento, pero un inadecuado manejo de estos generan impactos ambientales que deben ser controlados. Estos subproductos y residuos separados se describen a continuación:

2.6.1 Piel: Cuando el canal esta acondicionado se le retira la piel, la cual representa el 2 % del peso del animal. El operario de esta etapa debe acumular las pieles en el carro recolector para ser conducidas al almacenamiento y aplicar el tratamiento propio de este producto (salado y estirado).

2.6.2 Cabezas: Después de ser sometido a sangría, al animal se le retira la cabeza, cuyo peso se aproxima al 1.7 % del peso del animal. Se deberán acumular en el sitio del proceso disponiéndolas ordenadamente en canastillas plásticas para ser conducidas posteriormente al almacenamiento.

2.6.3 Patas, manos y rabos: Una vez el animal se encuentra izado se le retiran las patas y manos, cuyo peso aproximado es del 1.6 % y 1.4 % respectivamente del peso del animal. El peso de los rabos se estima despreciable.

Los rabos al igual que las cabezas se deben acumular en el lugar de trabajo en canastillas plásticas y ser almacenadas. En el caso de las patas y manos deben recolectarse y ser transportadas directamente a la estación de pelado, para acondicionarlas y despacharlas.

2.6.4 Sangre: Este es un subproducto con un alto valor debido a sus propiedades nutricionales, ya que contiene aproximadamente un 10 % de la proteína del animal. Esta debe ser recogida en un carro recolector y en lo posible implementar procesos para su acondicionamiento y posterior comercialización o simplemente almacenarla y contratar su gestión externa con productores de concentrados para animales. Los procesos mas empleados en el tratamiento de la sangre para producir harina de sangre son la centrifugación y secado (coquización), sin embargo, la ultra filtración se presenta como alternativa viable para este propósito; mediante la aplicación de esta técnica se logran ahorros energéticos de hasta el 75 %²

2.6.5 Contenidos estomacales: En el proceso de evisceración es donde se produce la mayor parte de los residuos sólidos. El rúmen se caracteriza por contener lignocelulosa, mucosas y fermentos digestivos, además de contener un elevado número de microorganismos entre patógenos y no patógenos. En el área de procesamiento de vísceras blancas, el manejo del rúmen se efectuará empleando un carro recolector que una vez se complete su carga máxima será conducido a las camas de compostaje para someter al rúmen a esta proceso.

2.6.6 Estiércol: Este es generado en los corrales durante la cuarentena a que son sometidos los animales antes de ser sacrificados. Se estima que aproximadamente el animal deja un 1.6 % de su peso en los corrales. La limpieza de corrales se debe efectuar con el menor gasto de agua posible, para esto se hace necesario realizar la recolección manual (con pala) de la mayor parte del estiércol acumulado en los corrales y ser conducida directamente en carretilla hasta las pilas de compostaje.

2.6.7 Agua residual: El agua residual generada a partir del proceso productivo del sacrificio de ganado es susceptible a ser separada en dos corrientes desde el punto mismo de generación para facilitar su manejo y posterior tratamiento, por esta razón a continuación se describen y caracterizan estas corrientes.

Vertimiento N° 1, Agua de contenido ruminal y corrales

Esta corriente arrastra residuos de excrementos y orina de los animales que cumplen la cuarentena en los corrales, además contiene los residuos de material ruminal procedente de la etapa de lavado de vísceras blancas y, en ocasiones contiene pequeñas cantidades de sangre que alcanzan a mezclarse en el proceso.

Vertimiento N° 2, Agua sanguinolenta

Esta agua es la procedente de las etapas de lavado del animal post mortem y de vísceras rojas. Al igual que el vertimiento N° 1, al finalizar la producción diaria se realiza el lavado de áreas de trabajo generándose una descarga de volumen alto.

² COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial: Industria Procesadora de Carnes. Santiago, Chile, 1998.

Este vertimiento se caracteriza por arrastrar grasas y aceites, restos de carne, piel y pelo de los animales. Debe tenerse en cuenta que al finalizar la producción diaria se efectúa el lavado de las áreas de trabajo, teniendo de esta manera un aumento en el volumen de agua del vertimiento.

En la tabla 1 que se muestra a continuación se relacionan y describen los aspectos del proceso de sacrificio de ganado, que producen impactos y se analizan los efectos de estos por cada componente ambiental.

Tabla 1. Análisis de impactos ambientales, Matadero de Acacias.

COMPONENTE	ASPECTO	EFEECTO	IMPACTO
AGUA	<ul style="list-style-type: none"> - Lavado general de la planta - Proceso de sacrificio - Lavado de vísceras rojas - Lavado de vísceras blancas - Funcionamiento de corrales 	Aumento en la concentración de materia orgánica, sólidos suspendidos y grasas en el agua residual	Vertimiento con grandes cargas contaminantes en una fuente natural
AIRE	<ul style="list-style-type: none"> - Proceso de sacrificio en general. - Empleo de combustibles fósiles en la caldera - Movimiento constante de vehículos diesel 	<ul style="list-style-type: none"> - Generación de olores ofensivos - Aumento de las concentraciones de material particulado y CO₂, en la atmósfera local. 	Emisiones atmosféricas moderadas de MP y CO ₂
RESIDUOS	<ul style="list-style-type: none"> - Funcionamiento de corrales - Limpieza de viseras y pieles 	Generación de residuos sólidos biodegradables	Aumento en la demanda de disposición de residuos
SUELO	<ul style="list-style-type: none"> - Limpieza de corrales - Operación del sistema de tratamiento de aguas residuales 	Generación residuos sólidos dispuestos a campo abierto	Infiltración de contaminantes en el suelo.
COMUNIDADES	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción y operación de la planta de sacrificio 	Modificación de la estética local y generación de olores	Daño estético y emisión de olores ofensivos.

Fuente: Autor, 2005.

3. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS VERTIMIENTOS GENERADOS EN EL MATADERO DE ACACIAS

En este capítulo se describen las corrientes residuales generadas a través del proceso de sacrificio de ganado en el municipio de Acacias, además se incluyen los resultados de los análisis de laboratorio efectuados para estas corrientes, así como los valores obtenidos en los aforos de caudal realizados en las instalaciones de dicha planta de sacrificio, posteriormente se efectúa el cálculo de las cargas contaminantes generadas en el proceso.

3.1 CIRCUITOS DE VERTIMIENTO

El vertimiento residual de la planta de sacrificio de Acacias se caracteriza por ser un conjunto de corrientes con caudal y carga contaminante características para cada una de ellas, haciéndose necesario manejarlas separadamente antes de ser reunidas en una sola corriente. Por esta razón se describen a continuación cada una de las corrientes residuales desde la etapa del proceso donde se genera.

3.1.1 Corrales: Como se describió en el título 2.3.2 de este documento, en esta etapa del proceso el animal es retenido en corrales para relajarlo durante un periodo de tiempo que varía de acuerdo a las condiciones y características propias de cada planta de sacrificio, este periodo puede encontrarse entre las 6 y 12 horas, tiempo en el cual se genera una corriente residual que no presenta un elevado caudal en condiciones de clima seco o instalaciones techadas. Como característica principal se encuentra que esta es la etapa del proceso en la que la generación de sólidos es excesiva y más aun cuando el estiércol generado en los corrales no es recolectado con frecuencia y no se cuenta con mecanismos para la recolección separada de aguas lluvias. En resumen el agua residual de esta etapa se caracteriza por ser una corriente permanente de bajo caudal y por arrastrar gran cantidad de sólidos de carácter orgánico.

3.1.2 Vísceras rojas: En realidad esta corriente residual no proviene exclusivamente de la etapa de procesamiento de vísceras rojas, la integra también, y en mayor cantidad, el volumen generado durante las etapas de aturdimiento y sangría. Se caracteriza por contener una gran cantidad de sangre, grasas y algo de sólidos. Existen formas sencillas de controlar la cantidad de carga que pueda aportar esta corriente, para esto se proponen comúnmente la instalación de válvulas automáticas para los puntos de operación y el almacenamiento separado de la sangre en el momento de efectuar la etapa de sangría. Esta corriente es generada únicamente durante el tiempo que dura un día de faenado, que esta entre las 8 a las 10 horas.

3.1.3 Vísceras blancas: Esta corriente es la que presenta menor volumen y se asemeja mucho a las características de la corriente de corrales, puesto que en esta etapa se efectúa el vaciado, lavado y acondicionamiento de los estómagos, conocido como carne de tercera. Esta corriente se caracteriza por arrastrar sólidos, grasas flotantes y algunas trazas de sangre. Su tiempo y frecuencia de generación es exactamente igual a los de vísceras rojas, produciéndose únicamente durante la jornada de faenado.

3.2 DIAGNOSTICO DE VERTIMIENTOS

Con el fin de caracterizar las corrientes residuales producidas en el proceso de sacrificio de ganado en el municipio de Acacias se desarrollaron tres muestreos y tres aforos de caudal cuyos resultados se incluyen y discuten a continuación.

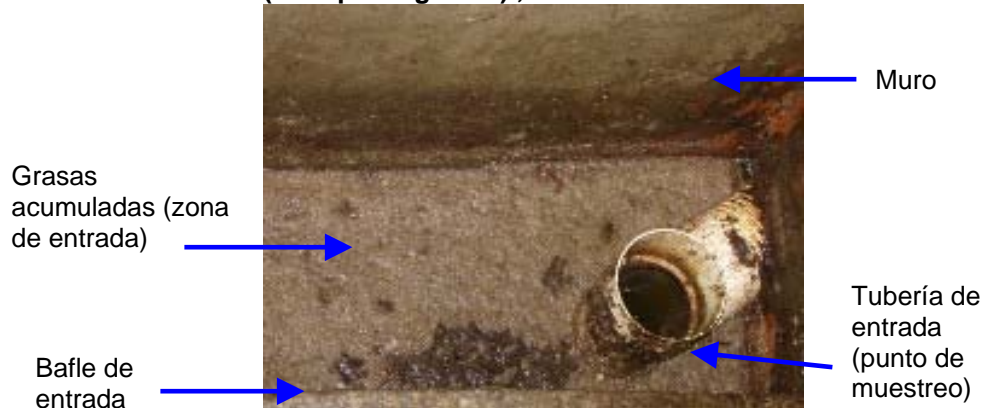
3.2.1 Caracterización de contaminantes

Buscando conocer las características de los contaminantes presentes en el agua residual del proceso de sacrificio, se diseñó y aplicó un programa de monitoreo...Ver anexo A...en el cual se determinaron las condiciones y procedimientos necesarios para recolectar las muestras que proporcionarían posteriormente la información que representara la realidad de la forma más veraz. Teniendo en cuenta como parámetros de control La Demanda Bioquímica de Oxígeno, la Demanda Química de Oxígeno y el contenido de Sólidos Suspendidos Totales.

Es así que se recolectaron tres (3) grupos de datos, para cada una de las corrientes residuales (vísceras rojas y blancas), en cada una de ellas se efectuó un muestreo compuesto, durante una jornada de producción. Los parámetros de análisis de laboratorio tenidos en cuenta para cada una de las muestras fueron la Demanda Química de Oxígeno, la Demanda Bioquímica de Oxígeno, los Sólidos Suspendidos Totales y la concentración de Aceites y Grasas. También se analizaron parámetros in-situ tales como la temperatura y el pH. En la tabla 2 se muestran los resultados de laboratorio obtenidos para cada uno de los muestreos realizados. De igual manera en el anexo F se incluyen las copias de las hojas de resultados emitidos por los laboratorios.

En las figuras 19 y 20 se muestran los puntos de muestreo, para la corriente de vísceras rojas, corrales y vísceras blancas, respectivamente.

Figura 19. Punto de monitoreo, vertimiento de vísceras roja (Trampa de grasas) , Matadero de Acacias.



Fuente: Autor, 2005.

En la figura 19 se muestra el la zona de entrada a la trampa de grasas, para las corriente residual que se genera en el proceso de vísceras rojas, para efectuar la toma de muestras fue necesario vaciar por completo el agua contenida en esta unidad, puesto que la configuración de esta no facilitaba la introducción del balde muestreador; el punto de muestreo específicamente estuvo ubicado en la parte inferior de la tee de entrada.

Figura 20. Punto de muestreo, vertimiento de vísceras blancas y corrales (Sedimentador) , Matadero de Acacias.



Fuente: Autor, 2005.

En la figura 20 se muestra la zona de entrada al estercolero, al igual que las tuberías que conducen el agua residual de los corrales y el área de vísceras blancas, hasta esta unidad, para efectuar la toma de muestras en la tubería de vísceras blancas se debió acoplar una extensión de la misma, con el fin de garantizar la correcta recolección de la muestra.

Los monitoreos efectuados en los meses de marzo y octubre fueron realizados por el autor de la presente investigación; en tanto los del mes de julio fueron

contratados directamente por la administración del matadero de Acacias, con la empresa Tecnoambienta Ltda., quienes proporcionaron copia de los resultados.

Tabla 2. Caracterización del agua residual

MONITOREO (1)		MARZO DE 2005 ³			
PUNTO	pH	T °C	DQO (mg/L de O ₂)	DBO ₅ (mg/L de O ₂)	SST (mg/L)
V. ROJAS	6.49	26.4	800	300	224
V. BLANCAS	6,72	26.7	230	100	789
MONITOREO (2)		JUNIO DE 2005 ⁴			
PUNTO	pH	T °C	DQO (mg/L de O ₂)	DBO ₅ (mg/L de O ₂)	SST (mg/L)
V. ROJAS	7.4	24.8	2997	670	494
V. BLANCAS	8.02	26	1653	408	1653
MONITOREO (3)		OCTUBRE DE 2005 ⁵			
PUNTO	pH	T °C	DQO (mg/L de O ₂)	DBO ₅ (mg/L de O ₂)	SST (mg/L)
V. ROJAS	7.6	25.5	3004	618	297
V. BLANCAS	7.71	24.8	987	357	1223

3.2.1.1 Monitoreo (1): El muestreo del mes de marzo de 2005 se desarrolló solamente durante las primeras seis horas de operación de la planta, ya que el sistema de tratamiento de aguas residuales que opera en la actualidad se colmata después de este tiempo, aspecto que impide el acceso a las tuberías de descarga del agua residual donde se toman las muestras. Los análisis de estos parámetros fueron efectuados por el Instituto de Higiene Ambiental Ltda. en Bogotá. Los resultados de los análisis de este muestreo se relacionan en la tabla 2 y se soportan en el anexo F, con las copias de los resultados expedidos por el laboratorio.

3.2.1.2 Monitoreo (2): Los datos para el mes de junio de 2005 se obtuvieron por medio de la gerencia del matadero ya que este establecimiento efectuó una caracterización fisicoquímica y microbiológica de sus vertimientos. La información suministrada en el informe de caracterización de Tecnoambiental fue incluida como un segundo grupo de datos en el análisis de los vertimientos. En este estudio de incluyeron muestras para cada una de las corrientes residuales. Según dicho informe este muestreo se desarrolló durante las cinco primeras horas del proceso por los mismos motivos mencionados anteriormente.

³ INSTITUTO DE HIGIENE AMBIENTAL LTDA. Informe de laboratorio, Bogota, 2005.

⁴ TECNOAMBIENTAL Ltda. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los vertimientos producidos por el matadero Benjamín Poveda Reina, Acacias, Meta. Villavicencio, julio de 2005. Tecnoambiental de Ltda.

⁵ Los análisis fueron elaborados por Tecnoambiental Ltda. Asesoría y laboratorio, Villavicencio octubre de 2005.

3.2.1.3 Monitoreo (3): El muestreo del mes de octubre de 2005 se desarrolló igualmente que los dos primeros, en las primeras seis horas de operación de la planta, puesto que el sistema de tratamiento de aguas residuales del matadero se colmata, impidiendo de esta forma el acceso a las tuberías para tomar las muestras. Los análisis de estos parámetros fueron efectuados por Tecnoambiental Ltda. en la ciudad de Villavicencio. Los resultados de los análisis de este muestreo se relacionan en la tabla 2 y se soportan en el anexo F, con las copias de los resultados expedidos por el laboratorio.

Final mente, con el fin de establecer valores promedio para las concentraciones de contaminante generadas en el matadero de Acacias, se muestran a continuación los cálculos, en donde se promedian los valores encontrados en los tres monitoreos.

3.2.1.4 Características promedio en vísceras rojas:

$$pH \rightarrow \frac{6,49+7,4+7,92}{3} = 7,27$$

$$T^{\circ}C \rightarrow \frac{26,4+24,8+25,5}{3} = 25,5^{\circ}C$$

$$DQO \rightarrow \frac{800+2997+3004}{3} = 2267 \frac{mg}{L} deO_2$$

$$DBO \rightarrow \frac{300+670+618}{3} = 529,3 \frac{mg}{L} deO_2$$

$$SST \frac{224+494+297}{3} 338,3 = \frac{mg}{L}$$

3.2.1.5 Características promedio en vísceras blancas (estercolero):

$$pH \rightarrow \frac{6,72+8,02+7,71}{3} = 7,48$$

$$T^{\circ}C \rightarrow \frac{26,7+26,0+24,8}{3} = 25,83^{\circ}C$$

$$DQO \rightarrow \frac{230+1653+987}{3} = 956,6 \frac{mg}{L} deO_2$$

$$DBO \rightarrow \frac{100+408+357}{3} = 432,5 \frac{mg}{L} deO_2$$

$$SST \frac{789+1653+1223}{3} = 1221,6 \frac{mg}{L}$$

En la tabla 3 se muestran las concentraciones de contaminantes encontradas para los vertimientos del matadero de Acacias, se incluyeron datos para Aceites y

Grasas, que a pesar de no haberse tenido en cuenta en los muestreos de los meses de marzo y octubre, si se muestran datos en el informe de Tecnoambiental del mes de junio.

Tabla 3. Concentraciones de contaminantes de los vertimientos del matadero de Acacias.

PUNTO	pH	T °C	DQO	DBO ₅	SST	AyG**
V. ROJAS	7,27	25,5	2267	529,3	338,3	17,5
V. BLANCAS	7.48	25,8	956,6	432,5	1221,6	146,7

A partir de estos resultados se puede efectuar un análisis breve de la tratabilidad para este vertimiento, partiendo de la relación entre la DQO y la DBO₅, que es la medida de biodegradabilidad del agua, de la siguiente manera:

$$\frac{DQO_{VR}}{DBO_{VR}} = \frac{2267 \text{ mg/L de } O_2}{529,3 \text{ mg/L de } O_2} = 4,2$$

$$\frac{DQO_{VB}}{DBO_{VB}} = \frac{956,6 \text{ mg/L de } O_2}{432,5 \text{ mg/L de } O_2} = 2,2$$

Comúnmente se considera biodegradable un agua residual, cuando la relación entre la Demanda Química de Oxígeno y la Demanda Biológica de Oxígeno, es menor a tres (< 3) aceptándose en algunos casos valores hasta de cinco (< 5)⁶, aunque para estos casos son recomendables pruebas de biodegradabilidad mas específicas, se observó que la corriente de vísceras rojas presenta un elevado valor (4,2), lo cual hace pensar que existen aportes adicionales de material inorgánico u orgánicos no biodegradable, evento que puede atribuirse a la utilización de detergentes y desinfectantes en el lavado de las instalaciones y a las descargas de agua generadas en el momento de purgar la caldera; así mismo se observó que la relación de biodegradabilidad para el vertimiento del Sedimentador es satisfactoria (2,2).

3.2.2 Aforos de caudal

Uno de los aspectos más importantes en el momento de caracterizar los vertimientos de una industria como la que trata este documento, es la determinación del caudal de agua residual generada durante el proceso de sacrificio y las etapas alternas a éste. Dependiendo de las condiciones de operación e infraestructura del proceso se generarán aportes externos de agua y contaminantes, que harán que el sistema de tratamiento a construir opere incorrectamente o simplemente no proporcione la remoción esperada.

** Este parámetro sólo contó con los análisis realizados el 17 de junio, por Tecnoambiental Ltda.

⁶ BALDA, ROBERTO. Apuntes cátedra de Recurso Agua; 2003.

Para determinar el volumen de agua producido durante un (1) día de producción se realizaron tres aforos de caudal en diferentes fechas y condiciones de operación de la planta de sacrificio. Para esto se empleó el método de aforo volumétrico...Ver anexo B... en la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos en estos aforos. Es importante resaltar de nuevo que el vertimiento global de este tipo de industria está conformado por tres corrientes que, para facilitar su tratamiento, son separadas desde el momento de su generación en cada punto de trabajo. Estas corrientes son las que provienen del los corrales, el proceso de vísceras blancas y los procesos de aturdimiento, sangría y evisceración. En el anexo B se muestran la totalidad de los datos recolectados en los tres aforos realizados en los meses de julio, agosto y octubre de 2005.

Tabla 4. Resumen de resultados de los aforos de caudal de vertimientos en el matadero de acacias.

Nº	Fecha del aforo	Nº Cabezas sacrificadas	Volumen AR m ³ /día
1	Marzo 14 de 2005	24	109,7
2	Junio 16 de 2005	21	92,3
3	Octubre 28 de 2005	52	149,3

A partir de esta información se encuentra que los promedios aritméticos para el caudal del vertimiento total de agua residual de proceso de sacrificio de ganado es de 171,1 metros cúbicos y que el promedio de animales sacrificados es de 32,3 cabezas. De esta manera se puede establecer que, en promedio para sacrificar una res, se están gastando 5,3 metros cúbicos de agua. Este valor se encuentra muy por encima de lo que se estima en la bibliografía consultada, puesto que el consumo de agua por cabeza sacrificada se encuentra de 1,5 a 2 metros cúbicos⁷. Esto nos ayuda a concluir que se está presentando un despilfarro de agua por res sacrificada, lo cual hace que el sistema hidráulico del tratamiento actual se vea afectado, permitiendo su colmatación a las pocas horas de iniciadas las labores de sacrificio.

3.2.3 Determinación de cargas de contaminantes

Las cargas de contaminantes es el parámetro mas comúnmente empleado en la evaluación de vertimientos y en el diseño se sistemas de tratamiento correspondiente. Este valor resulta del producto del caudal del agua vertida por la concentración de un contaminante específico. Para el caso del presente trabajo se encontró que en promedio, para cada uno de los vertimientos generados en el matadero municipal de Acacias, se están arrojando las concentraciones de contaminantes relacionadas en la tabla 3 y el consumo de 5,3 m³ de agua por animal sacrificado; a partir de estos valores se desarrollan a continuación los cálculos de cargas contaminantes, para cada corriente residual.

⁷ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía ambiental para las plantas de beneficio Colombia; mayo de 2002.

3.2.3.1 Cargas de contaminantes para el vertimiento de vísceras rojas

$$\frac{2267 \frac{mg}{L} * 5,3 \frac{m^3}{Cabeza}}{1000} = 12 \frac{kg}{Cabeza} deDQO$$

$$\frac{529,3 \frac{mg}{L} * 5,3 \frac{m^3}{Cabeza}}{1000} = 2,8 \frac{kg}{Cabeza} deDBO_5$$

$$\frac{338,3 \frac{mg}{L} * 5,3 \frac{m^3}{Cabeza}}{1000} = 1,8 \frac{kg}{Cabeza} deSST$$

3.2.3.2 Cargas de contaminantes para el vertimiento de vísceras blancas

$$\frac{956,6 \frac{mg}{L} * 5,3 \frac{m^3}{Cabeza}}{1000} = 5,1 \frac{kg}{Cabeza} deDQO$$

$$\frac{432,5 \frac{mg}{L} * 5,3 \frac{m^3}{Cabeza}}{1000} = 2,3 \frac{kg}{Cabeza} deDDBO_5$$

$$\frac{1221,6 \frac{mg}{L} * 5,3 \frac{m^3}{Cabeza}}{1000} = 6,5 \frac{kg}{Cabeza} deSST$$

4. TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE VERTIMIENTOS PARA EL MATADERO MUNICIPAL DE ACACIAS

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales, tradicionalmente se han trabajado con tecnologías aerobias en el tratamiento de los vertimientos de plantas de sacrificio de ganado; para la presente investigación fue tenida en cuenta la tecnología anaerobia, ya que ha sido ampliamente utilizada en los últimos años para la degradación de compuestos de muy distinta naturaleza y no se han desarrollado experiencias de este tipo en el medio Colombiano.

En el presente capítulo se hace una descripción general de los principios del tratamiento biológico de aguas residuales empleando sistemas anaerobios, haciendo referencia específica sobre los sistemas por contacto de lodos, puesto que bajo este principio general es que opera el sistema propuesto en este trabajo, seguidamente se justifica la escogencia del sistema ASBR y se relacionan a manera de ejemplo dos experiencias de ensayos con esta tecnología, desarrollados en Italia y Canadá. Una vez es expuesta toda la información básica se describe la unidad piloto construida para desarrollar la investigación.

4.1 INTRODUCCIÓN A LOS TRATAMIENTOS ANAEROBIOS

El proceso está basado en una serie de reacciones microbiológicas en serie y paralelo que tienen como objetivo la transformación del contaminante en gas metano.

En un sistema en que todas las poblaciones bacterianas estén balanceadas no debería haber acumulación de intermediarios como: ácidos grasos volátiles (AGV), hidrógeno, monóxido de carbono, etc, y la operación sería estable. Sin embargo, las características del agua residual normalmente varían tanto en caudal como en concentración de contaminantes, lo que puede producir una desestabilización del proceso, haciendo vulnerable la operación de un reactor anaerobio a las perturbaciones de la alimentación y de las condiciones ambientales. Esto es especialmente importante en reactores que operan a alta carga, en los que una perturbación puede provocar un completo fallo del equipo.

En el proceso de digestión anaerobia, la materia orgánica contenida en el agua residual es transformada en los gases metano y bióxido de carbono. Este proceso biológico natural es realizado por grupos o comunidades de bacterias en recipientes cerrados (reactores). El lodo final, estabilizado, no necesita ser compostado y su contenido en organismos patógenos es nulo o muy bajo. Esta conversión biológica del sustrato complejo, en el que se encuentra materia orgánica en suspensión o disuelta, se realiza a través de una serie de reacciones bioquímicas que transcurren tanto consecutiva como simultáneamente y cuyo proceso comúnmente se divide en tres etapas: hidrólisis y fermentación, acetanogénica y metanogénica.

4.1.1 Parámetros de operación y control de procesos anaerobios

Para una correcta operación y un correcto control de un proceso de tratamiento anaerobio, es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

4.1.1.1 Parámetros de operación

- o Carga orgánica
- o Toxicidad
- o Temperatura
- o Velocidad volumétrica de flujo
- o Tiempo hidráulico de retención
- o Cantidad de nutrientes
- o Producción de lodos

4.1.1.2 Parámetros de control

- o Concentración de Ácidos Grasos Volátiles
- o Alcalinidad y pH
- o Sólidos suspendidos, volátiles y totales
- o Producción de metano y gas total

4.1.2 Sistema por contacto de lodos

En el proceso anaerobio de contacto se mezclan aguas residuales con lodos biológicos activados y se digieren en un reactor sellado, sin estrada de aire.

Este proceso fue desarrollado en 1955 por Schroepfer, para tratar con tiempos de retención cortos y edades de lodos prolongadas⁸,

El contenido del reactor se mezcla completamente, por medio de agitadores mecánicos o por la inyección de biogás.

El sistema que se ensayó en este trabajo funciona bajo los principios de un sistema por contacto de lodos. En la mayoría de casos en estos digestores hay una separación externa de lodos que vuelven de nuevo al reactor por recirculación. Este proceso está especialmente indicado para el tratamiento de aguas residuales con elevada cantidad de sólidos lentamente digeribles y que sedimentan con facilidad. En el caso que nos compete se analizó el comportamiento de un sistema en donde los lodos no son separados y nuevamente recirculados, por el contrario se operó el sistema por tandas o cochadas, donde se mantenía una concentración determinada de lodos dentro del reactor. Las cargas de DQO en estos reactores suelen ser altas, con tiempo de

⁸ ROMERO ROJAS, JAIME ALBERTO. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. Bogotá: Escuela Colombiana de ingeniería, 2000. p 694.

retención de alrededor de un día y velocidades de mezcla que permitan la formación de flocs de un tamaño suficiente para sedimentarse.

4.1.3 Condiciones de estabilidad del proceso⁹

La operación del reactor bajo condiciones normales es caracterizada por el comportamiento estable de las variables de control, para lo cual es importante tener unas condiciones de entrada del agua residual apropiadas, así:

- o El pH de alimentación al reactor debe estar en el intervalo 6,0 – 7,2.
- o SST en al agua de aporte de la industria menor 1000 mg/L.
- o La ausencia de metales pesados que puedan ser tóxicos para los microorganismos en el lodo.
- o Relación de concentraciones de DQO : N : P de 350 : 5 : 1
- o Una concentración de aceites y grasas menores a 100 mg/L para evitar la flotación del lodo.
- o Relación AGV / Alcalinidad en el efluente del reactor entre 0,2 y 0,4.
- o pH del efluente del reactor estable dentro del intervalo 7.0 – 7.5.
- o Arrastre de lodo granular inferior a 0.5 ml /l-min.

4.1.4 Condiciones de inestabilidad¹⁰

- o pH del efluente inferior al de la alimentación del Reactor.
- o A.G.V. del afluente y efluente del reactor prácticamente iguales.
- o Concentración de A.G.V. del efluente del Reactor igual o mayor al valor de alcalinidad.
- o Baja producción de biogás.
- o Escasa producción de lodos.
- o DQO del afluente y efluente prácticamente iguales.

Los procesos anaeróbicos exigen un control estricto del pH debido a la naturaleza microbiana metanogénica. Es muy importante mantener la alimentación al reactor con valores de pH entre 6.0 y 7.2. En la práctica son aceptables desviaciones de 0.3 unidades de pH por arriba o por debajo de estos límites durante periodos no mayores a 3 horas y con adición de agentes neutralizantes. (Hidróxido de Sodio, Amoníaco, Ácido sulfúrico, Ácido fosfórico). Si el pH de la alimentación al reactor se aleja considerablemente del intervalo de control, de forma que sea superior a 7.9 ó inferior a 6.2, y con tendencia a incrementar esta diferencia, se deberá suspender la alimentación al Reactor y ajustar el pH con adición del agente neutralizante respectivo hasta alcanzar un valor dentro del intervalo deseado.

Las concentraciones altas en carga orgánica por encima de los niveles de diseño del reactor pueden ocasionar alguno o varios de los efectos siguientes:

⁹ LÓPEZ, E Y CLADERON, A. Tesis de grado ingeniería ambiental. Bogota D.C: Universidad de La Salle.

¹⁰ Ibid., LÓPEZ, E Y CLADERON, A.

- o Alta producción de Biogás.
- o Aumento considerable en la DQO del efluente.
- o Aumento de la concentración de AGV del efluente del reactor.
- o Descenso en los % de remoción en carga en DQO.
- o Arrastre de lodo del Reactor.
- o Relación AGV/Alcalinidad < 0.4.

Una relación AGV/Alcalinidad baja, inferior a 0.2, junto con elevadas tasas de producción de biogás y alta DQO del efluente, son indicadores de sobrecarga del reactor por encima de la capacidad normal de tratamiento para la cantidad de lodo contenida en él.

Puede ocurrir arrastre de sólidos finos en concentraciones mayores a 0.5 ml/l-min. Este material no corresponde a lodo granular y es conveniente que sea evacuado del reactor. Sin embargo, si esta situación se presenta por un periodo superior a una semana se debe efectuar un ensayo de lodos determinando el contenido total de lodo y biomasa dentro del reactor.

Una pérdida total en el mes mayor a un 5 –10% en el contenido inicial de biomasa indica arrastre excesivo de lodo granular por el efluente del reactor.

4.2 REACTORES ANAEROBIOS DE CARGAS SECUENCIALES

4.2.1 Justificación del sistema

La digestión anaerobia en reactores de alta tasa es una alternativa viable para el tratamiento del agua residual de una planta de sacrificio por presentar varias características para el buen funcionamiento del sistema. En primer lugar, el agua residual posee altas concentraciones de material orgánico biodegradable procedente de aceites y proteínas; suficiente fósforo, nitrógeno, alcalinidad y micronutrientes para el crecimiento de microorganismos; no contiene materiales tóxicos y, además, mantiene una temperatura entre los 25° y 35° C, con cierta facilidad. En segundo lugar, la digestión anaeróbica produce alta remoción de la Demanda Química de Oxígeno y de Sólidos Suspendidos, mientras crea una fuente de energía recuperable en forma de metano (CH₄). De esta forma se genera lodo en bajas cantidades que no requiere de aireación o de un tratamiento adicional muy avanzado para su reutilización o disposición. Finalmente y como tercer lugar, los microorganismos anaerobios pueden sobrevivir por largos periodos sin alimentarse, factor importante para las plantas de sacrificio que operan por unos días a la semana o que cierran durante algunos periodos del año.

4.2.2 Antecedentes

Los sistemas ASBR* serían apropiados para el tratamiento del agua residual de las plantas de sacrificio porque pueden operar con limitados costos de capital, energía y mano de obra. Esta tecnología ha sido aplicada en laboratorios y a escalas semicomerciales en el tratamiento de efluentes de excretas porcinas¹¹.

Varios estudios sobre tratamiento anaeróbico de agua residual de plantas de sacrificio han utilizado reactores de flujo ascendente sobre manto de lodos. Los UASB soportan altas tasas de carga orgánica cuando el agua residual contiene la mayor parte de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), reportando una remoción del 94.5% de DQO y operando a una temperatura promedio de 35° C con una carga orgánica de 10.1 kg DQO/m³.día y un tiempo de retención hidráulico de 12 horas¹². De todas formas el agua residual cruda de una planta de sacrificio contiene una gran cantidad de material insoluble y una biodegradabilidad lenta de sólidos que usualmente representa más del 50 % de la carga contaminante. En 1997 se operó un Filtro Anaerobio a una temperatura de 37° C con un agua residual que contenía entre el 15 y 30 % de la DQO como Sólidos Suspendidos, cuando la carga orgánica se incrementó sobre 3 kg DQO/m³.día, la remoción de la DQO estuvo por debajo de 65% y la concentración de SS en el efluente alcanzó los 1000 mg/L¹³.

En pruebas realizadas con reactores UASB empleando aguas residuales con bajas concentraciones de SS se han obtenido resultados como los siguientes: en 1994, operando a 35°C y carga orgánica de 6,4 kg DQO/m³-día se obtuvo una eficiencia de remoción de la DQO de más del 90 %. En 1985, operando un reactor con similares características a 25° C y carga orgánica de 6.1 kg DQO/m³-día se obtuvo una eficiencia de remoción de la DQO de 78%. Además se realizaron pruebas que mostraron que al operar el sistema a 13° C y carga orgánica de 3,3 kg DQO/m³-día se alcanzaba una eficiencia de remoción de la DQO de 35%, manteniendo el Tiempo de Retención Hidráulico por encima de 10 horas.

Los resultados en la experimentación con este sistema concluyeron que toda la remoción de la DQO no se da por vía metabólica microbiana (producción de metano), pero se elimina por otros medios como la floculación y adsorción de coloides en las partículas de lodo y en los gránulos de SS atrapados en el manto de lodos.

En 1992 los trabajadores de Dague and co. Propusieron el sistema Anaerobio de Cargas Secuenciales como una alternativa frente a los procesos de flujo continuo.

* Del ingles "Anaerobic Sequencing Batch Reactor".

¹¹ D.I. AND MASSE. Canadian agricultural engineering. Montreal. Vol. 42, No. 3; September 2000.

¹² BORJA, R. C.J. BANKS and Z. WANG. 1994. Performance and kinetics of an up flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor treating slaughterhouse wastewater.

¹³ RUIZ, I., M.C. VEIGA, P. de SANTIAGO and R. BLAZQUEZ. Treatment of slaughterhouse wastewater in a UASB reactor and an anaerobic filter. Ravenna, Italia. 1997.

La operación por tandas permite un buen control de calidad del efluente ya que este se extrae solo cuando alcanza los niveles establecidos en la normatividad. Los principales factores que afectan el desempeño del sistema son: la agitación, la relación substrato-biomasa, la configuración geométrica del reactor y la estrategia de alimentación. La viabilidad del proceso fue probado a escala de laboratorio por Sung y Dague en 1995; en el 2002 Ruiz obtuvo alentadores resultados trabajando con efluentes de industrias de vinos.

4.2.3 Conceptualización del sistema ASBR

Los sistemas Anaeróbicos de Cargas Secuenciales ASBR representan un novedoso diseño en el tratamiento de aguas residuales con altas cargas contaminantes. Un sistema ASBR opera típicamente en cuatro fases que son: llenado, reacción, sedimentación y vaciado. Durante las fases de llenado y reacción el contenido del reactor es mezclado para permitir un contacto cercano entre la materia orgánica y los microorganismos. El proceso de mezclado constante evita la formación de colonias o flocs bacterianos, por esto se han tenido casos en que se ha empleado un mezclado intermitente para favorecer la sedimentación de la biomasa y así mejorar el desempeño del reactor. La relación alimento – microorganismos (F/M) al inicio de la fase de reacción es alta y el nivel de conversión de materia orgánica en metano alcanza su punto máximo. La duración de la fase de reacción va a depender directamente del substrato y de la calidad requerida del efluente.

Para el tratamiento de aguas residuales con altas concentraciones de SS se hace necesario un tiempo de contacto mayor entre el substrato y los microorganismos, para que se efectúe la hidrólisis completa de las partículas. Cuando la producción de gas decrece al mínimo valor, es el momento de iniciar la fase de sedimentación. El CO₂ producido se acumula en la parte superior del reactor manteniendo en reposo la zona líquida contribuyendo a la sedimentación. La biomasa sedimentada forma una película en el fondo del reactor, sobre ella, a un nivel predeterminado se realiza la extracción del subsobrenadante, el cual arrastra consigo las bacterias y microorganismos que no se floclaron, dejando dentro del reactor, los flocs bacteriales más pesados¹⁴.

Las ventajas de un reactor ASBR son principalmente su bajo costo de capital para su construcción y operación y bajos requerimientos de mantenimiento. Además un reactor ASBR funciona por tandas o cochadas, como con una alimentación semicontinua o intermitente. En una planta de sacrificio el agua residual puede alimentar el reactor durante el tiempo de producción, de esta manera se elimina la necesidad de la implementación de un tanque de igualación o una línea de recirculación. La principal desventaja del sistema es que presenta una producción

¹⁴ SUNG, S. and R.R. DAGUE. Laboratory studies on the anaerobic sequencing batch reactor. 1995.

intermitente de gas metano, lo que dificulta el establecimiento de alternativas para el aprovechamiento del biogás.

En pruebas realizadas en 1998 empleando reactores de 11.5 L operando a 30°C, mezclando el contenido durante 30 segundos cada 10 minutos y variando el tiempo de retención hidráulico entre 18 y 36 horas, obteniendo una remoción de la DQO del 60% en 36 horas, y disminuyendo al 30% en 18 horas.

4.2.4 Ejemplos consultados

A continuación se describen las principales características de las experiencias consultadas para la formulación, construcción y operación del reactor piloto, propuesto en este trabajo.

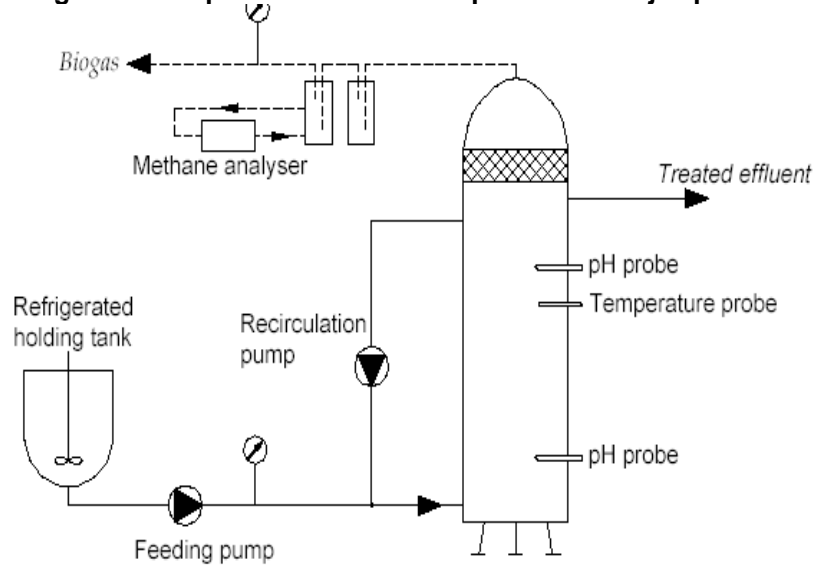
4.2.4.1 Ejemplo 1: Las características operacionales empleadas en el experimento realizado en Bologna, Italia, descrito en el documento “Pilot scale anaerobic sequencing batch reactor for distillery wastewater treatment” escrito por R. Farina, C. M. Cellamare, L. Stante y Giordano en el 2002, son las siguientes:

- o Agua residual : Destilería.
- o Volumen del reactor : 180 L
- o Relación Longitud Diámetro (L/D) : 6/0.194 m/m
- o Temperatura : 35° C
- o Carga orgánica : 3 – 4 kg DQO/m³.día
- o Tiempo de llenado : 30 minutos
- o Tiempo de reacción : 10 horas
- o Tiempo de sedimentación : 40 minutos
- o Puertos de muestreo : 6 cada 0.75 m
- o Sondas de temperatura : 2
- o Sondas de pH : 2

La secuencia de operación del modelo expuesto comprendía el acondicionamiento para el afluente mediante mezcladores, para posteriormente ser introducido y recirculado dentro del reactor empleando bombas volumétricas, además construyeron filtros y campanas de almacenamiento para medir la producción de gas. Ver figura 21.

El sistema fue inoculado con lodo proveniente de un reactor anaerobio con las mismas características del modelo. Fue monitoreado durante cuatro meses tomando muestras del afluente y del efluente para ser caracterizadas físicoquímicamente, además se monitoreó la producción de biogás, el contenido de metano y el pH.

Figura 21. Esquema del reactor empleado en el ejemplo 1.



Fuente: R. Farina, C. M. Cellamare, L. Stante y Giordano, 2002.

4.2.4.2 Ejemplo 2: El agua residual fue recolectada en una planta de sacrificio de porcinos en St. Valérien, Québec, Canadá, en contenedores de 200 L una vez al mes. En la planta de sacrificio se realiza un cribado del agua residual para efectuar la retención de sólidos de más de 1 mm. La muestra fue mezclada y posteriormente preservada en jarras de 10 L para ser empleada gradualmente durante la operación del sistema. En este experimento se emplearon cuatro unidades que contaban con las siguientes características:

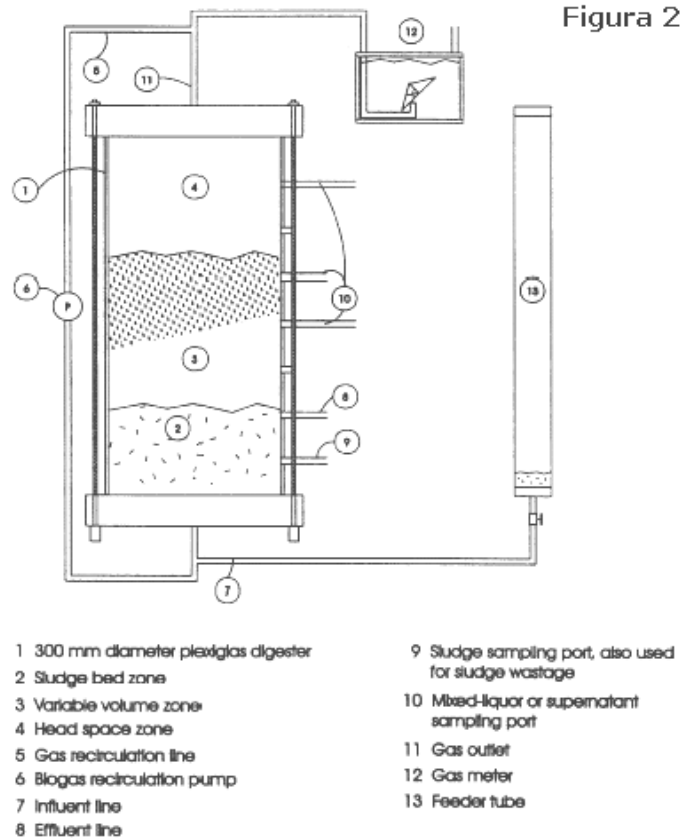
- o Volumen del reactor : 42 L
- o Temperatura : 30 C
- o Tandas de alimentación : cada dos días
- o Frecuencia de mezclado : durante 1 minuto cada 5 minutos
- o Tiempo de retención hidráulico : 2 días
- o Carga orgánica : 2 a 5 kg DQO/m³.día
- o Carga orgánica óptima : 4.93 kg DQO/m³.día
- o Volumen de lodo final : 14 L

La carga orgánica era incrementada progresivamente en el reactor mediante el aumento del volumen de entrada de agua residual de 2 a 13 l.

La forma de mezclado utilizada fue la recirculación forzada del gas generado durante el proceso de reacción, empleando para esto una bomba con capacidad máxima de 22,5 l/minuto.

El proceso biológico se potencializa mediante la introducción de nitrógeno. En la figura 22 se muestra un esquema del sistema descrito anteriormente. Este ejemplo fue tomado del artículo "Treatment of slaughterhouse wastewater in anaerobic sequencing batch reactors" escrito por Massé, de la revista Canadiense "D.I. and Masse, L. 2000. Agric. Eng. 42:131-137.

Figura 22. Esquema del reactor empleado en el ejemplo 2.



Fuente: D.I. and Masse, L. 2000.

A partir de la información recopilada en los dos ejemplos consultados se puede concluir que los parámetros limitantes del el proceso biológico de un reactor de cargas secuenciales son la velocidad de mezcla, la temperatura y el tiempo de reacción. Por esta razón es indispensable establecer una correcta armonía entre estos parámetros con el fin de proporcionarle al sistema las características operativas más apropiadas para a que se lleve a acabo el proceso biológico de remoción de materia orgánica.

4.3 PLANTEAMIENTO DEL REACTOR ASBR A ESCALA PILOTO

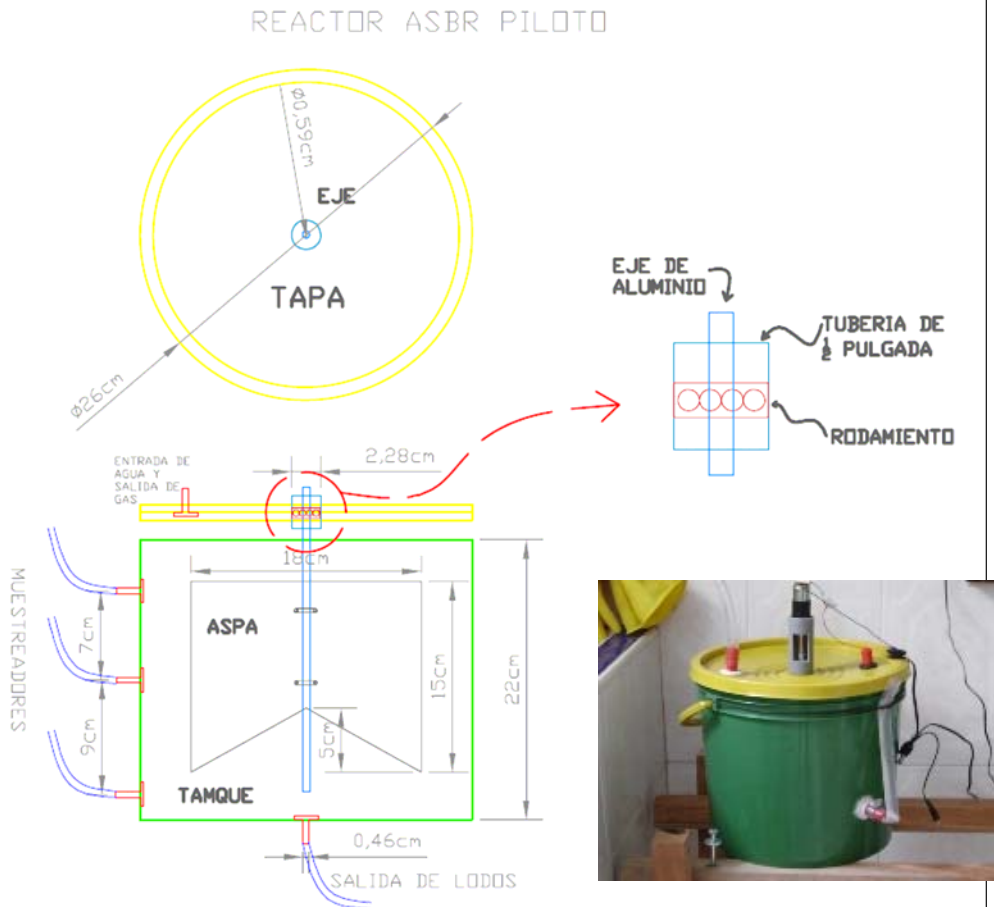
En esta parte del documento se describirán los materiales, métodos y las características del montaje piloto, empleado en esta investigación.

4.3.1 Descripción general

El sistema ASBR, como se ha dicho anteriormente, opera por tandas, siendo este el tiempo en el cual se desarrollan las etapas de llenado, reacción (hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis), sedimentación, decantación y vaciado, del reactor; en conjunto estas fases se denominan ciclo.

A partir de la información recopilada en las caracterizaciones, bibliografía y ejemplos consultados, se construyó un reactor con un volumen de 12 litros, empleando un balde con tapa hermética, utilizado comúnmente para el almacenamiento de pintura. El sistema de mezcla estuvo conformado por un aspa de acrílico, sostenida por un eje de aluminio y accionada por un motorreductor. El sistema se dotó de tres muestreadores, ubicados a un costado del balde, un orificio en la tapa, para el llenado del tanque y para la evacuación de gases y uno en la parte inferior del mismo, para la salida de lodos. En la figura 23 se muestra un esquema general del reactor construido.

Figura 23. Esquema del reactor empleado en la investigación.



Fuente: Autor, 2005.

Los ensayos se desarrollaron en las instalaciones de la planta de sacrificio Benjamín Poveda Reina, como se mencionó anteriormente, el reactor piloto se ubicó en las proximidades a la caja de mezcla de las corrientes residuales después de ser sometidas a tratamientos físicos para la remoción de sólidos y grasas flotantes y antes de ingresar al sistema de tratamiento. De esta manera se facilitaron las etapas de llenado y vaciado.

4.3.2 Herramientas y materiales

Para poder desarrollar el experimento, el reactor debió contar con unas características específicas, que son: hermeticidad, para proporcionar un ambiente anaerobio; de un material que no se corroe con el agua; de capacidad suficiente, para tomar muestras representativas; mecanismo de agitación con variación de velocidad; orificios de entrada y salida de agua y gases generados; y ubicación en un lugar donde no se generen cambios bruscos de temperatura*.

Los materiales empleados en la construcción del reactor ASBR piloto fueron los siguientes:

- o Balde de 12 litros con tapa hermética
- o Racores de manguera (acoples)
- o 3 metros de manguera
- o Eje de aluminio
- o Paleta agitadora de acrílico
- o Motorreductor 12 v 50 rpm
- o Conexión eléctrica
- o Estructura de soporte
- o Plástico cobertor
- o Balde muestreador
- o Contenedor de 8 galones
- o Botellas para muestras
- o Juego de poleas
- o Tamiz plástico

* En el anexo E se muestra un diagrama de planta, de las instalaciones del Matadero municipal de Acacias.

Figuras 24 y 25. Paleta agitadora y motorreductor



Fuente: Autor, 2005.

4.3.3 Montaje

Con el fin de prever fallas operativas del reactor se construyeron dos unidades para que en la eventualidad de que alguno funcionara incorrectamente el proceso no tuviera que arrancar de nuevo. Para facilitar la manipulación y la operación de los reactores se fabricó una estructura en madera que los mantenía a una distancia de 15 cm sobre la superficie del suelo y permitía fijar la instalación eléctrica y los motores. Además se instaló un bombillo de 100 w que proporcionó estabilidad de temperatura, manteniendo el sistema por encima de los 30° C, esto se complementó recubriendo la estructura con un plástico de alta densidad para evitar que el calor se disipara. Es importante aclarar que estas medidas se tomaron a partir del tercer mes porque se observó que los cambios bruscos de temperatura que ocurrían durante la noche hacían que el sustrato biológico no se generara de una forma pertinente. En la figura 26 se muestra el conjunto del sistema trabajado.

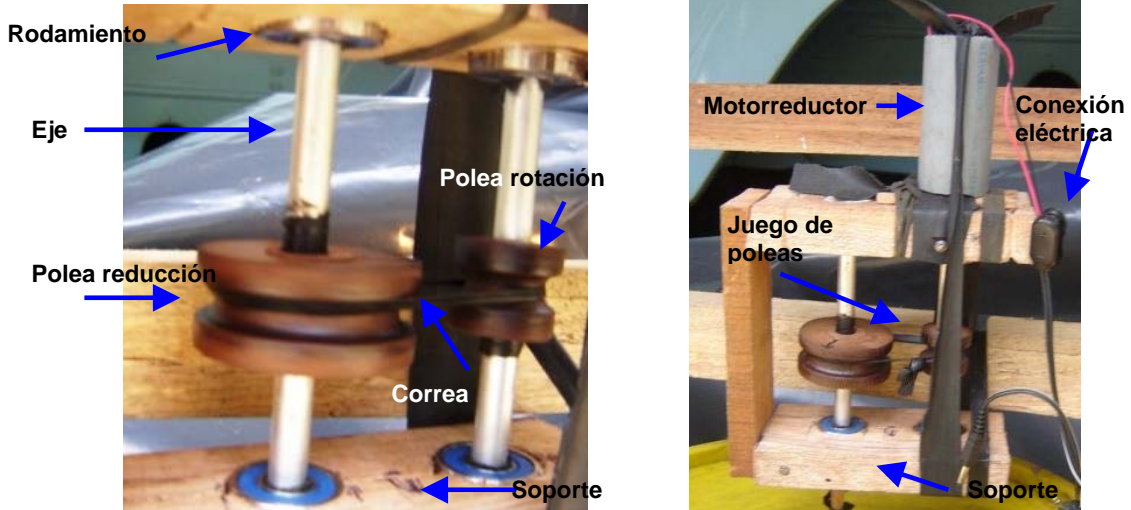
Figura 26. Montaje reactor piloto.



Fuente: Autor, 2005.

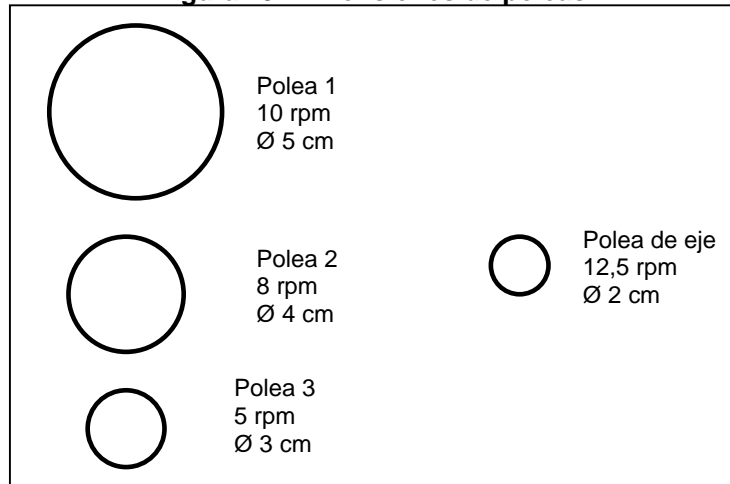
Inicialmente el sistema se operó con la velocidad que aportaba el motorreductor comprado, esta era de 50 rpm. Al pasar el tiempo se observó que esta velocidad era muy alta impidiendo la formación de los flocs bacterianos, por esta razón se diseñó y construyó un juego de poleas que permitía variar la velocidad entre 10, 8 y 5 rpm. Este mecanismo se muestra en las figuras 27 y 28.

Figuras 27 y 28. Juego de poleas.



Fuente: Autor, 2005.

Figura 29. Dimensiones de poleas.

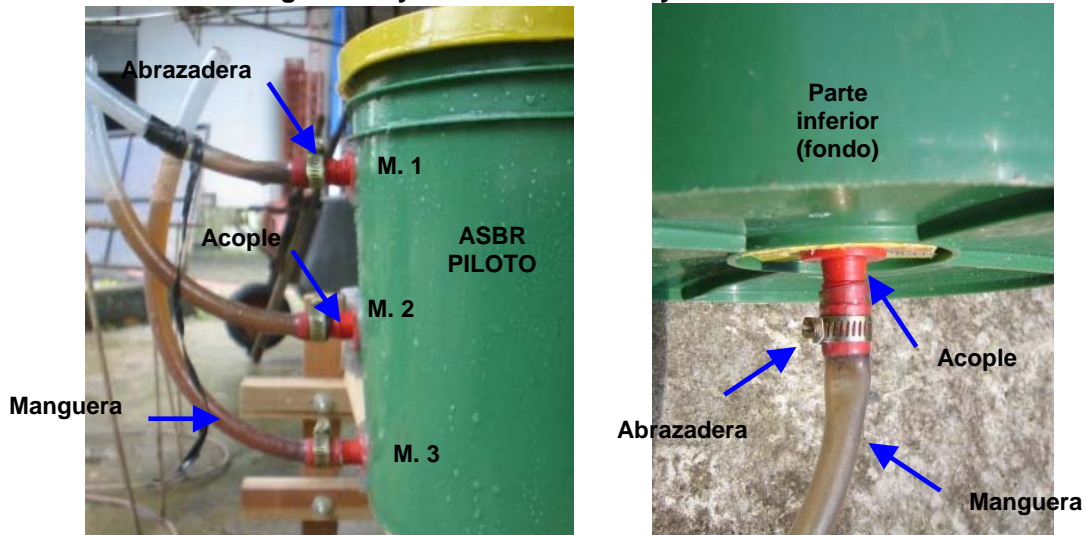


Fuente: Autor, 2005.

El reactor se dotó de tres muestreadotes con el fin de examinar a tres niveles diferentes el comportamiento del agua, del sustrato y del sobrenadante. Además en la parte inferior del mismo se ubicó una salida para realizar el procedimiento de purga de lodos y un orificio en la tapa que servía de entrada para el agua al reactor y a la vez de escape de gases. Estos últimos eran almacenados en una bomba de hule con el fin de corroborar si efectivamente se generaban gases como

producto de la actividad metanogénica. En las figuras 30 y 31 se muestran estas características.

Figuras 30 y 31. Muestreadotes y salida de lodos.



Fuente: Autor, 2005.

Desafortunadamente no se logro efectuar ningún análisis tendiente a comprobar la actividad metanogénica del lodo biológico del ensayo, debido al bajo presupuesto, las evidencias del desarrollo del proceso anaerobio con las que se contó fueron: la generación de gases en el reactor, característica evidenciada a través de la bomba de hule; le obtención de eficiencias de remoción de la DQO, como se verá más adelante; y la generación de un lodo de color negro, con características floculentas. En las figuras 32 y 33 se muestra la metodología empleada para el monitoreo de la producción de gases, durante los ciclos experimentales.

Figuras 32 y 33. Generación de gas metano (antes y después).



Fuente: Autor, 2005.

4.3.4 Volúmenes experimentales

El reactor contó con una capacidad máxima de 12 litros. Para llenarlo se tomaban muestras de 8 litros de cada una de las corrientes (vísceras blancas y vísceras rojas), teniendo en cuenta la similitud que existe en la proporción de los volúmenes reales de vertimiento, siendo estos en promedio de 54 m³ y 62 m³ el volumen vertido en vísceras rojas y blancas respectivamente. Estos volúmenes eran seguidamente mezclados en un contenedor de 8 galones para después ser ingresados al reactor a través del orificio de acceso ubicado en la tapa del mismo. Una vez estaba lleno el reactor, se procedía a cubrir el orificio de entrada con la bomba de hule y se iniciaba el ciclo de mezcla. Este procedimiento se realizó al iniciar todos los ciclos de experimentación. Para este procedimiento se utilizó el balde muestreador que se muestra en la foto 34.



4.3.5 Arranque del sistema piloto

El sistema se inició el día 5 de julio. Para esto se recolectó agua el día anterior. Inicialmente el sistema operó a 50 rpm. En la cuarta semana se inoculó el sistema con lodo anaerobio proveniente del sistema de tratamiento que opera actualmente en la planta de sacrificio. El volumen de lodo introducido al sistema piloto fue de 100 ml en base húmeda. Teóricamente se conocen contenidos de humedad de este tipo de lodos de aproximadamente 2%¹⁵, este lodo mostraba características floculentas, lo cual señala que el sistema del que fue extraído no alcanzado un buen nivel de estabilidad, esto hace pensar que la actividad metanogénica desarrollada por este lodo debe estar alrededor de los 0,02 kg SSV/kg DQO – día. En la figura 35 se muestra una porción del lodo inoculado al sistema.

¹⁵ BALDA ROBERTO. Apuntes cátedra de Recurso Agua; 2003.

Figura 35. Lodo anaeróbico.



Fuente: Autor, 2005.

4.3.6 Operación del sistema piloto

Los ciclos de operación del sistema piloto consistieron en las siguientes etapas:

4.3.6.1 Llenado: Como se explicó en el numeral 4.3.4, a partir de de la recolección y mezcla de las alícuotas de 8 litros de cada corriente residual, se procedía a cargar el reactor piloto.

4.3.6.2 Reacción: Una vez es llenado el reactor y se inicia la mezcla, se activan las reacciones de conversión biológica del sustrato (hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis) que en conjunto desarrollan el tratamiento anaerobio. La reacción empleada en los experimentos oscilo entre 20 y 35 horas. Tiempo que depende de las cargas contaminantes a remover y la temperatura que alcance el sistema.

4.3.6.3 Sedimentación: Una vez cumplida la etapa de reacción, se detenía el motor y se permitía un tiempo de sedimentación de 30 minutos.

4.3.6.4 Decantación: Después de permanecer en reposo el sistema se evacuaba el sobrenadante, a través del muestreador 1, como se muestra en la figura 30 (M1).

4.3.6.5 Vaciado: Después de evacuado el sobrenadante se procedía a liberar el subsobrenadante, a través del muestreador 2, como se muestra en la figura 30 (M2).

5. DISEÑO EXPERIMENTAL

En este capítulo se discuten los valores encontrados para los parámetros de control analizados, en las muestras tomadas a la entrada y salida de 23 ciclos de tratamiento del ASBR piloto, para posteriormente ser analizados estadísticamente.

5.1 PARÁMETROS *IN-SITU*

Con el fin de monitorear el comportamiento del sistema a lo largo de su funcionamiento se midieron los siguientes parámetros en el sitio: temperatura, empleando un termómetro de mercurio de rango de -10 a 110° C; pH, utilizando cinta indicadora; y la prueba de sedimentabilidad de lodos, con una probeta graduada de 50 ml. Las gráficas que se muestran en esta sección están construidas con los datos que se obtuvieron los días en que se tomaron muestras para analizar los parámetros de laboratorio; esto con el fin de facilitar el posterior análisis e interpretación, ya que no se contó con el mismo número de datos para los registros *in-situ* y de laboratorio. El número de datos registrados en sitio fue de 78 grupos integrados por valores de temperatura, pH, sedimentabilidad de lodos, Ácidos Grasos Volátiles y Alcalinidad. Por otra parte se registraron en laboratorio 23 grupos de datos integrados por valores de Demanda Química de Oxígeno y Sólidos Suspendidos Totales, a la entrada a y ala salida del reactor piloto.

En la tabla 5 se muestra el consolidado de datos con los cuales fueron construidas las gráficas.

Tabla 5.Consolidado de datos obtenidos en los ensayos del ASBR piloto

CONSOLIDADO DE RESULTADOS										
Nº	rpm	TºMtr	V ₃₀	Alca.	AGV	AGV/Alca	DQO e	DQO s	SST e	SST s
1	50	31	80	238,1	166,2	0,4	2602	2027,5	301,2	230
2		27	40	513,2	228	0,44	2735	1755,3	313,5	200,5
3		28	60	244,5	116,5	0,48	3002,5	1097	297	209,3
4		27	80	367,5	164	0,45	2857	978,2	235,1	199,5
5		32	60	697	308	0,44	2907,5	965,8	295,2	206,9
6	10	35	80	408,3	187,8	0,46	2567,1	1301	257,2	143,3
7		37	80	295,6	115,3	0,39	2709,6	832,4	315,7	79,6
8		36	100	292,7	137,5	0,47	2903,1	783	298	106,2
9		36	120	328,3	134,6	0,41	3010	675	275,2	86
10		36	60	313,7	122,3	0,39	2813	795	287,6	144,7
11		35	60	341,3	133,1	0,39	2891,6	1012	286,1	100,8
12	5	38	80	410,1	233,7	0,27	2392,4	875	283	102,1
13	5	35	80	326,5	120,8	0,37	2990	615,3	316,8	81,2
14		33	80	292,7	102,4	0,35	3002,3	987,5	331,4	66,7
15		35	100	328,3	121,5	0,37	2889	652	297	74

16	32	120	297,5	125	0,42	2305	735,2	303,9	78,3
17	32	80	367,4	121,2	0,33	2942,1	663,1	241,7	71,5
18	29	80	328,3	98,5	0,3	3021	602,3	207,2	89
19	32	80	257,1	105,4	0,41	2974,2	593,6	315,8	63,6
20	31	120	299,8	122,9	0,41	2691	719,1	309,6	80,5
21	37	120	341,3	136,5	0,4	2438,2	644	297,1	77,3
22	34	120	383,1	122,6	0,32	2914,1	596,6	343	74,7
23	30	120	255,7	71,6	0,28	2201,3	578	287,1	80,1

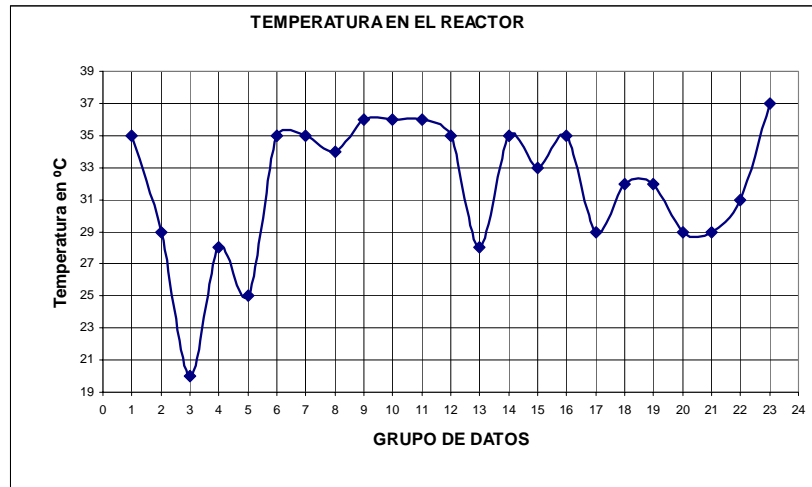
Donde:

- Nº = Grupo de datos o Número de muestra
- rpm = Velocidad de mezcla
- TºMtr = Temperatura de la muestra o mezcla (°C)
- V₃₀ = Volumen de lodos (ml/l)
- Alca. = Alcalinidad (mg/L de CaCO₃)
- AGV = Concentración de Ácidos Grasos Volátiles (mg/l de CH₃COOH)
- IVL = Índice Volumétrico de Lodos (ml/l)
- SVLM = Sólidos Volátiles en Licor Mezclado de salida (ml/g)
- DQOe = Demanda Química de Oxígeno de entrada (mg/l de O₂)
- DQOs = Demanda Química de Oxígeno de salida (mg/l de O₂)
- SSTe = Sólidos Suspendidos Totales de entrada (mg/l)
- SSTs = Sólidos Suspendidos Totales de salida (mg/l)

5.1.1 Temperatura

La temperatura al interior del reactor es un parámetro fundamental en el proceso, debido a que los microorganismos encargados de la metabolización de las materia orgánica presente en el agua residual, se desarrollan y subsisten en un ambiente térmico relativamente constante que se acrecienta con temperaturas por encima de los 30° C, sin superar los 38° C. En la figura 36 se muestran los datos obtenidos durante la operación del sistema.

Figura 36. Gráfica del comportamiento de la temperatura en el reactor.



Fuente: Autor, 2006.

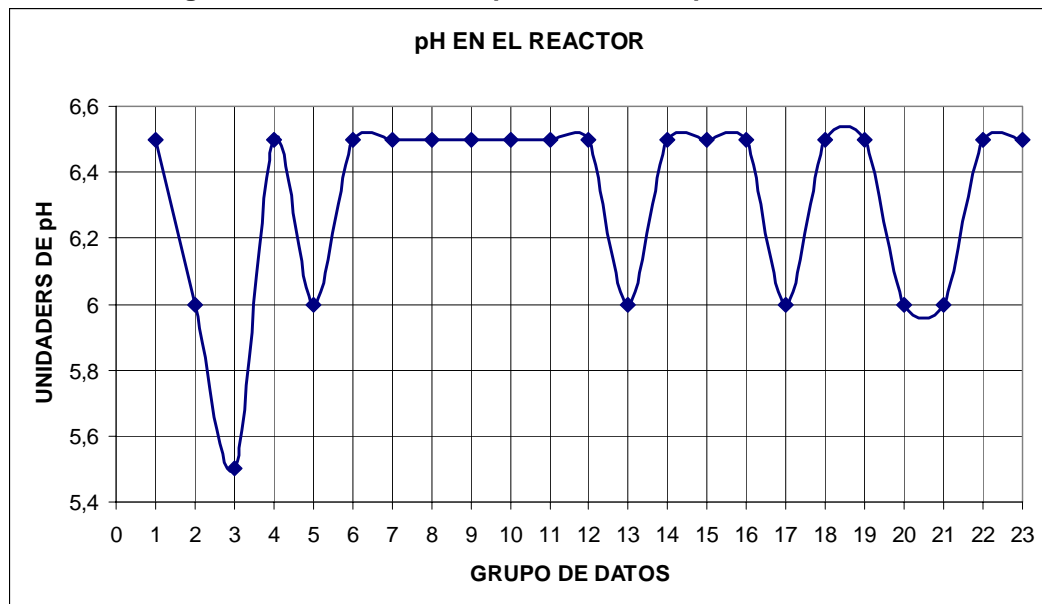
En los meses de arranque del sistema se observó que la temperatura no era constante impidiendo que las reacciones se dieran. Se encontraron temperaturas óptimas alrededor de los 30° C que se presentaban durante los días soleados, pero alcanzando temperaturas por debajo de 20° C durante la noche; esta condición obligó a generar una estrategia para proporcionarle al sistema una fuente de calor constante. En el numeral 8.3 de este documento se describen los mecanismos que se implementaron para proporcionar estas condiciones.

En la grafica se observa que la temperatura al interior del reactor durante los grupos de datos del 1 al 6 se presentaron valores por debajo de los 20 grados, pero a partir de la implementación del mecanismo de estabilización de temperatura, después del grupo de parámetros 6, la variación no fue muy amplia encontrando valores alrededor de los 30 grados, hecho que favoreció el proceso. Los picos bajos que se muestran a partir de este grupo de datos se debieron principalmente a fallas en la conducción eléctrica. A pesar de esto, el metabolismo microbiano presente en el reactor, proporcionó la estabilidad térmica necesaria para mantener el sistema.

5.1.2 pH

Este parámetro, al igual que la temperatura, es un factor limitante del proceso debido a que los microorganismos involucrados en el sistema ASBR son muy sensibles a la variación del pH. Como se mencionó anteriormente... Numeral 4.1.3..., el rango aceptable de este parámetro esta entre las 6.0 y 7.2 unidades. En la figura 37 se muestra el comportamiento de este parámetro en el agua de alimentación al reactor.

Figura 37. Gráfica del comportamiento de pH en el reactor.



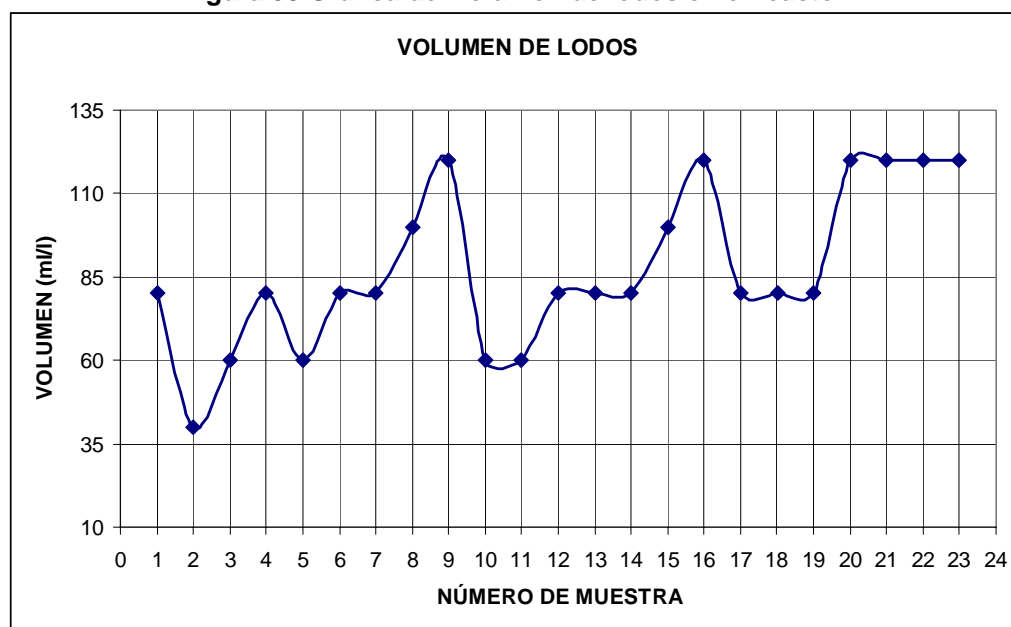
Fuente: Autor, 2006.

Durante el desarrollo del experimento no se registraron variaciones extremas de este parámetro, exceptuando el dato número tres (3) en los primeros días de operación del sistema; este comportamiento puede ser una consecuencia de la toma de una muestra fermentada por almacenamiento prolongado. Este evento no se presentó de nuevo por lo cual no fue necesario implementar medidas para la estabilización de este parámetro. Aunque no se presentaron niveles óptimos de este, se puede afirmar que no fue un factor determinante en la evolución del sistema.

5.1.3 Sedimentabilidad de lodo

Esta prueba es un factor que ayuda a caracterizar el proceso, puesto que dependiendo de la concentración de lodos en el reactor se dará la eficiencia del mismo. Es así que al encontrar concentraciones bajas de lodo, se requiere un mayor tiempo de retención para el tratamiento y si por el contrario, existe una concentración alta de éste, se producirá un aumento en los sólidos suspendidos en el agua del efluente del reactor.

Figura 38. Gráfica del volumen de lodos en el reactor.



Fuente: Autor, 2006.

La sedimentabilidad de lodo es un parámetro usado para analizar el comportamiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales, empleando los principios de los procesos de lodos activados (sistema aerobio); su utilización en la caracterización de procesos anaerobios no se relaciona en la bibliografía consultada, pero se consideró un parámetro útil para el desarrollo de la presente investigación, debido a que la prueba de sedimentabilidad proporciona valores con los que se logró monitorear el comportamiento del lodo al interior del sistema, principalmente en aspectos como: tiempo de generación de éste y los niveles

máximos y mínimos alcanzados. En las figuras 38 se muestra el comportamiento de estos parámetros durante los ensayos.

La característica con la cual se determinó que el proceso biológico había arrancado fué la generación de lodos en el reactor, partiendo de un volumen de 100ml de lodo inoculado al momento del arranque del sistema, correspondientes a 8.33 ml/l, se encontró que al cabo de 6 semanas de operación, alcanzo el nivel de 80 ml/l, como se muestra en el dato numero 1 de la grafica 38. En este punto se efectuó la primera purga del reactor llevando la concentración de lodos hasta los 40ml/l, se operó el sistema con esta concentración hasta obtener en el dato 4 nuevamente 80ml/l de lodo; en este punto se efectuó otra purga pero esta vez dejando en el sistema una concentración de 60ml/l de lodo. Posteriormente se permitió que el sistema generara lodos hasta una concentración de 120ml/l de lodo, hecho que se puede observar en el dato 9 de la grafica. En este punto se purgó nuevamente hasta los 60ml/l de lodo, observándose el mismo comportamiento; el procedimiento de purga de lodos se repitió una vez más en el dato 16, pero a diferencia de los anteriores, la concentración de lodos dejada en el reactor fue de 80ml/l.

5.2 PARÁMETROS DE LABORATORIO

Una investigación debe soportarse mediante los resultados de una serie de mediciones que permitan describir de una forma clara el desarrollo y evolución de la misma. Para nuestro caso los parámetros que describen el grado de contaminación del agua residual objeto de estudio, son: La Alcalinidad, medida en mg/l de CaCO_3 ; el contenido de Ácidos Grasos Volátiles, medido en mg/l de CH_3COOH ; La Demanda Química de Oxígeno expresada en mg/l de O_2 ; y Sólidos Suspendidos Totales, expresado en mg/l.

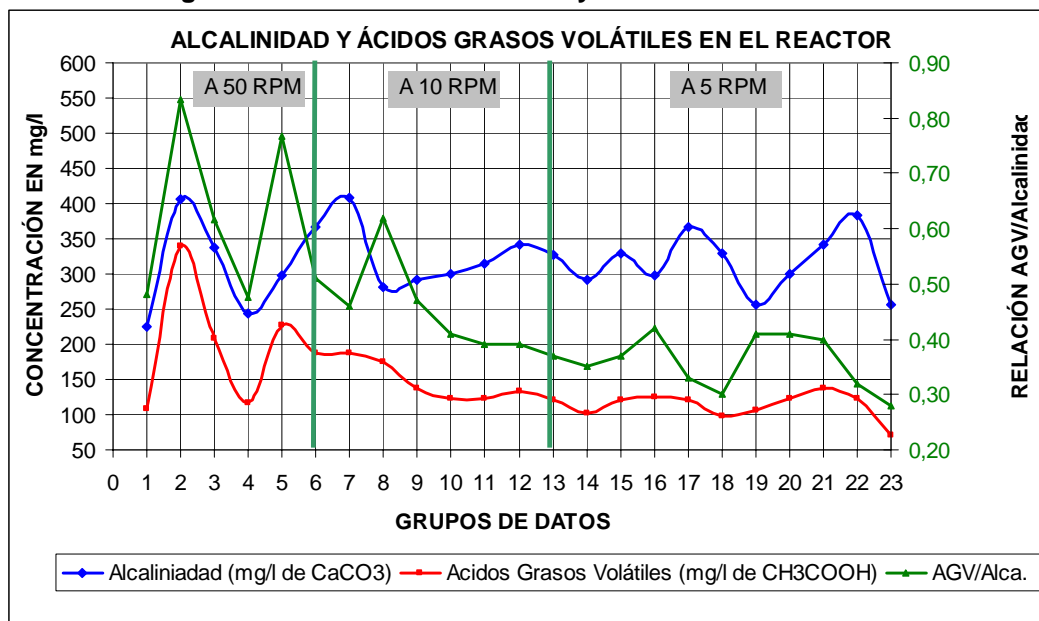
Para la realización de los análisis de Alcalinidad y Ácidos Grasos Volátiles, se empleo un equipo sencillo de laboratorio integrado por: una bureta de 50 ml, un erlenmeyer 250 ml, tiras indicadores de pH, indicador naranja de metilo, Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) 0.02 N, hidróxido de sodio (NaOH) 0.02 N y papel de filtro. El procedimiento para el análisis de estos parámetros se describe en el anexo A. El análisis de Demanda Química de Oxígeno y Sólidos Suspendidos Totales fue contratado con el laboratorio de Tecnoambiental Ltda, cuyo costo fue asumido por la Fundación Biodiversidad y Ambiente Sano.

5.2.1 Alcalinidad y Ácidos Grasos Volátiles

La bibliografía relaciona la Alcalinidad y los Ácidos Grasos Volátiles como los parámetros, que evidencian la activación de un sistema anaerobio. Para el análisis del comportamiento del reactor se tuvo en cuenta que la relación AGV/Alcalinidad,

se encontrara en el rango de 0,2 a 0,4¹⁶; en la figura 40 se muestra el comportamiento de estos parámetros.

Figura 39. Grafica de Alcalinidad y Ácidos Grasos Volátiles



Fuente: Autor, 2006.

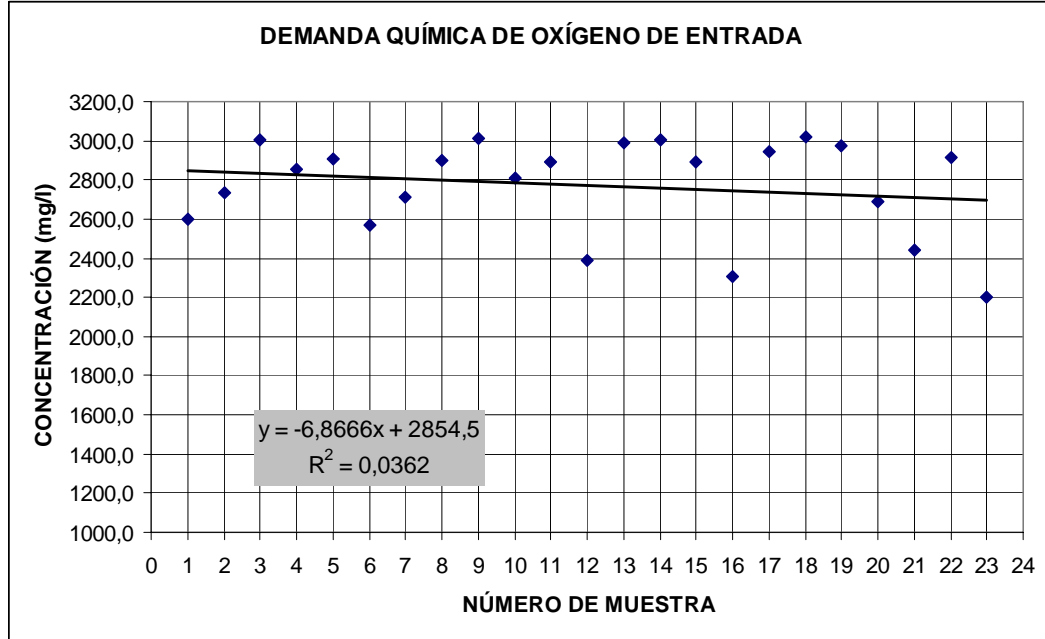
En la grafica se muestran dos comportamientos diferentes enmarcados entre el grupo de datos 1 y 8; En el primero se puede observar un comportamiento inestable de estos parámetros, con dos picos máximos de alcalinidad, esta discontinuidad se le atribuyó a que la temperatura en este tiempo no se había controlado; el segundo comportamiento muestra después de 32 días una estabilidad tanto de la alcalinidad como de la producción de Ácidos Grasos Volátiles, brindando las condiciones de equilibrio de estos dos parámetros para la realización del proceso de metanogénesis, se encontraron valores dentro del rango óptimo establecido para el sistema.

5.2.2 Demanda Química de Oxígeno

El ASBR por tratarse de un sistema anaeróbico, el parámetro que indica la remoción efectiva de contaminantes es la DQO. Por esta razón se tomaron pares de muestras, una a la entrada y otra a la salida del sistema, durante diferentes tiempos de reacción que oscilaron entre 20 y 35 horas. Las figuras 41 y 42 muestran el comportamiento de este parámetro.

¹⁶ METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización. Madrid; McGraw-Hill: 1995. p 494.

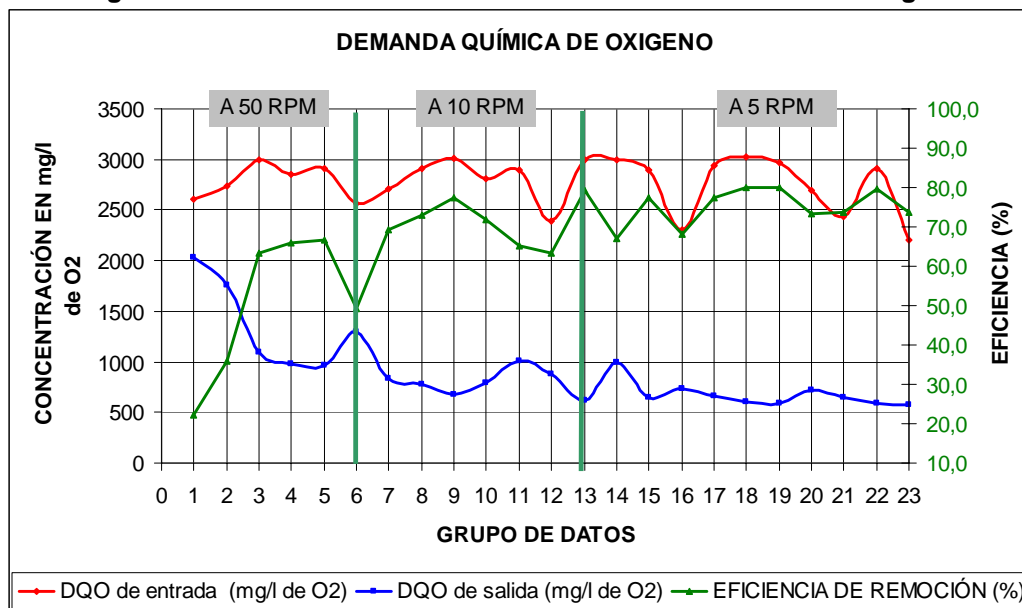
Figura 40. Grafica de la Demanda Química de Oxígeno de entrada al reactor



Fuente: Autor, 2006.

Con el fin de establecer la tendencia de la Demanda Química de Oxígeno de entrada al sistema piloto se correlacionaron linealmente los datos encontrados en laboratorio. De esta manera se pudo establecer que en promedio al reactor piloto le estuvo entrado una DQO de 2855 mg /l.

Figura 41. Grafica de la remoción de la Demanda Química de Oxígeno



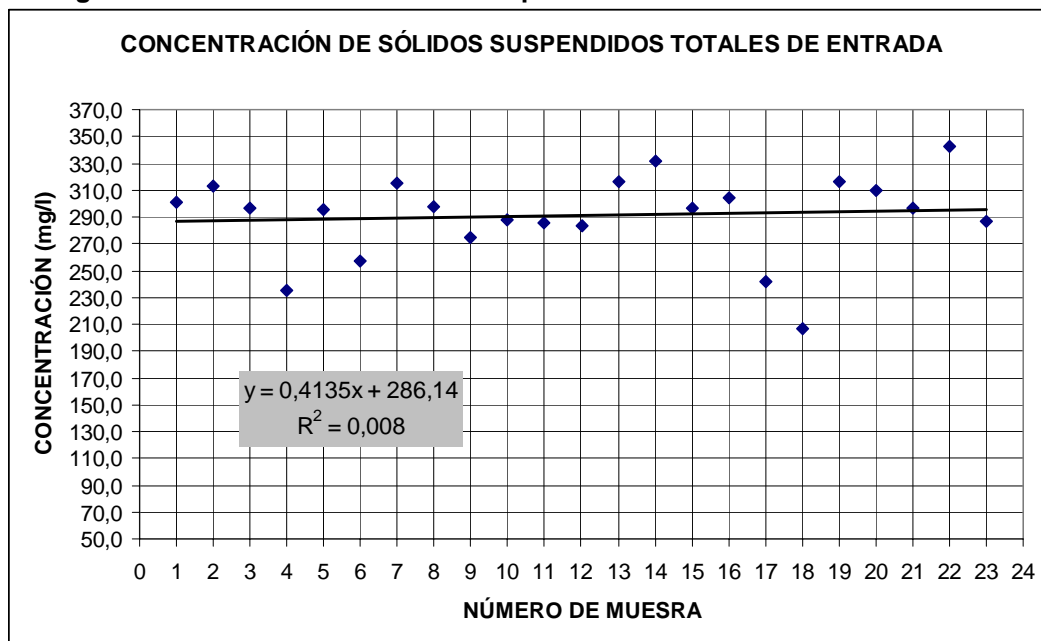
Fuente: Autor, 2006.

Para analizar el comportamiento de este parámetro es necesario hacer claridad sobre las tres variaciones de la velocidad de mezcla ensayadas en este estudio. Los grupos de muestras 1 al 5 representan el comportamiento del sistema con agitación a 50 rpm, este sistema opero durante 20 días y la eficiencia máxima encontrada para está fue de 66%, obteniendo así en este periodo las más bajas eficiencias de remoción; los grupos del 6 al 12 muestran el comportamiento del sistema operando a 10 rpm, este opero durante 17 días, encontrando eficiencia máxima para este parámetro de 77%, se notó un aumento en la eficiencia.; por ultimo los grupos del 13 al 23 muestran el comportamiento del sistema operando a 5 rpm, este opero durante 17 días, mostrando eficiencia máxima de 80%, siendo está la más alta alcanzada.

5.2.3 Sólidos Suspendidos Totales

Una de las condiciones necesarias para mantener la estabilidad del sistema, es que el agua residual de entrada contenga concentraciones relativamente bajas de material sólido suspendido, porque de lo contrario el proceso requeriría de tiempos de retención bastante elevados, debido a que las bacterias metanogénicas tardarían mas en metabolizar dichos materiales. Al igual que para la DQO, se tomo una muestra a la entrada y otra a la salida variando los tiempos de retención. En la figura 43 se muestra el comportamiento de este parámetro.

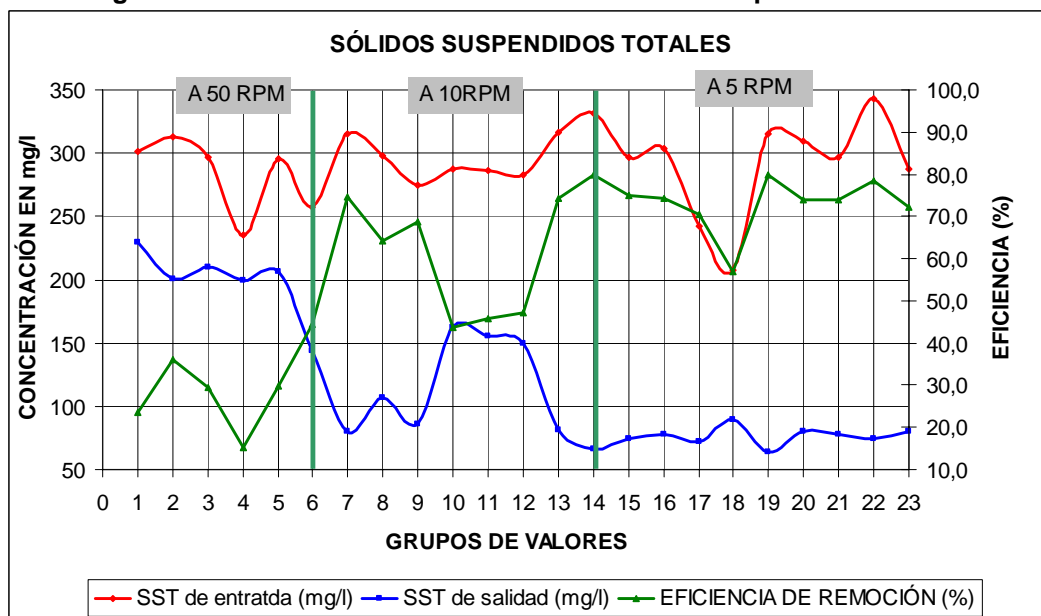
Figura 42. Grafica de los Sólidos Suspendedos Totales de entrada al reactor



Fuente: Autor, 2005.

De igual forma que para la DQO se efectuó un análisis de tendencia lineal para las concentraciones encontradas en laboratorio, teniendo así un promedio de sólidos suspendidos totales de entrada al sistema piloto de 286 mg/l.

Figura 43. Grafica de la remoción de los Sólidos Suspendedos Totales



Fuente: Autor, 2005.

Para analizar este parámetro es necesario hacer diferencia nuevamente entre las tres velocidades experimentadas. Para el caso del sistema a 50 rpm se nota una escasa eficiencia de remoción de sólidos, alcanzando el 36%, condición dada por la elevada velocidad que no permitía la aglomeración de las partículas manteniendo la biomasa suspendida; durante la operación del sistema a 10 rpm se mejoró la eficiencia alcanzando el 74%, pero se encontraron variaciones que indican que esta velocidad no proporciona condiciones constantes para el funcionamiento requerido; al evaluar el comportamiento del sistema funcionando a 5 rpm, se encontró la mayor eficiencia de remoción de sólidos, siendo está de 79%, porque esta velocidad permitió una mejor formación de flocs durante la fase de reacción para sedimentarse en la siguiente etapa.

5.3 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

En esta parte del documento se describe el comportamiento de los parámetros medidos durante los tres ensayos a diferentes velocidades (50,10 y 5 rpm) efectuados durante la investigación. Los grupos de datos o de muestras de los cuales se hace referencia en esta parte, son el número con el que se identifican en las tablas 5 y 6 los resultados obtenidos para cada parámetro.

5.3.1 Reactor a 50 rpm (Grupo de datos 1 al 5)

Como se ha mencionado anteriormente el sistema empezó a operarse a 50 rpm factor que limitó el desarrollo del proceso, puesto que no permitía la formación de los flocs microbianos que integrasen partículas con el peso suficiente para sedimentarse, por lo cual el tratamiento esperado, no se dio empleando esta velocidad de mezcla.

El primer grupo de datos se obtuvo después de 9 semanas de haberse iniciado el ensayo, debido a que el proceso biológico tardó este tiempo en estabilizarse y empezar a generar lodo. Después de inocular el sistema en la cuarta (4) semana como se mencionó, se espero hasta que el mismo generó un volumen de lodo, según la prueba V_{30} , fue de 80 ml/l. En este momento se tomaron los primeros pares de muestras, que mostraron para el grupo de datos uno (1) una mínima eficiencia de remoción de DQO y SST, característica dada seguramente por el “aperezamiento” de los microorganismos, por encontrarse en el reactor una abundante cantidad de sustrato. En el grupo dos (2) se observó una disminución del contenido de lodos, debido a que ese día se efectuó una purga de ellos. En el grupo (3) se observó un aumento en la remoción de la DQO y del volumen de lodos, dando de esta manera los primeros indicios de efectividad del sistema; en cuanto a la remoción de sólidos se puede decir que por el contrario se aumentó el contenido de éstos debido a la elevada velocidad de mezcla empleada en este ensayo. En el grupo cuatro (4) se observó que la eficiencia de remoción de DQO permanece constante, datos que se relacionan en la tabla 6, y la generación de lodos continuó presentando el mismo comportamiento que en el grupo anterior; para el caso de los SST se nota una exagerada producción de éstos. En el grupo cinco (5) se efectuó una nueva purga de lodos al sistema, pero esta vez se

mantuvo un volumen de lodos de 60 ml/l. Esto con el fin de analizar en el siguiente ensayo el comportamiento de la producción de lodos en el reactor.

5.3.2 Reactor a 10 rpm (Grupos de datos 6 al 12)

A partir de lo encontrado en el ensayo con velocidad de mezcla de 50 rpm, se decidió implementar un sistema de regulación de velocidad para el motor y agitador seleccionados, de esta manera se diseñó y construyó un juego de poleas que permitió variar la velocidad de mezcla entre 10 y 5 rpm.

En el momento de acondicionar el sistema a esta nueva velocidad, se contaba con un volumen de lodos de 80 ml/l, en el grupo seis (6). En el grupo siete (7) se observó un aumento en las eficiencias de remoción de DQO y SST, y una producción más lenta de lodos. En el grupo ocho (8) se observó que conforme aumentó el contenido de lodos, se aumentó la eficiencia de remoción de la DQO y se disminuyó la de SST. Se dejó incrementar el volumen de lodos hasta los 120 ml/l en el grupo nueve (9), en este punto se observó que las eficiencias de remoción se mantuvieron constantes, entre 70 y 80 % para DQO y entre 60 y 70 % para SST. En el grupo diez (10) se purgaron nuevamente los lodos del reactor hasta los 60 ml/l, se observó una disminución en la eficiencia de remoción de los dos parámetros analizados, pero para el caso de la DQO se observó un descenso menos pronunciado en la eficiencia. En el grupo once (11) se mantuvo la eficiencia de remoción de DQO y se aumentó la de SST. En este punto se alcanzó la mayor estabilidad del proceso operando a 10 rpm. En el grupo doce (12) permanecieron los niveles de remoción y como es de esperar se aumentó el contenido de lodos. Estos valores resultaron gracias a que la velocidad lenta de mezcla permitió la efectiva formación de flocs para su posterior sedimentación.

5.3.3 Reactor a 5 rpm (Grupos de datos 13 al 23)

En este último ensayo se desarrolló a una velocidad de mezcla de 5 rpm, es el ensayo que tiene el mayor número de muestras y fue en el que mejores resultados se obtuvieron. En este se permitió al sistema sobre generar lodos con el fin de analizar el comportamiento del mismo, al operar con un volumen máximo de lodos de 120 ml/l.

En el grupo trece (13) se observó un aumento en las eficiencias de remoción para los dos parámetros, a demás se noto que la generación de lodo se torno mas lenta. En el grupo catorce (14) se observó una pequeña disminución de la eficiencia de remoción de la DQO. En el grupo quince (15) nuevamente se estabilizaron las eficiencias y se noto un aumento de lodo. En el grupo dieciséis (16) nuevamente se observó una disminución en la eficiencia de remoción de DQO, característica que se debió al “aperezamiento” de la biota microbiana, por presentarse un alto contenido de material orgánico, en este punto se purgo el reactor hasta un volumen de lodos de 80 ml/l. En el grupo diecisiete (17) se observó un aumento de la eficiencia de remoción de DQO, progresivamente la eficiencia para SST disminuyo del 70 % hasta menos del 60 %, esto se puede ver

en el grupo dieciocho (18). En el grupo diecinueve (19) nuevamente se estabilizaron las eficiencias, encontrando en este punto los mejores niveles registrados en todo el experimento. A partir del grupo veinte (20) se monitoreo el proceso encontrando que un sistema con las características trabajadas puede ofrecer eficiencias entre el 70 y 80 % para remoción de la DQO y los SST.

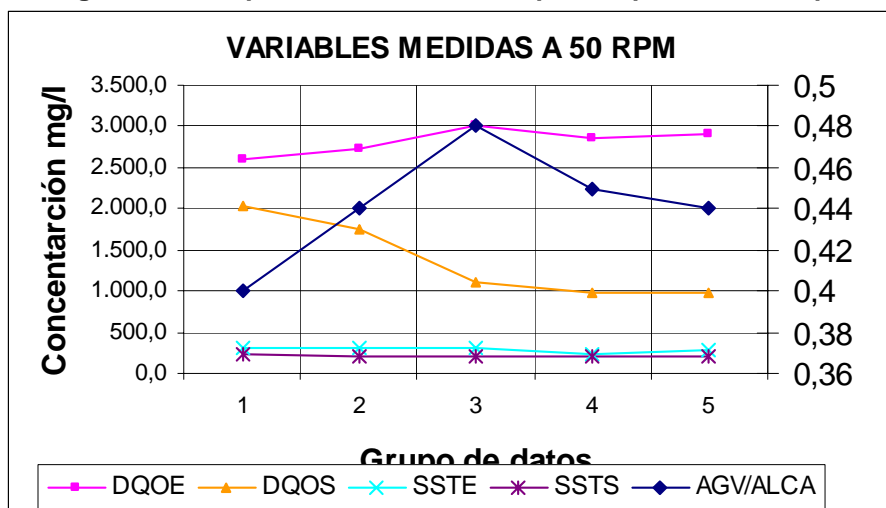
5.4 VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Las variables que se tienen en cuenta en este estudio son rpm (revoluciones por minuto), T°_{MTR} (temperatura en el reactor), V_{30} (volumen de lodos sedimentados en 30 minutos), la razón AGV/Alca (donde AGV es la concentración de ácidos grasos volátiles y Alca es la alcalinidad), DQO (Demanda química de oxígeno) para la entrada y la salida y SST (sólidos suspendidos totales) de entrada y salida con los cuales obtenemos las eficiencias para cada una de ellas %DQO y %SST respectivamente.

Para iniciar cualquier estudio se debe realizar un análisis descriptivo de cada una de las variables para ver su comportamiento y detectar posibles hipótesis. A continuación se hace un análisis general de las variables del experimento.

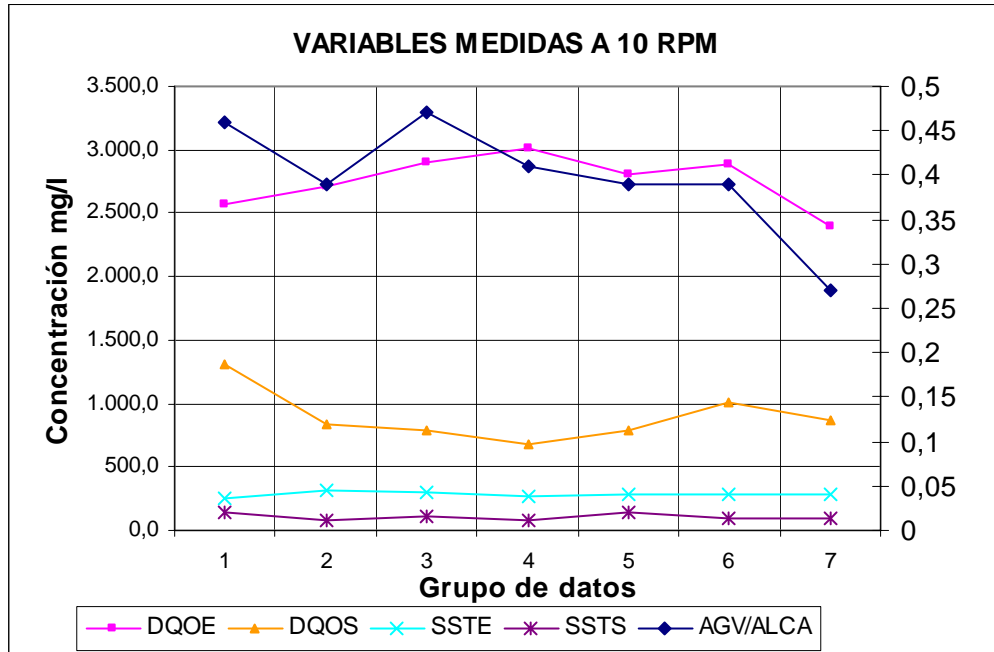
Dado que se tienen 3 velocidades (50, 10 y 5 rpm), lo primero que se hizo fue graficar las variables de interés en cada una de las velocidades, obteniendo los siguientes gráficos:

Figura 44. Comportamiento del ASBR piloto operando a 50 rpm



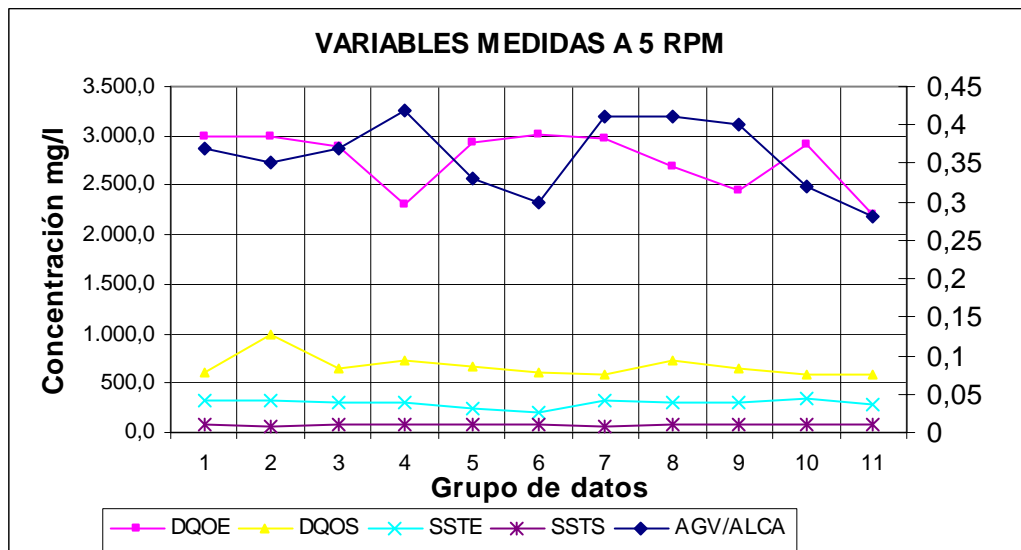
Fuente: Gisela Castrillon, 2006

Figura 45. Comportamiento del ASBR piloto operando a 10 rpm



Fuente: Gisela Castrillon, 2006

Figura 46. Comportamiento del ASBR piloto operando a 5 rpm



Fuente: Gisela Castrillon, 2006

En las tres gráficas se puede ver que la variable obtenida de la razón entre AGV y Alca no varía mucho entre las muestras. Analizando la información se observa que cuando se trabajó a 50rpm el promedio de esta variable era 0.44, para la velocidad 10rpm el promedio era de 0.39 y finalmente para 5rpm se tenía un promedio de 0.36. Se puede decir hasta ahora que aunque la diferencia no es muy alta en las

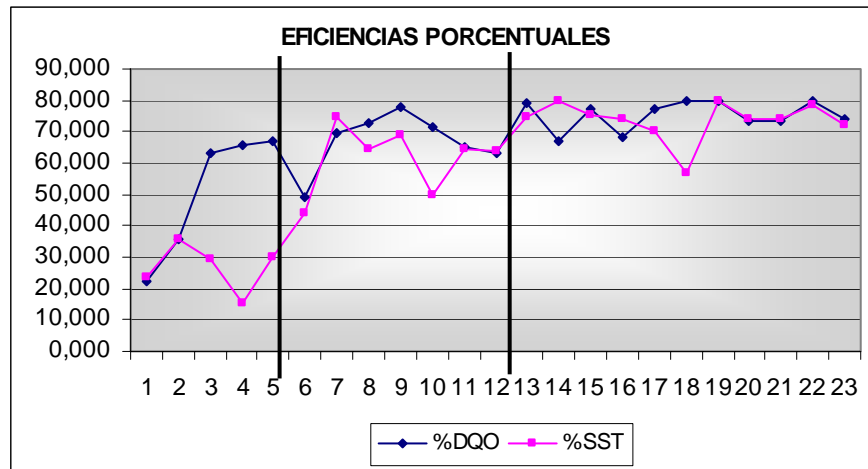
tres velocidades, si se puede pensar que los valores más altos de (AVG/Alca) se obtienen a 50rpm.

Ahora, para la variable, SST se observa claramente que los valores de entrada son más altos que los de salida en las tres velocidades consideradas, presentándose una diferencia más pequeña para las observaciones medidas a 50rpm. Esto se puede verificar con los promedios de eficiencia en las tres velocidades: A 50 rpm el promedio de eficiencia para SST es de 27%, a 10rpm la eficiencia es de 62% y finalmente a 5rpm la eficiencia es de 74%, teniendo así como hipótesis que la mayor eficiencia en SST se encuentra cuando se aplican 5rpm.

Para la variable DQO, se observan diferencias altas entre los valores de entrada y los de salida. La eficiencia de esta variable a 50rpm es de 51% en promedio, a 10rpm es de 67% y a 5rpm es de 76%, siendo a esta última velocidad que se encuentran los porcentajes de eficiencia más altos.

El siguiente gráfico presenta el comportamiento del porcentaje de eficiencia para DQO y SST. El primer sector corresponde a las observaciones tomadas al aplicar una velocidad de 50rpm, el segundo sector corresponde a 10rpm y finalmente el tercer sector corresponde a 5rpm.

Figura 47. Comportamiento de las eficiencias de remoción.



Fuente: Gisela Castrillon, 2006

Analizando ahora las dos eficiencias simultáneamente, se puede ver claramente que los valores más estables y más altos se encuentran a 5rpm, ya que con las otras velocidades no hay valores similares entre las observaciones.

En la tabla 6 se muestran los datos con los que se construyeron las gráficas, que se exponen a continuación.

Tabla 6. Eficiencias de remoción encontradas

EFICIENCIAS					
Nº	rpm	TºMtr	V ₃₀	Ef % DQO	Ef % SST
1	50	31	80	22,1	23,6
2		27	40	35,8	36,0
3		28	60	63,5	29,5
4		27	80	65,8	15,1
5		32	60	66,8	29,9
6	10	35	80	49,3	44,3
7		37	80	69,3	74,8
8		36	100	73,0	64,4
9		36	120	77,6	68,8
10		36	60	71,7	49,7
11		35	60	65,0	64,8
12		38	80	63,4	63,9
13	5	35	80	79,4	74,4
14		33	80	67,1	79,9
15		35	100	77,4	75,1
16		32	120	68,1	74,2
17		32	80	77,5	70,4
18		29	80	80,1	57,0
19		32	80	80,0	79,9
20		31	120	73,3	74,0
21		37	120	73,6	74,0
22		34	120	79,5	78,2
23		30	120	73,7	72,1

5.5 DISEÑO ESTADÍSTICO

El diseño estadístico que se utilizará en este caso será el Completamente al Azar, en el cual los tratamientos que se compararán serán las rpm a las que se trató la mezcla.

Se realizarán entonces comparaciones de Duncan y de Gabriel las cuales permiten realizarlas individualmente y contrastando los tres tratamientos entre si.

5.5.1 Comparaciones de Duncan

Es aplicado cuando no se sabe que la información tenga un comportamiento que obedezca a una distribución Normal y cuando el diseño es balanceado, es decir, se tienen observaciones en todos los tratamientos.

5.5.2 Comparaciones de Gabriel

Está basada en la distribución del módulo máximo estudentizado. Busca comparar, al igual que en la prueba anterior, parejas de medias formando intervalos.

5.5.3 Modelos de análisis

Las variables que se analizaron son AGV/Alca, DQO y SST, por tanto se tienen 3 modelos.

- El modelo para la variable AGV/Alca considera las variables rpm y temperatura.
- El modelo para DQO debe incluir además de rpm y temperatura, DQOs y DQOe.
- El modelo para SST incluye, rpm, Temperatura, SSte y SSTs.

En todos los modelos la variable temperatura (T_{MTR} en el programa de SAS) no es significativa ya que su p-valor es mayor a 0.05. (Si el p-valor de una variable en el modelo es menor a 0.05, esta es significativa para dicho modelo). Se está considerando para cada variable en el modelo la hipótesis nula

Ho: La variable es igual a 0 o no es significativa en el modelo. (Hipótesis nula)

H1: La variable es diferente de 0 ó es significativa en el modelo. (Hipótesis alterna)

Estadísticamente se tiene que el p-valor es un indicativo del rechazo o aceptación de la hipótesis nula. Así, si $p\text{-valor} < 0.05$ entonces se rechaza la hipótesis nula y si $p\text{-valor} > 0.05$ se acepta la hipótesis nula.

Las tablas de análisis de varianza para los tres modelos se presentan a continuación:

5.5.3.1 AGV/Alca:

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
rpm	2	0.02375975	0.01187988	4.34	0.0280
TMTR	1	0.00000010	0.00000010	0.00	0.9953

Como ya se mostró, el modelo inicialmente planteado no es del todo útil ya que la temperatura no es significativa. Eliminando esta variable, se obtiene que aunque rpm si es significativo en el modelo, apenas se tiene un R^2 de 0.31 lo cual indica que el modelo considerado no ajusta bien los datos. Una razón para esto, es que a pesar del cambio en las velocidades, la variable AGV/Alca prácticamente sigue constante, por lo tanto no hay necesidad de aplicar un modelo muy elaborado o complejo.

Las comparaciones de medias entre las velocidades, me confirman la poca variación de las medias.

Para 50 rpm la media de AGV/Alca es de 0.44, para 10 rpm es de 0.39 y para 5 rpm es de 0.36, lo cual estadísticamente no es muy grande, y por tanto, las dos

pruebas (Duncan y Gabriel) forman un solo grupo con toda la información, dando a entender que las diferencias son tan pequeñas que no vale la pena separarlos.

Las salidas del programa son:

Procedimiento ANOVA

Variab le dependi ente: AGVALCA

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	0.02375975	0.01187988	4.57	0.0232
Error	20	0.05202286	0.00260114		
Total correcto	22	0.07578261			

R-cuadrado	Coef Var	Rai z MSE	AGVALCA Medi a
0.313525	13.10651	0.051001	0.389130

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
rpm	2	0.02375975	0.01187988	4.57	0.0232

Prueba del rango múltiple de Duncan para AGVALCA

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Medi a	N	rpm
A	0.44200	5	50
B A	0.39714	7	10
B B B	0.36000	11	5

Test de módulo máximo estudentizado (GABRIEL GT2) para AGVALCA

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

SMM Agrupamiento	Medi a	N	rpm
A	0.44200	5	50
B A	0.39714	7	10
B B B	0.36000	11	5

En promedio los valores de esta variable, varían entre 0.36 y 0.44 lo cual indica que a 50 rpm, el valor obtenido se sale del rango 0.2 – 0.4 donde se supone que es el óptimo en esta variable. La velocidad más recomendable es por tanto 5rpm.

5.5.3.2 PDQO(Porcentaje de eficiencia de la variable DQO):

Fuente	DF	Ti po I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
rpm	2	2091.281284	1045.640642	2369.51	<.0001

TMTR	1	0.597890	0.597890	1.35	0.2605
DQOE	1	571.411779	571.411779	1294.87	<.0001
DQOS	1	1831.909177	1831.909177	4151.25	<.0001

Para esta variable, el modelo ajustado incluye, las variables DQO medidas a la entrada y a la salida, ya que en base a estas se hace el cálculo de la eficiencia porcentual.

Variabl e dependi ente: PDQO

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Val or	Pr > F
Modelo	4	4494.936457	1123.734114	2604.72	<.0001
Error	18	7.765612	0.431423		
Total correcto	22	4502.702069			

Podemos ver que el modelo es adecuado ya que su p-valor es menor a 0.05. Para este caso la hipótesis nula es:

Ho: El modelo no ajusta bien los datos

H1: El modelo ajusta bien los datos

El R^2 confirma que el modelo es adecuado ya que da un 0.99 lo cual indica que el modelo ajusta los datos en un 99%. Pero, no siempre es bueno tener tanta precisión en un modelo, para confirmar que el modelo efectivamente es conveniente, se realizó una prueba de correlación.

R-cuadrado	Coef Var	Rai z MSE	PDQO Medi a
0.998275	0.972737	0.656828	67.52370

Fuente	DF	Ti po I SS	Cuadrado de la media	F-Val or	Pr > F
rpm	2	2091.281284	1045.640642	2423.70	<.0001
DQOE	1	571.751092	571.751092	1325.27	<.0001
DQOS	1	1831.904081	1831.904081	4246.19	<.0001

Nota: En un modelo de regresión, cuando son incluidas variables altamente correlacionadas pueden dar valores engañosos de R^2 , por tanto es mejor evitar la inclusión de variables que cumplan esta condición.

La matriz de correlación sugiere que las variables DQOs y %DQO tiene una correlación inversa de -0.98, con lo cual se decide eliminar la variable DQOs del modelo.

Tabla 7. Matriz de correlación de la DQO.

	DQOE	DQOS	%DQO
DQOE	1		
DQOS	-0,1105152	1	
%DQO	0,28921734	-0,98223808	1

Con el nuevo modelo los resultados son los siguientes:

Variabl e dependi ente: PDQ0

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Val or	Pr > F
Model o	3	2663. 032376	887. 677459	9. 17	0. 0006
Error	19	1839. 669693	96. 824721		
Total correcto	22	4502. 702069			

R-cuadrado	Coef Var	Rai z MSE	PDQ0 Medi a
0. 591430	14. 57260	9. 839955	67. 52370

Fuente	DF	Ti po I SS	Cuadrado de la media	F-Val or	Pr > F
rpm	2	2091. 281284	1045. 640642	10. 80	0. 0007
DQOE	1	571. 751092	571. 751092	5. 91	0. 0252

Ahora, aunque el R^2 es de apenas 0.60 aproximadamente, el modelo es bueno y ajusta los datos adecuadamente. Y las variables consideradas son aceptadas en el modelo según sus p-valores.

Los promedios de esta variable de eficiencia para cada velocidad fueron:

Procedi mi ento GLM	
Medi as de cuadrados mí ni mos	
rpm	PDQ0 LSMEAN
5	75. 6720741
10	67. 4065070
50	49. 7613272

Y las pruebas de diferencias de medias sugieren que:

Prueba del rango múltiple de Duncan para PDQ0

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Alfa	0. 05
Error de grados de libertad	19
Error de cuadrado medio	96. 82472
Media armónica de tamaño de celdas	6. 916168

NOTA: Los tamaños de las celdas no son iguales.

Número de medias	2	3
Rango crítico	11. 08	11. 62

Medi as con la mi sma letra no son signifi cativamente di ferentes.

Duncan Agrupamiento	Medi a	N	rpm
A	75.433	11	5
A	67.053	7	10
B	50.781	5	50

No existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos a 5 y a 10 rpm, a 50 rpm se obtuvo el valor más bajo y por tanto se considera en un grupo aparte. Evidentemente las eficiencias más altas se obtuvieron a 5rpm.

El mismo resultado es obtenido con la comparación de la prueba Gabriel:

Test de módulo máximo estudentizado (GT2) para PD00

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	19
Error de cuadrado medio	96.82472
Valor crítico del módulo máximo estudentizado	2.60575
Diferencia significativa mínima	13.788
Medi a armónica de tamaño de celdas	6.916168

NOTA: Los tamaños de las celdas no son iguales.

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

SMM Agrupamiento	Medi a	N	rpm
A	75.433	11	5
A	67.053	7	10
B	50.781	5	50

En promedio los valores de esta variable, varían entre 50.78 y 75.43 lo cual indica que a 50 rpm, el valor obtenido es bajo. La velocidad más recomendable es por tanto 5rpm.

5.5.3.3 PSST(Porcentaje de eficiencia de la variable SST):

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
rpm	2	7531.255248	3765.627624	675.13	<.0001
TMTR	1	152.629314	152.629314	27.36	<.0001
SSTE	1	574.830272	574.830272	103.06	<.0001
SSTS	1	505.739781	505.739781	90.67	<.0001

Evitando lo ocurrido con el modelo anterior, se decidió realizar la prueba de correlación de las variables inicialmente, obteniendo que SSTs está altamente correlacionada con %SST:

Tabla 8. Matriz de correlación de los SST.

	SSTE	SSTS	%SST
SSTE	1		

SSTS	-0,1415739	1	
%SST	0,35979465	0,96863181	1

Por lo cual es eliminada del modelo la variable.

Con el nuevo modelo los resultados son los siguientes:

Variabl e dependi ente: PSST

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Val or	Pr > F
Model o	4	8258. 714833	2064. 678708	61. 88	<. 0001
Error	18	600. 559164	33. 364398		
Total correcto	22	8859. 273997			

R-cuadrado Coef Var Rai z MSE PSST Medi a
 0. 932211 9. 668914 5. 776192 59. 73983

Fuente	DF	Ti po I SS	Cuadrado de la media	F-Val or	Pr > F
rpm	2	7531. 255248	3765. 627624	112. 86	<. 0001
TMTR	1	152. 629314	152. 629314	4. 57	0. 0464
SSTE	1	574. 830272	574. 830272	17. 23	0. 0006

Ahora, el R^2 es de 0.93 lo cual indica que el modelo es bastante bueno y ajusta casi perfectamente los datos. Y las variables consideradas son aceptadas en el modelo según sus p-valores.

Los promedios de esta variable de eficiencia para cada velocidad fueron:

Procedi mi ento GLM
Medi as de cuadrados mí ni mos

rpm	PSST LSMEAN
5	72. 7403778
10	62. 4895234
50	27. 2890361

De acuerdo a esto, la eficiencia más alta se encuentra con la velocidad 5rpm y la eficiencia más baja con 50rpm.

Y las pruebas de diferencias de medias sugieren que:

Prueba del rango múltiple de Duncan para PSST

NOTA: Este test controla el índice error comparisonwise de tipo I, no el índice de error experimentwise.

Al fa	0. 05
Error de grados de libertad	18
Error de cuadrado medio	33. 3644

Media armónica de tamaño de celdas 6.916168

NOTA: Los tamaños de las celdas no son iguales.

Número de medidas	2	3
Rango crítico	6.526	6.847

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	N	rpm
A	73.563	11	5
B	61.509	7	10
C	26.853	5	50

Existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos a cada una de las velocidades consideradas. A 50 rpm se obtuvo el valor más bajo. Evidentemente las eficiencias más altas se obtuvieron a 5rpm.

La prueba de Gabriel nos confirma el resultado anterior.

Test de módulo máximo estudentizado (GT2) para PSST

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un

índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	18
Error de cuadrado medio	33.3644
Valor crítico del módulo máximo estudentizado	2.61875
Diferencia significativa mínima	8.1342
Media armónica de tamaño de celdas	6.916168

NOTA: Los tamaños de las celdas no son iguales.

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

SMM Agrupamiento	Media	N	rpm
A	73.563	11	5
B	61.509	7	10
C	26.853	5	50

De acuerdo a las pruebas anteriores, los mejores resultados en cuanto a eficiencia de las variables SST y DQO se obtienen a una velocidad de 5 rpm.

6. SISTEMA DE TRATAMIENTO A ESCALA REAL

6.1 CAUDAL DE DISEÑO

Se busca que el sistema de tratamiento de aguas residuales tenga la capacidad necesaria para mantener el nivel de eficiencia esperado, durante la operación máxima instalada de sacrificio para 120 bovinos y 50 porcinos, y además soporte eventos desfavorables para el sistema como cargas de choque por caudales elevados o aumentos de cargas contaminantes; es importante resaltar que los diseños estarán enfocados a permitir futuras ampliaciones o segundas fases del proyecto, con el fin de garantizar la sostenibilidad del proceso.

Con la información recopilada hasta el momento es posible establecer un caudal de diseño, acorde a las condiciones locales de operación, pero teniendo en cuenta que es absolutamente necesario implementar medidas para el ahorro de agua.

Así mismo se utilizó para determinar el caudal de diseño, la información recopilada en la Tabla 9 referente al consumo de agua por sacrificio de un ejemplar bovino y un porcino de 1,35 m³ y 0,95m³ respectivamente. Esta información se validó con los rangos de consumo establecidos en la guía ambiental para las plantas de beneficio del ganado guía ambiental para el subsector¹⁷ y también en guía para el control y prevención de la contaminación industrial industria procesadora de la carne¹⁸.

Tabla 9. Consumos de agua en el proceso de sacrificio de ganado en el matadero municipal de Acacias

CONSUMO DE AGUA EN EL PROCESO	
ASEO Y RELAJAMIENTO MUSCULAR DEL GANADO	
Consumo por bovino en pie (Litros)	50
Consumo por porcino en pie (Litros)	20
Consumo diario sub-total (Litros)	70
Consumo diario total del proceso (Litros)	2170
LAVADO DE CANALES	
Consumo por canal ganado bovino (Litros)	100
Consumo por canal ganado porcino (Litros)	50
Consumo diario sub-total (Litros)	150
LAVADO DE VÍSCERAS ROJAS	
Consumo por vísceras ganado bovino (Litros)	100
Consumo por vísceras ganado porcino (Litros)	50
Consumo diario sub-total (Litros)	150
LAVADO DE VÍSCERAS BLANCAS	
Consumo por vísceras ganado bovino (Litros)	1000

¹⁷ Ministerio del Medio Ambiente; Colombia; mayo 2002.

¹⁸ Comisión Nacional del Medio Ambiente - región metropolitana, Santiago de Chile, marzo 1998.

Consumo por vísceras ganado porcino (Litros)	800
Consumo diario sub-total (Litros)	1800
LAVADO DE LA PLANTA	
Áreas de la infraestructura	
Nave de faneado de bovinos (m2)	110
Paredes nave bovinos (m2)	200
Corral ganado bovinos (m2)	60
Nave de faneado de porcinos (m2)	40
Paredes nave porcinos (m2)	90
Corral ganado porcino (m2)	20
Consumo de agua por unidad de área	
Lavado nave de bovinos (L/m2)	50
Lavado corral bovino (L/m2)	15
Lavado nave de porcinos (L/m2)	8
Lavado corral porcino (L/m2)	12
Consumo por lavado de Áreas	
Nave de faneado bovinos (Litros)	15500
Nave de faneado porcinos (Litros)	1040
Corral ganado bovino (Litros)	900
Corral ganado porcino (Litros)	240
Consumo sub-total por lavado de áreas (Litros)	17680
CONSUMO DIARIO TOTAL DE AGUA (Litros)	19850
CONSUMO DIARIO TOTAL DE AGUA (m3)	19,85
LAVADO DE CANALES	
Consumo por canal ganado bovino (Litros)	200
Consumo por canal ganado porcino (Litros)	80
LAVADO DE VÍSCERAS ROJAS	
Consumo por vísceras ganado bovino (Litros)	100
Consumo por vísceras ganado porcino (Litros)	50
LAVADO DE VÍSCERAS BLANCAS	
Consumo por vísceras ganado bovino (Litros)	1000
Consumo por vísceras ganado porcino (Litros)	800
ASEO Y RELAJAMIENTO MUSCULAR DEL GANADO	
Consumo por bovino en pie (Litros)	50
Consumo por porcino en pie (Litros)	20
LAVADO DE LA PLANTA	
Consumo por lavado de áreas	17,680
Consumo por Bovino (m3)	1,35
Consumo por Porcino (m3)	0,95
Consumo diario por lavado (m3)	17,68
Consumo Bovino / Porcino	1,42

Fuente: Autor 2005

A continuación se desarrolla el análisis efectuado para la determinación del caudal de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para el nuevo matadero municipal.

$$(N^{\circ} \text{Bovinos} * m^3) + (N^{\circ} \text{Porcinos} * m^3) + m^3 \text{lavadoplant} * f_{seg.}$$

$$(120_{BOVINO} * 1,35m^3) + (50_{PORCINO} * 0,93m^3) + 17,68m^3 \text{lavadoplant} * 0,077 = 250m^3$$

6.2 CARGAS CONTAMINANTES

Para determinar las cargas de contaminantes generadas en el proceso se hizo un análisis de la información recolectada en las tres caracterizaciones, haciendo una ponderación del caudal registrado en cada uno de los aforos y el caudal proyectado, de la siguiente manera:

$$SubQd = Qd * \frac{SubQaf}{Qaf} *$$

Donde:

SubQd = Subcaudal de diseño (caudal de corrales, vísceras blancas o vísceras rojas) en m³/día.

Qd = Caudal de diseño, en m³/día.

SubQaf = Subcaudal aforado, (caudal de corrales, vísceras blancas o vísceras rojas) en m³/día.

Qaf = Caudal aforado, en m³/día.

De esta manera los caudales de diseño para cada corriente residual son:

Aforo 1.

$$250 \frac{m^3}{día} * \frac{16,75 \frac{m^3}{día} \text{ corrales}}{109,72 \frac{m^3}{día}} = 38,2 \frac{m^3}{día} \text{ corrales}$$

$$250 \frac{m^3}{día} * \frac{38,91 \frac{m^3}{día} V.blancas}{109,72 \frac{m^3}{día}} = 88,7 \frac{m^3}{día} V.blancas$$

* Formula de ponderación de caudal aforado a un caudal teorico de diseño. Fuente: el Autor 2005.

$$250 \frac{m^3}{día} * \frac{54,06 \frac{m^3}{día} V.rojas}{109,72 \frac{m^3}{día}} = 123,2 \frac{m^3}{día} V.rojas$$

Aforo 2.

$$250 \frac{m^3}{día} * \frac{20,70 \frac{m^3}{día} corrales}{92,31 \frac{m^3}{día}} = 56,1 \frac{m^3}{día} corrales$$

$$250 \frac{m^3}{día} * \frac{36,62 \frac{m^3}{día} V.blancas}{92,31 \frac{m^3}{día}} = 99,2 \frac{m^3}{día} V.blancas$$

$$250 \frac{m^3}{día} * \frac{35,0 \frac{m^3}{día} V.rojas}{92,31 \frac{m^3}{día}} = 94,8 \frac{m^3}{día} V.rojas$$

Aforo 3.

$$250 \frac{m^3}{día} * \frac{4,7 \frac{m^3}{día} corrales}{149,32 \frac{m^3}{día}} = 7,9 \frac{m^3}{día} corrales$$

$$250 \frac{m^3}{día} * \frac{71,67 \frac{m^3}{día} V.blancas}{149,32 \frac{m^3}{día}} = 120 \frac{m^3}{día} V.blancas$$

$$250 \frac{m^3}{día} * \frac{72,95 \frac{m^3}{día} V.rojas}{149,32 \frac{m^3}{día}} = 122,2 \frac{m^3}{día} V.rojas$$

De esta manera se relacionan los caudales aforados con el caudal de diseño y se pueden obtener las cargas de contaminantes generadas durante el proceso.

$$q = \frac{Qd * C.parámetro}{1000} *$$

Donde:

q = Carga, en Kg/día

Qd = Caudal de diseño, en m³/día

$C.parámetro$ = Concentración de contaminantes, (DQO, DBO y SST) en mg/l

Así mismo las cargas de contaminantes para la corriente residual se relacionan en la tabla 10.

Tabla 10. Cargas contaminantes

CARGAS CONTAMINANTES								
AFORO 1								
CORRIENTE	CAUDAL	CAUDAL D	C DQO	q DQO	C DBO	q DBO	C SST	q SST
CORRALES	16,75	38,17	3982,50	131,85	1239,50	43,26	16791,50	542,89
V. BLANCAS	38,91	88,65	1846,00	163,65	651,00	57,71	224,00	19,86
V. ROJAS	54,06	123,18	1773,00	218,40	320,00	17,30	780,00	96,08
SUMA	109,72	250,00		513,90		118,27		658,83
AFORO 2								
CORRIENTE	CAUDAL	CAUDAL D	C DQO	q DQO	C DBO	q DBO	C SST	q SST
CORRALES	20,70	56,05	4173,00	233,88	1391,00	77,96	17053,00	955,76
V. BLANCAS	36,62	99,18	2997,00	297,24	670,00	66,45	364,00	36,10
V. ROJAS	35,00	94,77	1653,00	156,66	408,00	38,67	740,00	70,13
SUMA	92,31	250,00		687,79		183,08		1062,00
AFORO 3								
CORRIENTE	CAUDAL	CAUDAL D	C DQO	q DQO	C DBO	q DBO	C SST	q SST
CORRALES	4,70	7,87	3792,00	29,83	1088,00	8,56	16530,00	130,02
V. BLANCAS	71,67	119,99	3004,00	360,46	618,00	74,15	297,00	35,64
V. ROJAS	72,95	122,14	987,00	120,55	357,00	43,60	811,00	99,06
SUMA	149,32	250,00		510,84		126,32		264,71
Donde:								
CAUDAL	Aforado m ³ /día							
CAUDAL D	Diseño m ³ /día							
C	Concentración mg/l							
q	Carga en kg/día							

Teniendo esta información se puede establecer que el promedio aritmético de la suma de las cargas medidas en cada aforo, sea un valor apropiado para el establecimiento de este parámetro de diseño.

$$q_p = \frac{(q_{af1}) + (q_{af2}) + (q_{af3})}{3}$$

* Formula de detarminación de cargas contaminates.

Donde:

q_p = carga de contaminante (p), en kg/día

q_{afn} = Carga en aforro (n), en kg/día

6.2.1 Carga de DQO

$$\frac{769,68 + 1023,42 + 760,12}{3} = 851,07 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{DQO}$$

6.2.2 Carga de DBO

$$\frac{167,54 + 272,42 + 187,96}{3} = 209,30 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{DBO}$$

6.2.3 Carga se SST

$$\frac{980,34 + 1580,25 + 393,89}{3} = 984,82 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{SST}$$

6.3 BALANCE DE CARGAS

Figura 48. Balance de cargas para el sistema de tratamiento propuesto

CORRALES			VÍSCERAS BLANCAS			VÍSCERAS ROJAS		
CAUDAL	34,03 m ³ /día		CAUDAL	102,61 m ³ /día		CAUDAL	113,37 m ³ /día	
Parámetro	Conc. mg/l	CARGA kg/día	Parámetro	Conc. mg/l	CARGA kg/día	Parámetro	Conc. mg/l	CARGA kg/día
DQO	3874,95	131,85	DQO	2668,25	273,78	DQO	1457,27	165,20
DBO	1271,31	43,26	DBO	644,26	66,11	DBO	292,78	33,19
SST	15954,54	542,89	SST	297,56	30,53	SST	779,99	88,42
TANQUE ESTERCOLERO				TRAMPA DE GRASAS				
Parámetro	Conc. mg/l	CARGA kg/día	EF %	Parámetro	Conc. mg/l	CARGA kg/día	EF %	
DQO	2671,89	965,07	10	DQO	1311,55	148,68	10	
DBO	720,38	98,43	10	DBO	263,50	29,87	10	
SST	2098,38	286,71	50	SST	740,99	84,00	5	
TANQUE DE BOMBEO								
CAUDAL	250,00 m ³ /día							
Parámetro	Conc. mg/l	CARGA kg/día	EF %					
DQO	2055,03	513,76	0					
DBO	513,20	128,30	0					
SST	1482,85	370,71	0					
REACTOR ASBR								
Parámetro	Conc. mg/l	CARGA kg/día	EF %					
DQO	513,76	128,44	75					
DBO	153,96	38,49	70					
SST	444,86	111,21	70					
EFICIENCIAS ESPERADAS								
Parámetro	CARGA en kg/día	CARGA sa kg/día	EF %					
DQO	570,84	128,44	77,50					
DBO	142,56	38,49	73,00					
SST	661,85	111,21	83,20					

Fuente: Autor, 2005.

6.4 TRATAMIENTO PRIMARIO*

Este proceso tiene como misión la separación por medios físicos de los sólidos en suspensión y grasas flotantes. Esta fase resulta obligada para industrias que generan altas cargas contaminantes, puesto que los tratamientos secundarios requieren generalmente características estables en el agua de entrada.

6.4.1 Trampa de grasas

6.4.1.1 Parámetros de Diseño

Caudal de diseño	= 7,09 m ³ /hr
Relación Largo/Ancho L : A	= 1,2 : 1
Tiempo de retención ¹⁹	= 30 min
Altura efectiva	= 1,50 m
Carga Superficial ²⁰	= 3 – 14 m ³ /m ² /día

6.4.1.2 Dimensionamiento

VOLUMEN EFECTIVO

$$V_{EF} = Qd * t_R$$

Donde:

V_{EF}	= Volumen Efectivo, en m ³
Qd	= Caudal de diseño, en m ³ /min
t_R	= Tiempo de Retención, en min

Entonces:

$$V_{EF} = 7,09 \frac{m^3}{hr} * \frac{30 \text{ min}}{60} = 3,54 m^3$$

ÁREA SUPERFICIAL

$$A_{SP} = \frac{V_{EF}}{H}$$

Donde:

* Los planos de estas estructuras se muestran en el anexo D

¹⁹ ROMERO ROJAS, JAIME ALBERTO. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. Bogotá: Escuela Colombiana de ingeniería, 2000. p 730

²⁰ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico para el sector de Agua potable si saneamiento básico. Sección II, título E, Bogotá D.C. noviembre de 2000.

A_{SP} = Área superficial, en m^2
 V_{EF} = Volumen efectivo
 H = Altura efectiva, en m.

Entonces:

$$A_{SP} = \frac{3,54m^3}{1,50m} = 2,36m^2$$

CARGA SUPERFICIAL

$$q_H = \frac{Qd}{A_{SP}}$$

Donde:

q_H = Carga superficial, en $m^3/m^2/día$
 Qd = Caudal de diseño, en $m^3/día$
 A_{SP} = Área superficial, en m^2

Entonces:

$$q_H = \frac{7,09m^3/hr}{2,36m^2} = 3m^3/m^2 - hr$$

Así, se cumple con el parámetro de diseño.

ANCHO

$$A_{CH} = \sqrt{\frac{A_S}{2}}$$

Donde:

A_{CH} = Ancho Efectivo, en m
 A_S = Área superficial, en m^2
 L/A = Relación Ancho Largo, en m/m

Entonces:

$$A_{CH} = \sqrt{\frac{2,36m^2}{1,2}} = 1,40m$$

LARGO

$$L_{EF} = \frac{A_S}{A_{CH}}$$

Donde:

- L_{EF} = Largo Efectivo, en m
 A_S = Área superficial, en m²
 A_{CH} = Ancho Efectivo, en m

Entonces:

$$L_{EF} = \frac{2,36m^2}{1,40m} = 1,7m$$

En la tabla 11 se relacionan las dimensiones de las especificaciones de detalle de la unidad Trampa de Grasas.

Tabla 11. Especificaciones trampa de grasas

TRAMPA DE GRASAS	
CAUDAL DE DISEÑO (m ³ /día)	113,37
CAUDAL DE DISEÑO (m ³ /hr)	7,09
CAUDAL DE DISEÑO (LPS)	1,97
RELACIÓN L : A	1,20
TIEMPO DE RETENCIÓN (min)	30,00
ALTO EFECTIVO (m)	1,50
% ZONA DE ENTRADA	35,00
% ZONA DE SALIDA	30,00
BORDE RETENCIÓN DE GRASAS (m)	0,45
ESPESOR DE MUROS (m)	0,15
PENDIENTE DEL FONDO (m/m)	0,50
VOLUMEN EFECTIVO (m ³)	3,54
ÁREA SUPERFICIAL (m ²)	2,36
CARGA SUPERFICIAL (m ³ /m ² /hr)	3,00
ANCHO EFECTIVO (m)	1,40
LARGO EFECTIVO (m)	1,7
ALTURA BAFLE DE ENTRADA (m)	1,45
ALTURA BAFLE DE SALIDA (m)	1,20
ZONA DE ENTRADA (m)	0,59
ZONA DE SALIDA (m)	0,51
ALTURA TOTAL (m)	1,95
LARGO TOTAL (m)	3,08

6.4.2 Sedimentador

6.4.2.1 Parámetros de diseño

Caudal de diseño	= 5,69 m ³ /hr
Tiempo de retención ²¹	= 3 hr
Relación L : A ²²	= 1,3 : 1
Altura lámina de agua	= 2,0 m
Velocidad de flujo	< 1,5 m/min

6.4.2.2 Dimensionamiento

VOLUMEN EFECTIVO

$$V_{EF} = Qd * t_R$$

Donde:

V_{EF}	= Volumen Efectivo, en m ³
Qd	= Caudal de diseño, en m ³ /min
t_R	= Tiempo de Retención, en min

Entonces:

$$V_{EF} = 5,69 \frac{m^3}{hr} * 3hr = 17,07m^3$$

ÁREA SUPERFICIAL

$$A_S = \frac{V_{EF}}{A_{LA}}$$

Donde:

A_S	= Área superficial, en m ²
V_{EF}	= Volumen efectivo, en m ³
A_{LA}	= Altura lamina de agua, en m

Entonces:

$$A_S = \frac{17,07m^3}{2m} = 8,54m^2$$

²¹ WEF, ASCE. Design of municipal wastewater treatment plants, 4^a ed., 1998.

²² Ibid. WEF, ASCE.

ANCHO

$$A_{CH} = \sqrt{\frac{A_S}{L/A}}$$

Donde:

A_{CH} = Ancho, en m
 A_S = Área superficial, en m²
 L/A = 1,3 : 1

Entonces:

$$A_{CH} = \sqrt{\frac{8,54m^2}{1,3}} = 2,56m$$

LARGO

$$L = \frac{A_S}{A_{CH}}$$

Donde:

L = Largo, en m
 A_S = Área superficial, en m²
 A_{CH} = Ancho, en m

Entonces:

$$L = \frac{8,54m^2}{2,56m} = 3,33m$$

En la tabla 12 se relacionan las dimensiones de las especificaciones de detalle de la unidad estercolero.

Tabla 12. Especificaciones Sedimentador

SEDIMENTADOR	
CAUDAL DE DISEÑO (m ³ /día)	136,63
CAUDAL DE DISEÑO (m ³ /hr)	5,69
CAUDAL DE DISEÑO (m ³ /min)	0,09
TIEMPO DE RETENCIÓN (hr)	3,00
RELACIÓN L:A	1,30
PENDIENTE EN EL FONDO (m/m)	0,17
ALTURA MÍNIMA (m)	2,00

ZONA DE ENTRADA (m)	0,60
ZONA DE SALIDA (m)	0,70
SUMERGENCIA BAFLE SALIDA (m)	0,60
SUMERGENCIA BAFLE ENTRADA (m)	0,50
BORDE LIBRE (m)	0,35
VELOCIDAD DE FLUJO (m/min)	0,02
VOLUMEN EFECTIVO (m ³)	17,08
ÁREA SUPERFICIAL (m ²)	8,54
ANCHO EFECTIVO(m)	2,56
LARGO EFECTIVO (m)	3,33
LARGO TOTAL (m)	4,63
ALTURA BAFLE DE ENTRADA (m)	1,25
ALTURA BAFLE DE SALIDA (m)	1,15
ALTURA DE ENTRADA (m)	2,35
ALTURA DE SALIDA (m)	2,56

6.4.3 Tanque de bombeo

6.4.3.1 Parámetros de diseño

Caudal de Diseño = 10,42 m³/hr

Caudal de Bombeo = 18 m³/hr

Altura Útil = 2,5 m

6.4.3.2 Dimensionamiento

VOLUMEN DE IGUALACIÓN

Partiendo del caudal de diseño se tiene que en promedio se generan 37,2 m³ de agua residual en cada hora de producción, el análisis efectuado para la determinación del volumen de igualación se baso en un evento de máxima producción durante 20 horas. En la tabla 13 se muestra el procedimiento.

Tabla 13. Cálculo del volumen de igualación

HORA	m ³ /hr	Vol. Acumulado	Qb m ³ /hr	Qb Acumulado	Vol. Iguación
1	10,42	10,42	0,00	0,00	10,42
2	10,42	20,84	0,00	0,00	20,84
3	10,42	31,26	0,00	0,00	31,26
4	10,42	41,68	0,00	0,00	41,68
5	10,42	52,10	0,00	0,00	52,10
6	10,42	62,52	0,00	0,00	62,52
7	10,42	72,94	0,00	0,00	72,94
8	10,42	83,36	0,00	0,00	83,36
9	10,42	93,78	0,00	0,00	93,78
10	10,42	104,20	0,00	0,00	104,20

11	10,42	114,62	18,00	18,00	96,62
12	10,42	125,04	18,00	36,00	89,04
13	10,42	135,46	18,00	54,00	81,46
14	10,42	145,88	18,00	72,00	73,88
15	10,42	156,30	18,00	90,00	66,30
16	10,42	166,72	18,00	108,00	58,72
17	10,42	177,14	18,00	126,00	51,14
18	10,42	187,56	18,00	144,00	43,56
19	10,42	197,98	18,00	162,00	35,98
20	10,42	208,40	18,00	180,00	28,40
21	10,42	218,82	18,00	198,00	20,82
22	10,42	229,24	18,00	216,00	13,24
23	10,42	239,66	18,00	234,00	5,66
24	10,42	250,08	18,00	252,00	-1,92
TOTAL		250,08		252,00	-1,92
		10,42		Vol. Max	104,20
				(-)	2
				Vol. Max	106,1
				Tiempo ret.	10,2

ÁREA

$$A = \frac{V_i}{h}$$

Donde:

- A = Área del tanque, en m^2
 V_i = Volumen de igualación, en m^3
 H = Altura, en m

Entonces:

$$A = \frac{104,2m^3}{3m} = 35m^2$$

LADO

$$L = \sqrt{A}$$

Donde:

- L = Lado, en m
 A = Área del tanque, en m^2

Entonces:

$$L = \sqrt{35m^2} = 6m$$

En la tabla 14 se relacionan las especificaciones de este sistema.

Tabla 14. Especificaciones tanque de bombeo

TANQUE DE BOMBEO	
CAUDAL DE DISEÑO (m ³ /día)	250,00
CAUDAL DE DISEÑO (m ³ /hr)	10,42
CAUDAL DE DISEÑO (LPS)	2,89
CAUDAL DE BOMBEO (LPM)	300
CAUDAL DE BOMBEO (m ³ /hr)	18
CAUDAL DE BOMBEO (m ³ /min)	0,30
CAUDAL DE BOMBEO (LPS)	5
VOLUMEN (m ³)	106
ALTURA (m)	3
ÁREA (m ²)	35
LARGO (m)	6
BORDE LIBRE	0,25
ALTO TOTAL	3,25

6.5 REACTORES ANAEROBIOS DE CARGA SECUENCIAL (ASBR)*

6.5.1 Parámetros de diseño**

Volumen de diseño	= 250 m ³
Carga de DQO	= 513,76 kg/día
Carga de DBO	= 128,30 kg/día
Carga de SST	= 370,71 kg/día
Volumen de lodos	= 80 ml/l
Actividad Metanógena	= 0,0 – 0,8 kgDBO/día kg-biomasa
Concentración de Sólidos Totales	= 80 – 120 kgST/m ³
Eficiencia	= 90% remoción DQO
Tiempo de Arranque Sistema	= 120 días
Numero de Reactores	= 4 unidades
Relación Altura : Diámetro	= 1,1 : 1
Borde Libre	= 0,25 m

* Los planos de estas estructuras se muestran en el anexo D

** Los parámetros empleados en el diseño de esta unidad son los encontrados en la presente investigación.

6.5.2 Conceptualización

VOLUMEN DE LODOS

$$V_L = \frac{Vd * IVL}{1000}$$

Donde:

V_L = Volumen de Lodos, en m^3
 Vd = Volumen de Diseño, en m^3
 IVL = Índice de Volumétricos, en ml/l

Entonces:

$$V_L = \frac{250 m^3 / día * 100 ml / l}{1000} = 25 m^3$$

CANTIDAD DE BIOMASA

$$C_{BIO} = V_L * []ST$$

Donde:

C_{BIO} = Cantidad de Biomasa, en kg
 V_L = Volumen de Lodos, en m^3
 $[]ST$ = Concentración de Sólidos Totales, en $kgST/m^3$

Entonces:

$$C_{BIO} = 25 m^3 * 100 \frac{kgST}{m^3} = 2500 kgST$$

CARGA MÁXIMA

$$q_{MAX} = C_{BIO} * A_{MET}$$

Donde:

q_{MAX} = Carga máxima de DQO, en $kgDQO/día$
 C_{BIO} = Cantidad de Biomasa, en kg
 A_{MET} = Actividad Metanógena, en $kgDQO/día$ kg-biomasa

Entonces:

$$q_{MAX} = 2500 \text{kgST} * 0,6 \text{kgDQO} / \text{día} - \text{kgbiomasa} = 1500 \text{kgDQO} / \text{día}$$

PRODUCCIÓN DE LODOS BASE SECA

$$P_{L.SECA} = q_{MAX} * Ef * 0,02$$

Donde:

$P_{L.SECA}$ = Producción de lodos base seca, en kg-lodo/día
 q_{MAX} = Carga maxima de DQO, en kgDQO/día
 Ef = Eficiencia remoción DQO x 100
 0,02 = Tasa de Producción de Biomasa, para reactores en arranque

Entonces:

$$P_{L.SECA} = 1500 \text{kgDQO} / \text{día} * 0,90 * 0,02 = 27 \text{kg} - \text{lodo} / \text{día}$$

PRODUCCIÓN LODOS BASE HUMEDA

$$P_{L.HUMEDA} = \frac{P_{L.SECA}}{0,02}$$

Donde:

$P_{L.humeda}$ = Producción de lodos base húmeda, en L-lodo/día
 0,02 = Porcentaje humedad de lodo generado.

Entonces:

$$P_{L.HUMEDA} = \frac{27 \text{kg} - \text{lodo} / \text{día}}{0,02} = 1350 \text{L} - \text{lodo} / \text{día}$$

VOLUMEN DE LODO BASE HUMEDA

$$V_L = \frac{P_{LODO}}{1000}$$

Donde:

V_L = Volumen de lodo, en m³-lodo/día

P_{LODO} = Producción de lodos, en kg-lodo/día

Entonces:

$$VL = \frac{1350L - lodo / día}{1000}$$

6.5.3 Dimensionamiento

VOLUMEN EFECTIVO

$$V_{EF} = \frac{Vd}{N^{\circ}_{UNID}}$$

Donde:

V_{EF} = Volumen efectivo, en m^3
 Vd = Volumen de Diseño, en m^3
 N°_{UNID} = Numero de reactores

Entonces:

$$V_{EF} = \frac{250m^3}{4}$$

DIÁMETRO

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{EF}}{\pi * H/D}}$$

Donde:

D = Diámetro del reactor unitario, en m
 V_{EF} = Volumen efectivo, en m^3
 H/D = Relación Altura: Diámetro

Entonces:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 62,5m^3}{\pi * 1,10}} = 4,17m$$

ALTURA ÚTIL

$$A_{UTIL} = H/D * D$$

Donde:

A_{UTIL} = Altura útil de reactor unitario, en m

H/D = Relación Altura: Diámetro

Entonces:

$$A_{UTIL} = 1,1 * 4,17m = 4,58m$$

En la tabla 15 se relacionan las dimensiones de las especificaciones de detalle de los Reactores Anaerobios de Cargas Secuenciales (ASBR).

Tabla 15. Especificaciones reactores ASBR

REACTOR ANAERÓBICO DE CARGAS SECUENCIALES	
VOLUMEN DE DISEÑO (m ³ /día)	250,00
q. DQO (kg/día)	513,76
q. DBO(kg/día)	128,30
q. SST (kg/día)	370,71
EFICIENCIA DE REMOCIÓN X 100	0,9
VOLUMEN DE LODO (ml/l)	100,00
ACTIVIDAD METANOGÉNICA kg DQO/día-kg biomasa	0,6
CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES (kg ST/m ³)	100,00
NUMERO DE DÍAS DE ARRANQUE	120
NUMERO DE UNIDADES	4
BORDE LIBRE (m)	0,25
RELACIÓN H/D	1,10
VOLUMEN DE LODOS (m ³)	25,00
CANTIDAD DE BIOMASA (kg)	2500,00
CARGA MÁXIMA ORGÁNICA (kg DQO/día)	1500,00
PRODUCCIÓN BIOGÁS (m ³ /día)	184,95
PRODUCCIÓN DE LODOS BASE SECA (kg-lodo/día)	27,00
PRODUCCIÓN DE LODOS BASE HÚMEDA (Litros-lodo/día)	1350,00
VOLUMEN DE LODOS BASE HÚMEDA (m ³ -lodo/día)	1,35
VOLUMEN DE LODO ARRASTRADO (m ³ /día)	0,001
VOLUMEN EFECTIVO X UNIDAD (m ³)	62,50
VOLUMEN DE LODOS X UNIDAD (m ³)	6,25
DIÁMETRO DE UNIDAD (m)	4,17
ÁREA SUPERFICIAL	13,64
ALTURA ÚTIL (m)	4,58
ALTURA DE LODOS (m)	0,31
ALTURA TOLVA (m)	0,46
ALTURA DEL CILINDRO (m)	5,14
ALTURA TOTAL (m)	5,60

6.6 Mitigación del impacto visual producido por la PTAR

Debido a que los requisitos estructurales de los reactores ASBR son de un material resistente y duradero se plantea como material de construcción concreto de alta densidad; por esta razón las estructuras que se plantea construir serán de gran tamaño. Un factor limitante del sitio es también la proximidad del nivel freático al terreno, impidiendo así que las unidades sean enterradas. Teniendo en cuenta este panorama se propone la instalación de una cerca viva en el perímetro de la PTAR; la especie arbórea más utilizada en esta región para este tipo de uso es el *Yopo*, especie de rápido crecimiento y abundante follaje. De esta forma se busca mitigar el impacto visual, que pueda generar la instalación de estas unidades, al entorno natural.

7. ALTERNATIVAS PARA EL PULIMENTO DEL EFLUENTE DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Con la intención de brindar un efluente tratado con las mejores características posibles se propone un tratamiento blando, que permita eliminar los remanentes de nutrientes y orgánicos, que no se hayan depurado en el tratamiento diseñado, de esta manera se proponen a continuación dos tecnologías, que aunque usualmente son aplicadas en el tratamiento de aguas urbanas podrían aplicarse al caso que nos compete, puesto que la corriente a tratar se presenta estabilizada y difícilmente aportaría grandes cargas de contaminantes.

7.1 LAGUNA DE MADURACIÓN

El funcionamiento de estos sistemas es similar al de las lagunas facultativas, con excepción de la capacidad de almacenamiento de lodos. A estas unidades no llegan sólidos biológicos que no sean algas unicelulares y prácticamente no acumulan lodos, de modo que no es necesaria su limpieza. El propósito de estas unidades puede resumirse de la siguiente forma:

Presentan condiciones adecuadas de balance de oxígeno, de modo que se puede sustentar una adecuada biomasa de algas unicelulares en la parte superior de la laguna.

Presentan condiciones adecuadas de mortalidad bacteriana, lo cual se da cuando la población de algas al alimentarse básicamente del sistema carbonatado, en las horas de mayor insolación o de mayor actividad fotosintética, consume los bicarbonatos y carbonatos, produciendo un notable incremento del pH y al mismo tiempo una gran mortalidad bacteriana.

7.2 FILTRO RADICULAR

Los sistemas de tratamiento mediante macrofitas es una técnica capaz de lograr el tratamiento de las aguas residuales, utilizando plantas de tipo emergente enraizadas en el fondo de cursos de agua, formando una densa esponja de raíces y rizomas que ocupan todo el volumen del vaso del canal, y obligan a que el agua circule por esta maraña de vegetación, que actúa a su vez de soporte de los microorganismos que degradan la materia orgánica.

En estos sistemas la producción de lodos es escasa o nula puesto que toda la biomasa es metabolizada y convertida en tejido celular por las plantas.

Tabla 16. Matriz de comparación de alternativas para el pulimento del efluente tratado

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
LAGUNA DE MADURACIÓN	<p>Bajo costo de construcción y explotación.</p> <p>Proceso natural que no necesita ser ayudado por fuentes artificiales de energía.</p> <p>Altos rendimientos en eliminación de contaminantes orgánicos y sólidos en suspensión.</p> <p>Absorbe fácilmente las variaciones de carga debido al efecto regulador de las lagunas.</p> <p>Es un proceso natural que se integra fácilmente en el medio rural.</p>	<p>Se necesita una gran cantidad de terrenos.</p> <p>El vertimiento del agua tratada puede crear problemas de eutrofización por la gran cantidad de algas que lleva en suspensión.</p> <p>Puede haber pérdida de agua por evaporación.</p> <p>Posibles problemas de olores.</p> <p>Aparecen cantidades importantes de insectos.</p> <p>Una vez construidos no existe facilidad para modificar las condiciones del proceso, ante modificaciones de carga o condiciones meteorológicas.</p> <p>Posible contaminación de aguas subterráneas.</p>
FILTROS O CANALES RADICULARES	<p>Economía en el mantenimiento y facilidad de implantación.</p> <p>La vegetación del filtro “digiere” los lodos, lo que evita el problema de generación de este tipo de residuos.</p> <p>Proceso natural que no necesita ser ayudado por fuentes artificiales de energía.</p>	<p>Se necesita una gran cantidad de área.</p> <p>Produce una gran cantidad de biomasa, que debe ser retirada mediante cortes periódicos</p> <p>La renovación del sistema implica ocasionar un desajuste del mismo.</p>

Con el fin de encontrar la opción que mejor podría aplicarse en la realidad a continuación se evalúan, con base en una calificación arbitraria de 1 a 5, las ventajas de estos dos sistemas.

TABLA 17. CALIFICACIÓN DE LAS OPCIONES DE PULIMIENTO

CARACTERÍSTICA	FILTRO RADICULAR	LAGUNA DE MADURACIÓN
Requisitos de área	2	1
Costos de construcción	3	3
Costos de operación	4	5
Eficiencia de remoción	4	2
Estabilidad	3	3
Resistencia a cargas de choque	3	3
TOTAL	19	17

De esta forma que la opción más acertada podría ser la de la implementación de filtros de radicales.

8. MANEJO DE SUBPRODUCTOS DEL TRATAMIENTO

8.1 TRATAMIENTO DE LODOS

8.1.1 Digestor anaeróbico

8.1.1.1 Parámetros de diseño

Producción de lodos Base Húmeda	= 1,35 m ³ -lodo /día
Tiempo de Retención ²³	= 10 a 20 días.
Altura	= 2 m
Relación Altura / Diámetro	= 0,7 m/m

8.1.1.2 Dimensionamiento

VOLUMEN EFECTIVO

$$V_{EF} = \frac{P_{L.HUMEDA}}{H}$$

Donde:

V_{EF}	= Volumen Efectivo, en m ³
$P_{L.HUMEDA}$	= Producción de lodos base húmeda, en m ³ -lodo /día
H	= Altura, en m

Entonces:

$$V_{EF} = \frac{1,35 \text{ m}^3 - \text{lodo/día}}{2} = 20,3 \text{ m}^3$$

DIÁMETRO

$$D = \sqrt[3]{\frac{V_{EF} * 4}{\pi * A/D}}$$

Donde:

D	= Diámetro, en m
-----	------------------

²³ BALDA ROBERTO. Apuntes catedra recurso agua ., 2003.

V_{EF} = Volumen Efectivo, en m^3
 A / D = Relación Altura / Diámetro

Entonces:

$$D = \sqrt[3]{\frac{20,3m^3}{\pi * 0,7}} = 3,3m$$

ÁREA EFECTIVA

$$A_{EF} = \frac{\pi}{4} D^2$$

Donde:

A_{EF} = Área efectiva, en m^2
 D = Diámetro, en m

Entonces:

$$A_{EF} = \frac{\pi}{4} (3,3m)^2 = 8,7m^2$$

En la tabla 17 se relacionan las dimensiones de las especificaciones de detalle de el digester anaerobio.

Tabla 18. Especificaciones del digester anaerobio

DIGESTOR ANAERÓBICO	
PRODUCCIÓN DE LODOS BASE HÚMEDA (m^3 -lodo/día)	1,35
TIEMPO DE RETENCIÓN (días)	15
RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO (m/m)	0,7
ALTURA (m)	2
PENDIENTE DE LA TOLVA (m/m)	0,8
BORDE LIBRE	0,90
VOLUMEN EFECTIVO (m^3)	20,3
DIÁMETRO (m)	3,3
ÁREA EFECTIVA (m^2)	8,7
ALTURA DE TOLVA (m)	2,08
ALTURA TOTAL	4,98

8.1.2 Lechos de secado

8.1.2.1 Parámetros de diseño

Periodo de Secado = 3 a 4semanas
 Profundidad Útil²⁴ = 0,5 a 0,6 m
 Ancho del Lecho = 5 a 10 m
 Espesor de Arena = 0,1 a 0,4 m
 Espesor de Grava = 0,2 a 0,4 m
 Pendiente Fondo = 1,5 %

8.1.2.2 Dimensionamiento

VOLUMEN DE DISEÑO

$$Vd = P_{L.HUMEDA} * 7 * P_{SECADO}$$

Donde:

Vd = Volumen de diseño, en m³
 $P_{L.HUMEDA}$ = Producción de lodos base húmeda, en m³-lodo /día
 P_{SECADO} = Periodo de Secado, en semanas

Entonces:

$$Vd = 1,35m * 7 * 3sem$$

ÁREA DEL LECHO

$$A_{LECHO} = \frac{Vd}{Pr_{UTIL}}$$

Donde:

A_{LECHO} = Área del lecho, en m²
 Vd = Volumen de diseño, en m³
 Pr_{UTIL} = Profundidad Útil, en m

Entonces:

$$A_{LECHO} = \frac{28,4m^3}{0,5} = 56,70m^2$$

²⁴ ROMERO ROJAS, JAIME ALBERTO. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. Bogotá: Escuela Colombiana de ingeniería, 2000.

LARGO DEL LECHO

$$L_L = \frac{A_{LECHO}}{Ac_{LECHO}}$$

Donde:

- L_L = Largo del lecho, en m
- A_{LECHO} = Área del lecho, en m^2
- Ac_{LECHO} = Ancho del lecho, en m

Entonces:

$$L_{LECHO} = \frac{56,70m^2}{5m} = 11,34m$$

En la tabla 18 se relacionan las dimensiones de las especificaciones de detalle del Lecho de Secado.

Tabla 19. Especificaciones del lecho de secado

LECHO DE SECADO	
PERIODO DE SECADO (semanas)	3
PROFUNDIDAD ÚTIL (m)	0,5
ANCHO DEL LECHO (m)	5
ESPESOR DE ARENA (m)	0,3
ESPESOR DE GRAVA (m)	0,25
ESPESOR MEDIO DE SOPORTE (m)	0,1
DIÁMETRO DE DRENAJE (pulg)	4"
PENDIENTE FONDO EN CONCRETO (%)	1,5
BORDE LIBRE (m)	0,6
VOLUMEN DE DISEÑO (m^3)	28,4
ÁREA DEL LECHO (m^2)	56,70
LARGO DEL LECHO (m)	11,34
ALTURA TOTAL (m)	1,75

8.2 TRATAMIENTO DE SÓLIDOS

El compostaje es el proceso biológico de degradación de la materia orgánica, a partir de la generación de compost, que se puede definir como el resultado de un proceso de humificación de la materia orgánica, bajo condiciones controladas y en ausencia de suelo. El compost es un nutriente para el suelo que mejora la estructura y ayuda a reducir la erosión y ayuda a la absorción de agua y nutrientes

por parte de las plantas lo que a su vez genera beneficio para el suelo y para los cultivos.

8.2.1 Proceso biológico

La biodegradación es consecuencia de la actividad de los microorganismos que crecen y se reproducen en los materiales orgánicos en descomposición. La consecuencia final de estas actividades vitales es la transformación de los materiales orgánicos originales en otras formas químicas. Los productos finales de esta degradación dependerán de los tipos de metabolismo y de los grupos fisiológicos que hayan intervenido. Es por estas razones, que los controles que se puedan ejercer, siempre estarán enfocados a favorecer el predominio de determinados metabolismos y en consecuencia a determinados grupos fisiológicos.

Para que estos microorganismos puedan vivir y desarrollar la actividad de descomposición se necesitan unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación.

8.2.2 Descripción general del proceso

Se caracteriza por el predominio de los metabolismos respiratorios aerobios y por la alternancia de etapas mesotérmicas (10-40°C) con etapas termogénicas (40-75°C), y con la participación de microorganismos mesófilos y termófilos respectivamente. Las elevadas temperaturas alcanzadas, son consecuencia de la relación superficie/volumen de las pilas o camellones y de la actividad metabólica de los diferentes grupos fisiológicos participantes en el proceso. Durante la evolución del proceso se produce una sucesión natural de poblaciones de microorganismos que difieren en sus características nutricionales (quimioheterotrofos y quimioautotrofos), entre los que se establecen efectos sintróficos y nutrición cruzada.

Debemos distinguir en una pila o camellón dos regiones o zonas:

La zona central o núcleo de compostaje, que es la que está sujeta a los cambios térmicos más evidentes, y la corteza o zona cortical que es la zona que rodea al núcleo y cuyo espesor dependerá de la compactación y textura de los materiales utilizados.

El núcleo actúa como zona inductora sobre la corteza. No obstante, todos los procesos que se dan en el núcleo, no alcanzan la totalidad del volumen de la corteza. A los efectos prácticos y utilizando como criterio las temperaturas alcanzadas en el núcleo.

8.2.3 Diseño de las pilas

Al momento de conformar las pilas para compostaje se debe utilizar el estiércol fresco y agregarle cascarilla de arroz en una proporción 70 / 30, estos materiales se deben mezclar homogéneamente.

El aspecto principal que se tuvo en cuenta para dimensionar las pilas de compost, fue la cantidad de estiércol generado:

Se estima que el peso de estiércol generado es de 1.6 Kg/día por res sacrificada

Reses y porcinos sacrificados: se tiene estimada una proyección de sacrificio de 120 reses/día y de 50 porcinos/día, es decir que se estima una producción de aproximadamente 190 Kg/día, es decir una producción de 5.7 Ton al mes. Si se tiene una densidad de 0.5 se tendría un volumen de 11.4 m³.

El proceso se destina para 90 días desde el inicio del proceso y formación de las pilas, pasando por las diferentes etapas del proceso hasta obtener el producto final, sin embargo el tiempo de maduración del compost depende del control microbiológico que se le realice al proceso, por lo que este tiempo puede ser menor después de optimizar el proceso y mejorar las condiciones de elaboración del compost.

Para lograr un correcto funcionamiento microbiológico se adecuaran tres pilas de compost, las cuales se encontraran simultáneamente en fases diferentes del proceso de biodegradación.

8.2.4 Monitoreo del proceso

Como se menciona anteriormente los parámetros a controlar durante la elaboración del compost, es el pH, la humedad, la relación carbono nitrógeno y el oxígeno.

pH: se debe llevar un registro del valor del pH cada semana.

Temperatura: semanalmente se debe llevar un registro de la variación de la temperatura en las pilas de compost, esta se debe tomar en dos puntos una cerca a la superficie de la pila y otra en la parte profunda de la pila de compost.

Control de Humedad

Para el control del contenido de humedad, puede aplicar el siguiente procedimiento empírico:

1. Tome con la mano una muestra de material.
2. Cierre la mano y apriete fuertemente el mismo.

3. Si con esta operación verifica que sale un hilo de agua continuo del material, entonces podemos establecer que el material contiene más de un 40% de humedad.
4. Si no se produce un hilo continuo de agua y el material gotea intermitentemente, podemos establecer que su contenido en humedad es cercano al 40%.
5. Sin el material no gotea y cuando abrimos el puño de la mano permanece moldeado, estimamos que la humedad se presenta entre un 20 a 30 %.
6. Finalmente si abrimos el puño y el material se disgrega, asumimos que el material contienen una humedad inferior al 20 %.

8.2.5 Control de aireación y riego por temperatura:

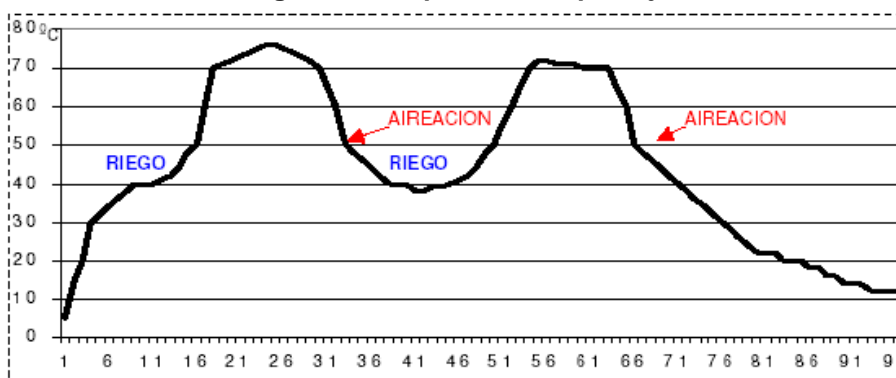
Los volteos en la pila se deben realizar todos los días durante la primera semana de conformada la pila, posteriormente se realizaran los volteos semanalmente.

Como se visualiza en el gráfico, se recomienda realizar las aireaciones, cuando comienza a decrecer la temperatura, el riego debe ser lo más atomizado posible, para no producir cambios bruscos en la temperatura.

8.2.6 Control del producto final:

Para saber si el material que se utilizo para compostar ya se encuentra listo, se puede coger una muestra del material seco y se humedece un poco en la mano, si se siente un aumento en la temperatura del material indica que aun no esta listo, si la temperatura del material se mantiene constante indica que este material ya puede ser aplicado al suelo y a los cultivos.

Figura 49. Etapas del compostaje



Fuente: Manual para la elaboración del compost. Bases conceptuales y procedimientos. OPS - OMS

8.2.7 Producción de biogás

Otra de las alternativas para el manejo del estiércol es la producción de biogás, para esto se puede utilizar un sistema sencillo como la construcción de un biodigestor, es un sistema construido en plástico, donde se procesan excretas

animales en un medio anaerobio, en este medio se encuentran microorganismos propios de las excretas, los cuales al fermentar la materia orgánica liberan metano, el cual es un combustible natural que puede ser utilizado para calentar agua o en áreas de cocina, así mismo produce un abono líquido el cual contiene gran cantidad de nutrientes, el cual puede ser utilizado directamente sobre el suelo o como ayudante en el proceso de compostaje.

El biodigestor debe contar mínimo con las siguientes características:

Una fosa en el suelo de 1 m. de profundidad por 1,20 m. de ancho en la parte superior y un metro en la parte inferior, por una longitud de 6 m, se requiere plástico tubular doble calibre 8" con un diámetro mínimo de 4 m y una longitud de 8 m, la estructura debe contar con una boca de entrada y una de salida, una válvula de gas y una válvula de seguridad.

Una vez instalado el biodigestor, en el interior del plástico debe quedar una mezcla de 70% de agua con estiércol y el 30% restante corresponde a la campana donde se almacena el biogás.

Este se debe alimentar diariamente con 20 – 30 Kg. de excretas frescas mezcladas con agua, después de 30 o 40 días el biodigestor debe estar totalmente lleno de biogás, la alimentación al biodigestor debe ser permanente para mantener una continua producción de biogás.

En la boca de salida se puede recoger el efluente en una caneca de 200 litros, o se puede conducir a campos de irrigación de cultivos ya que es un líquido rico en nutrientes para las plantas.

El biogás producido puede ser utilizado para calefacción para crías de animales, cocción de alimentos. En el caso de producción de energía eléctrica se debe adaptar un motor de combustión interna al sistema de combustión de gas.

9. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

9.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Este capítulo está dedicado a presentar las características básicas del agua residual industrial del Matadero Municipal de Acacias Departamento del Meta empleadas para el diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Residual.

Parámetro a la salida del Matadero Municipal	Valor
Caudal máximo	250 m ³ /d
DQO	2528,12 mg/L
DBO	687,9 mg/L
SS	4599,9 mg/L
Temperatura	22 Grados centígrados
pH	Entre 6 y 7
Alcalinidad total	553.8 mg/L

Caracterización de efluentes: según datos suministrados por Laboratorio Tecnoambiental Ltda., en la ciudad de Villavicencio y el Instituto de Higiene Ambiental de la ciudad de Bogota D.C

9.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA TRATADA

El sistema de tratamiento propuesto, asegura una calidad del efluente que cumple con los siguientes parámetros de vertimiento, siempre y cuando se mantengan los parámetros de diseño:

pH	6 a 7 unidades
DQO	205,50 mg/L
DBO	76,98 mg/L
SS	222,43 mg/L

9.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

A continuación se presenta la descripción del funcionamiento del sistema y las especificaciones de cada unidad de tratamiento.

9.3.1 Tratamiento primario

El tratamiento primario consiste en la separación de sólidos y semisólidos, a través sistemas físicos. Para el caso de la trampa de grasas, aprovecha la flotabilidad de algunos de los aceites y grasas, contenidos en el agua residual, para retenerlos en los baffles interiores de esta caja de concreto. Y para el caso del estercolero este sistema aprovecha las propiedades de sedimentación que tiene las partículas sólidas de mayor tamaño, para retenerlas en el fondo del tanque.

9.3.2 Tanque de bombeo

La homogenización e igualación de los caudales a tratar en el sistema biológico se efectuará en este tanque, construido en concreto y dimensionado para soportar y distribuir un caudal máximo diario de 250 m³, de esta manera se proporciona una mezcla constante y una altura de impulsión para la entrada a los reactores ASBR.

El equipo de bombeo empleado consiste en una bomba sumergible para 80 GPM, trifásica (SEH-205) y diámetro de descarga de 3”.

La tubería de impulsión del sistema de bombeo, esta dotada de una válvula de nivel, a una altura de 75 cm sobre la altura de succión de la bomba, esto con el fin de evitar el deterioro del sistema de bombeo.

9.3.3 Reactores ASBR

Una vez homogenizadas las cargas y caudal a manejar en el sistema biológico, se bombea el agua a las unidades ASBR a fin de iniciar el llenado de cada una de estas.

El sistema biológico consisten en cuatro unidades en concreto, en forma de cilindro y fondo cónico, en donde se suceden las reacciones bioquímicas de conversión del material orgánico y coloidal a material sedimentable, gracias al contacto, de las sustancias degradables contenidas en el agua residual, con el material biológico que se crea al interior de cada unidad. Empleando para esto un sistema de mezclado lento.

La mezcla en el sistema se realiza a través de aspas agitadoras, fabricadas en acero inoxidable (calibre 24, gris), unidas a un eje del mismo material (tubular de 2”) y movidas por un motorreductor, de 15 HP de potencia y 10 rpm de velocidad de mezcla; este sistema esta enlazado a través de un rodamiento (SKF o KOYO N° 6218).

Cada unidad esta dotada de un sistema de extracción de gases, constituido por una red de tubería de metal galvanizado de 1,5” de diámetro; que conducen este fluido al sistema de manejo de este subproducto.

9.3.4 Pozo de lodos

Los lodos provenientes de la sedimentación ocurrida en el clarificador pasan por gravedad a un pozo o tanque en concreto, el cual permitirá enviar el exceso al sistema de deshidratación (lechos de secado); para su aprovechamiento o disposición final.

Este bombeo se realiza mediante una bomba sumergible para 12 LPS (VCX 30/50), trifásica, de doble sello y diámetro de impulsión de 2,5 de pulgadas.

El pozo de lodos tiene un rebose de seguridad en tubería de 6” de diámetro

La bomba se debe operar de acuerdo a la producción de lodos y los requisitos del sistema.

9.3.5 Digestor de lodos

El exceso de lodos generados durante el proceso tratamiento biológico son conducidos por gravedad hasta el pozo de lodos, de este son bombeados a un tanque cerrado, construido en acero, de forma cilíndrica y con fondo cónico.

Este sistema esta dotado de un agitador mecánico, que proporciona una mezcla completa y constante del lodo depositado en el.

Al igual que las unidades biológicas, este reactor está dotado de tubería para la evacuación de gases

Esta diseñado para almacenar el volumen máximo de producción de este material durante 15 días.

9.3.6 Lechos de secado de lodos

El sistema a utilizar para la deshidratación de lodos es un lecho de secado, en el cual se pretende obtener lodo fácilmente manejable y con contenidos de humedad entre el 75 al 90%.

El lodo seco se retira para su aprovechamiento o disposición final; entre tanto, el agua que percola de la deshidratación es recolecta y recirculada a cabeza de tratamiento (tanque de bombeo) y así es sometida nuevamente a tratamiento.

9.4 ESTRUCTURAS Y EQUIPOS

A continuación se presentan las fichas técnicas de cada uno de los sistemas que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de acuerdo al balance de cargas del proceso.

Tabla 20. Ficha técnica trampa de grasas

TRAMPA DE GRASAS	
Número de unidades	1
FUNCIÓN	
Retener los aceites y grasas que por sus características físicas flotan.	
CARACTERÍSTICAS	
FORMA	Rectangular
MATERIAL	Concreto de baja permeabilidad de 3000 psi.
MANTENIMIENTO	Diario - manual
DIÁMETRO DE ENTRADA	4"
DIÁMETRO DE SALIDA	4"
VÁLVULAS	
OTRAS	Dotado de by pass lateral
OBSERVACIONES	
Se debe evitar la acumulación excesiva de material flotante Esta unidad debe permanecer tapada El by pass solo se debe usar cuando sea absolutamente necesario.	
MANTENIMIENTO	
Al finalizar cada jornada de sacrificio se debe retirar manualmente el material flotante almacenado en medio de los baffles. Por lo menos una vez a la semana se deben remover los sólidos que se hallan logrado depositar en el fondo, este procedimiento requerirá que la unidad sea vaciada.	

Tabla 21. Ficha técnica Sedimentador

SEDIMENTADOR	
Número de unidades	1
FUNCIÓN	
Retener los sólidos de mayor tamaño arrastrados por el agua residual.	
CARACTERÍSTICAS	
FORMA	Rectangular
MATERIAL	Concreto de baja permeabilidad de 3000 psi.
MANTENIMIENTO	Diario - manual
DIÁMETRO DE ENTRADA	4"
DIÁMETRO DE SALIDA	4"
VÁLVULAS	
OTRAS	Dotado de by pass lateral
OBSERVACIONES	
<p>Se debe evitar la acumulación excesiva de material en el fondo Esta unidad debe permanecer tapada No debe iniciar un ciclo de operación cuando aun contiene material en el fondo El by pass solo se debe usar cuando sea absolutamente necesario.</p>	
MANTENIMIENTO	
<p>Al finalizar cada jornada de sacrificio se debe retirar por medio de la válvula del fondo los sólidos retenidos, teniendo en cuenta que no se debe exceder el tiempo de almacenamiento de estos para evitar el taponamiento de la válvula inferior.</p>	

Tabla 22. Ficha técnica tanque de bombeo

TANQUE DE BOMBEO	
Número de unidades	1
FUNCIÓN	
Homogenizar las cargas y el caudal de alimentación de los reactores biológicos.	
CARACTERÍSTICAS	
FORMA	Rectangular
MATERIAL	Concreto de baja permeabilidad de 3000 psi.
MANTENIMIENTO	Semanal - manual
DIÁMETRO DE ENTRADA	4"
DIÁMETRO DE IMPULSIÓN	3"
TIPO DE BOMBA	Sumergible 80 GPM SEH-205
NÚMERO DE BOMBAS	2
VÁLVULAS	
OBSERVACIONES	
<p>Se debe evitar la acumulación excesiva de material en el fondo Esta unidad debe permanecer tapada No debe iniciar un ciclo de operación cuando aun contiene material en el fondo Se debe contar con una unidad de bombeo (bomba) en stand by, es decir en reserva, como respaldo en el momento en que falle la que esta operando.</p>	
MANTENIMIENTO	
<p>Se debe limpiar manualmente el tanque por lo menos una vez por semana, retirando los sólidos que puedan haberse acumulado en el fondo. Se debe dar el mantenimiento sugerido por el proveedor a las bombas</p>	

Tabla 23. Ficha técnica reactores biológicos

REACTORES BIOLÓGICOS ASBR	
Número de unidades	4
FUNCIÓN	
Digerir y retener biológicamente la materia orgánica contenida en el agua residual.	
CARACTERÍSTICAS	
FORMA	Cilíndrica con fondo cónico
MATERIAL	Concreto de baja permeabilidad de 3000 psi.
MANTENIMIENTO	Mensual
DIÁMETRO DE ENTRADA	3"
DIÁMETRO DE SALIDA	3"
VÁLVULAS	3
TIPO DE MOTORREDUCTOR	15 Hp y 10 rpm
NÚMERO DE MOTORREDUCTORES	1 por unidad
DIÁMETRO DE TUBERÍA DE GAS	1 1/2"
DIÁMETRO DE TUBERÍA DE LODOS	3"
OBSERVACIONES	
<p>El llenado de las unidades debe realizarse de manera ordenada, evitando operar el sistema cuando no esta completamente lleno.</p> <p>De igual forma la evacuación del agua, una vez a cumplido el ciclo de tratamiento, se debe efectuar de manera ordenada y lentamente con el fin de evitar la evacuación de lodos.</p> <p>Se debe verificar diariamente el correcto funcionamiento de las válvulas.</p> <p>Una vez se compruebe la generación (después del periodo de arranque)de lodos en el sistema se debe programar la frecuencia de purga de estos.</p>	
MANTENIMIENTO	
<p>Por lo menos una vez a la semana se debe destapar cada unidad en la parte superior y remover manualmente el exceso de sobrenadante acumulado en el borde libre de la misma.</p> <p>Por lo menos una vez al mes se debe extraer el sistema de agitación de cada unidad, con el fin de evaluar su estado.</p> <p>Se deben revisar por lo menos cada seis meses los motores o con la frecuencia que sugiera el proveedor.</p>	

10. COSTOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

En este capitulo se muestra una lista de los precios de los materiales necesarios para la construcción del sistema de tratamiento diseñado. Los precios se obtuvieron de proveedores ubicados en la ciudad de Bogota y fueron recopilados en el mes de enero del 2006.

Tabla 24. Costos de los materiales para la construcción del sistema diseñado

MATERIALES PTAR						
Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	Vr. UNITARIO	Vr. TOTAL	PROVEEDOR
	Codo 90° 4"	Unid.	30	\$ 3.771	\$ 113.130	1
	Codo 90° 3"	Unid.	30	\$ 3.771	\$ 113.130	1
	Tée 4"	Unid.	10	\$ 4.991	\$ 49.910	1
	Tée 3"	Unid.	10	\$ 4.991	\$ 49.910	1
	Tée doble 3"	Unid.	10	\$ 12.951	\$ 129.510	1
	Yée 4"	Unid.	10	\$ 7.307	\$ 73.070	1
	Yée 3"	Unid.	10	\$ 7.307	\$ 73.070	1
	Yée doble 3"	Unid.	10	\$ 13.531	\$ 135.310	1
	Valvula mariposa 3"	Unid.	20	\$ 249.500	\$ 4.990.000	2
	Valvula mariposa 4"	Unid.	15	\$ 225.000	\$ 3.375.000	2
	Valvula de cheque 3"	Unid.	2	\$ 341.000	\$ 682.000	1
	Tuberia sanitaria 4"	6 m	50	\$ 58.200	\$ 2.910.000	1
	Tuberia sanitaria 3"	6 m	80	\$ 58.200	\$ 4.656.000	1
	Tuberia galvanizado 1 1/2"	7 m	15	\$ 52.800	\$ 792.000	1
	Acero 7mm	1,2 x 2,4	10	\$ 150.000	\$ 1.500.000	4
	Concreto 3000psi	m ³	1000	\$ 277.300	\$ 277.300.000	3
	Bomba sumergible AR 5 LPS	Unid	2	\$ 6.136.000	\$ 12.272.000	2
	Bomba para lodos	Unid.	2	\$ 1.950.000	\$ 3.900.000	2
	Sistema de agitación	Global	5	\$ 5.000.000	\$ 25.000.000	2
	Sistema de recolección de gas	Global	1	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000	
				Sub total	\$ 342.114.040	
				IVA	\$ 54.738.246	
				TOTAL	\$ 396.852.286	

- | | | |
|---|--|--------|
| 1 | ALIATUBOS Ltda | Bogotá |
| 2 | COMERCIALIZADORA AGROINDUSTRIAL DE OCCIDENTE | Bogotá |
| 3 | CEMEX | Bogotá |
| 4 | METALES Y AFINES, Mantilla, Vélez S.A | Bogotá |

De esta manera se tiene que aproximadamente para la construcción de un sistema con las especificaciones descritas en este trabajo se requiere de \$400'000.000,00.

Con el fin de complementar la información económica y darle al lector una idea general sobre los costos de operación que podría acarrear el sistema diseñado se

presenta a continuación la relación de las actividades e insumos estimados para la operación y mantenimiento del sistema planteado.

Tabla 25. Costos de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento diseñado.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CONSUMO MENSUAL	Vr. UNITARIO	Vr. TOTAL
Auxiliares de limpieza	Hombre/mes	2	\$ 430.000	\$ 860.000
Servicios de laboratorio	Global	1	\$ 300.000	\$ 300.000
Consumo de energía	kw/hora	450	\$ 1.500	\$ 675.000
Lubricantes	Global	1	\$ 6.000	\$ 6.000
TOTAL GASTO MENSUAL				\$ 1.841.000

De esta manera se encuentra que aproximadamente se requiere de \$2'000.000,00 para efectuar la operación y mantenimiento del sistema propuesto.

11. CONCLUSIONES

- o Las industrias procesadoras de carne, son una actividad económica que genera grandes impactos al medio ambiente, a través de la generación de vertimientos y residuos, que aunque por sus características fisicoquímicas no representan peligrosidad, por la cantidad en que son producidos si acarrearán perjuicios al ambiente, por la aportación de materia orgánica y nutrientes, a los cuerpos de agua y suelos en donde son dispuestos.
- o Las etapas críticas del proceso de sacrificio de ganado son principalmente los corrales, la sangría y evisceración; siendo estas en las que se produce la mayor parte de los vertimientos y donde se hace necesaria la implementación de medidas que busquen disminuir el consumo de agua y la retención de aportes excesivos de material orgánico en el agua, como consecuencia del arrastre de subproductos del sacrificio con el agua residual.
- o Todos los subproductos del sacrificio de ganado tienen un alto potencial de aprovechamiento, como materias primas para procesos alternos y productos comercializables después de ser sometidos a procesos sencillos.
- o La implementación de sistemas anaeróbicos para el tratamiento del agua residual del proceso de sacrificio de ganado, es una alternativa económica para controlar la contaminación producida en esta actividad, debido a que estos sistemas demandan pocos recursos para su operación y proporcionan remociones eficientes de contaminantes orgánicos y nutrientes.
- o En los sistemas de tratamiento de aguas residuales, por contacto de lodos, la técnica con la cual se genera el contacto entre el agua y el lodo biológico es determinante en el desarrollo del tratamiento, puesto que dependiendo de la velocidad de mezcla y el tiempo que permanecen suspendidas las partículas biológicas en el agua, se dará o no una efectiva degradación del material orgánico contaminante y se generarán flocs biológicos con el tamaño y peso suficientes para sedimentarse y así poder ser separados del agua.
- o El agua residual del proceso de sacrificio de ganado se caracteriza por presentar altas concentraciones de sólidos, producidos en el área de corrales y de procesamiento de vísceras blancas, en su gran mayoría; además esta corriente residual transporta grandes cantidades de sangre y grasas lo cual produce una alta demanda de oxígeno para ser degradada naturalmente y contiene altas concentraciones de nutrientes como fósforo, potasio y nitrógeno.
- o Los sistemas de tratamiento de aguas residuales empleando modelos anaeróbicos en reactores secuenciales o por tandas, es una nueva experiencia en el país, por lo cual no existe información sobre la implementación de sistemas con estas características en el medio colombiano.

- o El desarrollo de pruebas pilotos es una herramienta importante para la determinación de los parámetros de diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales, permite ajustar las operaciones a las condiciones ambientales, culturales y económicas propias del entorno en que se desarrollarán.
- o La temperatura y el pH, son los parámetros físicos determinantes del proceso biológico. Se encontró que el sistema opera eficientemente en temperaturas por encima de los 25° C y que los cambios bruscos de ésta desestabilizan el mismo, observando como rango óptimo de operación de 30 a 38° C; por otro lado se encontró que el pH del agua afluyente al reactor no debe ser inferior a las 6 unidades, porque de lo contrario el sistema tenderá a fermentarse y no se degradaría el material orgánico.
- o La cantidad de lodos presente al interior del reactor determina la velocidad de remoción de materia orgánica, este volumen debe ser regulado de tal forma que no exista un déficit del mismo, haciendo que el sistema tarde mas tiempo en proporcionar los niveles de calidad esperados; o si por el contrario existe una elevada concentración de lodos, se aumentará la cantidad de materia orgánica al interior del reactor, lo cual genera una disminución en la capacidad de degradación por presentarse una elevada oferta de nutrientes. A partir de los ensayos con el reactor piloto se pudo encontrar que una concentración óptima de lodo anaeróbico en un reactor con las características probadas es de 100 ml por cada litro de agua residual.
- o La alcalinidad del agua en el proceso de tratamiento se mantiene constante dentro del rango de 200 a 400 mg/L de CaCO₃, pero la producción de ácidos grasos volátiles disminuye, conforme se reduce la velocidad de mezcla, evidenciando que a velocidades, por debajo de 10 rpm, proporciona las condiciones necesarias para que se generen los procesos anaeróbicos de degradación.
- o La Demanda Química de Oxígeno es el parámetro químico, que mide de manera global, la capacidad de tratamiento que tiene un sistema anaeróbico. En promedio el sistema probado, estuvo sometido a concentraciones de este parámetro de 2854,5 mg/l de O₂. El sistema alcanzó una eficiencia máxima de remoción del 80 %, operando con un volumen de lodos de 80 ml/l y una velocidad de mezcla de 5 rpm.
- o Los niveles de Sólidos Suspendidos Totales obtenidos en el efluente de los ensayos, dependieron del volumen de lodos albergados en el reactor y de la velocidad de mezcla, encontrando que la concentración de SST al final del ciclo de tratamiento aumenta proporcionalmente con el contenido de lodos y con

velocidades de mezcla altas. Operando el sistema a 5 rpm se encontró la máxima eficiencia de remoción de este parámetro alcanzando el 79 %.

- o El sacrificio de ganado es una actividad que requiere de grandes volúmenes de agua para sus procesos. En los aforos de caudal, efectuados al matadero municipal de Acacias, se encontró que se producen consumos enormes de agua, de hasta 5 m³ por res sacrificada, haciendo que el sistema de tratamiento actual sea insuficiente. Teniendo en cuenta que para la nueva planta se deben implementar sistemas para evitar el uso excesivo de agua, se concluyó que los valores teóricos de consumo de agua por animal sacrificado, se pueden aplicar correctamente para determinar el caudal de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para el nuevo matadero. Encontrando así que el caudal de diseño para el sistema de tratamiento es de 250 m³/día.
- o El vertimiento de una planta de sacrificio esta compuesto por dos corrientes con características propias bien definidas, por lo cual es lógico proporcionar un tratamiento primario a estas dos corrientes por separado, y de esta manera contar con una corriente mezclada de fácil manejo y de características apropiadas para ser sometida al tratamiento biológico, como son los niveles bajos de sólidos y grasas.
- o A partir de los aforos y caracterizaciones efectuadas a los vertimientos del matadero municipal de Acacias se encontró que producen 13,4 kg de DQO/m³, 3,6 kg de DBO/m³ y 24,4 kg de SST/m³, por animal sacrificado.
- o Las unidades de tratamiento por cargas secuenciales permiten realizar en un mismo reactor las fases de reacción y sedimentación, lo cual es una ventaja, puesto que el sistema no requerirá de procesos posteriores al tratamiento biológico, y a demás permite prolongar o disminuir los tiempos de reacción, dependiendo de la eficiencia de remoción requerida.
- o Por tratarse de un sistema de cargas secuenciales, el ASBR requiere de un gran volumen de almacenamiento, haciendo necesario la construcción de estructuras que ocupan bastante área, convirtiéndose este un factor limitante para su aplicación.
- o Para el diseño de unidades de tratamiento, aplicando esta tecnología se deben tener en cuenta como principales parámetros el volumen de diario de agua residual generada y el tiempo de retención hidráulico de cada ciclo de tratamiento.

12. RECOMENDACIONES

- o Se recomienda a la administración del matadero de Acacias implementar medidas para la disminución en el consumo de agua y además sistemas para la recolección separada de la sangre en la etapa de sangría.
- o Los resultados de esta investigación no son incondicionales, por lo cual se recomienda desarrollar nuevas experiencias con la tecnología ASBR, con el fin de evaluarla a diferentes condiciones, ejemplo, diferente geometría de aspa agitadora, tiempos de reacción, mezcla intermitente, diferente sistema para la generación del contacto entre el lodo y el agua residual, entre otros.
- o La actividad metanogénica del lodo producido en el reactor piloto, es un parámetro que indica si en realidad el sistema anaerobio esta funcionando, aunque la evidencia de remoción de la DQO, indica la evolución del sistema biológico de degradación de materia orgánica, se recomienda para futuros ensayos la inclusión de este parámetro.
- o El sistema de agitación o mezcla es quizás el mecanismo que representa mayores costos para la construcción de un sistema con las características del ASBR, por esto se recomienda indagar más sobre los sistemas empleados para cumplir esta función.
- o Para la construcción de un sistema con estas características se recomienda realizar una evaluación económica más profunda, con el fin de determinar su rentabilidad y aplicabilidad.
- o Con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del sistema ASBR se recomienda proveer los diseños de este documento de sistemas automatizados de válvulas y registro de parámetros de control del proceso de tratamiento.
- o Los diseños del sistema de tratamiento a escala real debe complementarse con un diseño constructivo, que tengan e cuenta que las estructuras deben ser perdurables.
- o Se recomienda dotar al sistema de tratamiento a escala real, de un mecanismo para el control de temperatura. Instalando chaquetas aislantes en fibra de vidrio y acero que recubran la estructura del los reactores ASBR.

13. BIBLIOGRAFÍA

ALLEGAN, JE. E., IRVING, R. L. Nitrification in the Sequencing Batch Reactor. Journal WPCF, 52, 11, 2747 – 2754. 1980

APHA – AWWA – WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; ed,17th. American Public Health Association, Washington D.C. 1989.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL. CAR. Documento de consulta para el control ambiental por las autoridades territoriales. Bogotá. 1999

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL. CAR. Educación para la gestión ambiental. Manual Bogotá. 1999.

FAO. Manual para la operación y funcionamiento de almacenes frigoríficos de productos cárnicos. Roma. 1991.

INCONTEC. ISO 14000. Implementación de la norma NTC ISO 14001. Guía Bogotá. 1997

METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales, Volumen 1 y 2. Mc Graw Hill. España, 1998.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos puntuales. Resolución 0372. Bogotá mayo de 1998.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía práctica para la formulación de proyectos de tratamientos de aguas residuales. Nov. 2000.

MORTIMORE SARA y WALLACE CAROL. HACCP, Enfoque práctico. Zaragoza – España. 1994.

OMS - OMC – FAO. Food safety and globalization of trade in food. Ginebra – Suiza. 1998.

ROMERO R. JAIRO A. Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño. Escuela colombiana de ingeniería. Colombia, 2001.

ROMERO JAIRO. Puntos críticos. Corporación Colombiana Internacional. CCI. Bogotá. 1996.

RUIZ, I., M.C. VEIGA, P. de SANTIAGO and R. BLAZQUEZ. Treatment of slaughterhouse wastewater in a UASB reactor and an anaerobic filter. Ravenna, Italia. 1997.

SUNG, S. and R.R. DAGUE. Laboratory studies on the anaerobic sequencing batch reactor. 1995.

URIBE EDISON. Manejo de aguas residuales en plantas de beneficio de bovinos y porcinos, manejo y tratamiento. 2001.

ANEXO A. METODOLOGÍAS

RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

MATERIALES:

1 Balde toma muestras
Soga
Balde para mezcla
3 botellas de 1 l de capacidad de plástico
3 botellas de 1 l de capacidad de cristal ámbar
Embudo
Termómetro (-10 a 110° C)
Cinta indicadora de pH
Nevera
Hielo
Rótulos
Hojas de campo

PROCEDIMIENTO:

La toma de muestras para el análisis fisicoquímico de laboratorio se efectuó siguiendo las recomendaciones de la Apha 1990, de la siguiente manera:

Para la toma de muestras se desarrolló un muestreo compuesto tomando alícuotas de 1 litro cada hora en cada uno de los puntos de descarga de las tres corrientes. Cada una de estas se mezcló por separado en baldes de 12 litros de los cuales, al finalizar la jornada, se extrajeron dos muestras: una en botella de plástico y otra en botella de ámbar. La primera, para analizar DQO y SST; la segunda, para analizar DBO. Estas botellas fueron rotuladas y refrigeradas para ser entregadas al día siguiente al laboratorio de Tecnoambiental Ltda..

MÉTODO DE ANÁLISIS DE SST

Los Sólidos Suspendidos Totales de las muestras, se determinaron haciendo pasar un volumen conocido de muestra, suficientemente homogenizada y representativa, por un filtro de fibra de vidrio Whatman GF/C de 47 mm de diámetro. El filtro era previamente lavado, secado y pesado. Una vez filtrada la muestra, el filtro se introducía en una estufa a 105°C y al cabo de 24 hr el filtro se sacaba de ella y se colocaba dentro de un desecador hasta que se enfriara para ser pesado nuevamente. En Metcalf & Hedí (1991) se recomienda tener en cuenta que el diámetro mínimo de los sólidos en suspensión es de 1 µm; los poros de los filtros Whatman tienen un diámetro de 0.7 µm.

MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL



MÉTODO DE ANÁLISIS DE ALCALINIDAD

Tomar una muestra de 50 ml de agua del reactor, en un erlenmeyer de 250 ml.
Filtrar la muestra.

Agregar a la muestra 3 gotas de naranja de metilo (como indicador).

Llevar a pH de 6.5

Bajar el pH hasta que la muestra vire de amarillo a naranja, aproximadamente este cambio de color se presenta en un pH de 4.3, anote la lectura de la probeta.

Determinar el volumen gastado de pH 6.5-4.3.

De esta manera:

$$\text{Alcalinidad Total} = \frac{\text{ml } H_2SO_4 * N(H_2SO_4) * 50 \text{ eq - gr} * 1000}{\text{ml muestra}} = \text{mg / L } CaCO_3$$

Donde:

$$1 \text{ mol } CaCO_3 = \frac{100 \text{ P.M.} * 1000L}{2 \text{ equivalentes}} = 50.000$$

MÉTODO DE ANÁLISIS DE AGV

Del proceso anterior de alcalinidad, continuar titulando la muestra hasta pH 3.0 - 3.3

Calentar la muestra del erlenmeyer sobre una plancha de calentamiento y dejarla en ebullición por exactamente tres minutos.

Dejar enfriar la muestra por dos minutos

Enfriar en baño de agua fría hasta temperatura ambiente

Usar una solución de NaOH 0.02N para llevar la muestra nuevamente hasta pH de 4.3.

Completar la titulación hasta pH 6.5 anotando la lectura de la bureta. (consumo de soda de pH 4.3 hasta 6.5).

Calcular los ácidos grasos volátiles mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Acidos Volatiles} = \frac{\text{ml NaOH} * N(\text{NaOH}) * 60 \text{ eq} - \text{gr} * 1000}{\text{ml muestra}} = \text{mg / L CH}_3\text{COOH}$$

Donde:

$$1 \text{ mol CH}_3\text{COOH} = 60 \text{ P.M.} * 1000 = 60.000$$

REACTIVOS Y MATERIALES DE LABORATORIO



ANEXO B. TABLAS DE RESULTADOS DE LOS AFOROS DE CAUDAL

AFORO DE CAUDAL METODO VOLUMETRICO																		
Planta de sacrificio municipal Benjamín Reina, Acacias, Meta																		
FECHA		RESPONSABLE DEL MUESTREO						Se sacrificaron este día 24 bovinos y 7 porcinos.										
14/03/2005		JUAN SEBASTIÁN CASSANDRO																
		RESPONSABLE EN LA EMPRESA						Los siguientes datos fueron obtenidos durante todo un día incluyendo las horas en que no hay producción.										
		OSCAR REYES (Gerente COOSACRIGAN)																
VERTIMIENTO 1						VERTIMIENTO 2						Cálculo del volumen de almacenamiento						
Agua Sanguinolenta						Agua Ruminal												
VOLUMEN DE AFORO			12 L.			VOLUMEN DE AFORO			12 L.									
HORA	(s)	LPS	m3/h	m3 ACUM.	HORA	Tub 1(s)	Tub 2(s)	LPS 1	LPS 2	m3/h 1	m2/h 2	m3 1 acumulado	m3 2 acumulado	m3 acumulado total	m3/h medio	m3 acumulado	Balance	
6	6				6	6	300	0,040		0,144		0,125	0,094	0,219	4,572	4,572	-4,353	
7	7				7	7	300	0,040		0,144		0,269	0,094	0,363	4,572	9,143	-8,780	
8	8				8	8	300	0,040		0,144		0,413	0,094	0,507	4,572	13,715	-13,208	
9	9				9	9	300	0,040		0,144		0,557	0,094	0,651	4,572	18,287	-17,636	
10	10				10	10	300	0,040		0,144		0,701	0,094	0,795	4,572	22,859	-22,064	
11	11				11	11	300	0,040		0,144		0,845	0,094	0,939	4,572	27,430	-26,491	
12	12				12	12	300	0,040		0,144		0,989	0,094	1,083	4,572	32,002	-30,919	
13	13				13	13	200	0,060		0,216		1,205	0,094	1,299	4,572	36,574	-35,275	
14	14	120	0,100	0,360	14	14	200	0,060		0,216		1,421	0,094	1,875	4,572	41,145	-39,270	
15	15	120	0,100	0,360	15	15	200	0,060		0,216		1,637	0,094	2,451	4,572	45,717	-43,266	
16	16	132	0,091	0,327	16	16	200	0,060	0,100	0,216	0,360	1,853	0,454	3,354	4,572	50,289	-46,935	
17	17	10	1,200	4,320	17	17	197	50	0,061	0,240	0,219	0,864	2,072	1,318	8,758	4,572	54,861	-46,103
18	18	16	0,750	2,700	18	18	122	10	0,098	1,200	0,354	4,320	2,426	5,638	16,132	4,572	59,432	-43,301
19	19	15	0,800	2,880	19	19	19	8	0,632	1,500	2,274	5,400	4,700	11,038	26,685	4,572	64,004	-37,319
20	20	6	2,000	7,200	20	20	20	7	0,600	1,714	2,160	6,171	6,860	17,209	42,217	4,572	68,576	-26,359
21	21	7	1,714	6,171	21	21	22	7	0,545	1,714	1,964	6,171	8,824	23,381	56,523	4,572	73,147	-16,624
22	22	7	1,714	6,171	22	22	15	6	0,800	2,000	2,880	7,200	11,704	30,581	72,775	4,572	77,719	-4,944
23	23	6	2,000	7,200	23	23	11	6	1,091	2,000	3,927	7,200	15,631	37,781	91,102	4,572	82,291	8,811
24	24	8	1,500	5,400	24	24	70	63	0,171	0,190	0,617	0,686	16,248	38,467	97,805	4,572	86,863	10,942
1	1	9	1,333	4,800	1	1	150	98	0,080	0,122	0,288	0,441	16,536	38,907	103,334	4,572	91,434	11,899
2	2	7	1,714	6,171	2	2	200		0,060		0,216		16,752	38,907	109,721	4,572	96,006	13,715
3	3			54,062	3	3							16,752	38,907	109,721	4,572	100,578	9,143
4	4			54,062	4	4							16,752	38,907	109,721	4,572	105,149	4,572
5	5			54,062	5	5							16,752	38,907	109,721	4,572	109,721	0,000

VOL ACUMULADO VERTIMIENTO Nº 1	54,1	Volumen acumulado diario m3	109,7
VOL ACUMULADO VERTIMIENTO Nº 2	55,7	Caudal medio diario m3/h	4,6

Máximo	18,887
Mínimo	-43,174
Volumen Igualador m3	62,051

El vertimiento número 2 está compuesto por dos corrientes: una que proviene de los corrales y otra del área de vísceras blancas siendo identificadas dentro de la tabla con los números 1 y 2 respectivamente.

AFORO DE CAUDAL METODO VOLUMETRICO																			
Planta de sacrificio municipal Benjamín Reina, Acacias, Meta																			
FECHA		RESPONSABLE DEL MUESTREO			JUAN SEBASTIÁN CASSANDRO														
18/08/2005		Se sacrificaron este día 21 bovinos y 5 porcinos.																	
		RESPONSABLE EN LA EMPRESA			OSCAR REYES (Gerente COOSACRIGAN)														
		Los siguientes datos fueron obtenidos durante todo un día incluyendo las horas en que no hay producción.																	
VERTIMIENTO 1					VERTIMIENTO 2									Cálculo del volumen de almacenamiento					
Agua Sanguinolenta					Agua Ruminal														
VOLUMEN DE AFORO		12 l.			VOLUMEN DE AFORO		12 l.												
HORA	(s)	LPS	m3/h	m3 ACUM.	HORA	Tub 1(s)	Tub 2(s)	LPS 1	LPS 2	m3/h 1	m2/h 2	m3 1 acumulado	m3 2 acumulado	m3 acumulado total	m3/h medio	m3 acumulado	Balance		
6	6				6	6	345	0,035		0,125		0,125	0,094	0,219	3,846	3,846	-3,627		
7	7				7	7	320	0,038		0,135		0,260	0,094	0,354	3,846	7,693	-7,339		
8	8				8	8	300	0,040		0,144		0,404	0,094	0,498	3,846	11,539	-11,041		
9	9				9	9	408	0,029		0,106		0,510	0,094	0,604	3,846	15,385	-14,782		
10	10				10	10	392	0,031		0,110		0,620	0,094	0,714	3,846	19,232	-18,518		
11	11				11	11	298	0,040		0,145		0,765	0,094	0,859	3,846	23,078	-22,219		
12	12				12	12	300	0,040		0,144		0,909	0,094	1,003	3,846	26,924	-25,921		
13	13				13	13	180	0,067		0,240		1,149	0,094	1,243	3,846	30,771	-29,528		
14	14				14	14	190	0,063		0,227		1,376	0,094	1,470	3,846	34,617	-33,147		
15	15	488	0,025	0,089	0,089	15	15	203	0,059		0,213	1,589	0,094	1,772	3,846	38,464	-36,692		
16	16	183	0,066	0,236	0,325	16	16	180	100	0,067	0,120	0,240	0,432	1,829	0,526	2,680	3,846	42,310	-39,630
17	17	15	0,800	2,880	3,205	17	17	197	63	0,061	0,190	0,219	0,686	2,049	1,212	6,465	3,846	46,156	-39,691
18	18	18	0,667	2,400	5,605	18	18	122	21	0,098	0,571	0,354	2,057	2,403	3,269	11,276	3,846	50,003	-38,727
19	19	18	0,667	2,400	8,005	19	19	19	10	0,632	1,200	2,274	4,320	4,676	7,589	20,270	3,846	53,849	-33,579
20	20	10	1,200	4,320	12,325	20	20	20	8	0,600	1,500	2,160	5,400	6,836	12,989	32,150	3,846	57,695	-25,546
21	21	7	1,714	6,171	18,496	21	21	22	5	0,545	2,400	1,964	8,640	8,800	21,629	48,925	3,846	61,542	-12,617
22	22	8	1,500	5,400	23,896	22	22	15	5	0,800	2,400	2,880	8,640	11,680	30,269	65,845	3,846	65,388	0,457
23	23	6	2,000	7,200	31,096	23	23	11	9	1,091	1,333	3,927	4,800	15,607	35,069	81,772	3,846	69,234	12,538
24	24	13	0,923	3,323	34,419	24	24	9	37	1,333	0,324	4,800	1,168	20,407	36,236	91,063	3,846	73,081	17,982
1	1	75	0,160	0,576	34,995	1	1	150	112	0,080	0,107	0,288	0,386	20,695	36,622	92,312	3,846	76,927	15,385
2	2				34,995	2	2							20,695	36,622	92,312	3,846	80,773	11,539
3	3				34,995	3	3							20,695	36,622	92,312	3,846	84,620	7,693
4	4				34,995	4	4							20,695	36,622	92,312	3,846	88,466	3,846
5	5				34,995	5	5							20,695	36,622	92,312	3,846	92,312	0,000

VOL ACUMULADO VERTIMIENTO Nº 1	35,0	Volumen acumulado diario m3	92,3
VOL ACUMULADO VERTIMIENTO Nº 2	57,3	Caudal medio diario m3/h	3,8

Máximo	18,887
Mínimo	-43,174
Volumen igualado m3	62,061

El vertimiento número 2 está compuesto por dos corrientes: una que proviene de los corrales y otra del área de vísceras blancas siendo identificadas dentro de la tabla con los números 1 y 2 respectivamente.

AFORO DE CAUDAL METODO VOLUMETRICO																			
Planta de sacrificio municipal Benjamín Reina, Acacias, Meta																			
FECHA		RESPONSABLE DEL MUESTREO						Se sacrificaron este día 52 bovinos y 12 porcinos.											
11/10/2005		JUAN SEBASTIÁN CASSANDRO																	
		RESPONSABLE EN LA EMPRESA						Los siguientes datos fueron obtenidos durante todo un día incluyendo las horas en que hay producción y en las que no.											
		OSCAR REYES (Gerente COOSACRIGAN)																	
VERTIMIENTO 1					VERTIMIENTO 2								Cálculo del volumen de almacenamiento						
Agua Sanguiolenta					Agua Ruminal														
VOLUMEN DE AFORO					12 l.		VOLUMEN DE AFORO		12 l.										
HORA	(s)	LPS	m3/h	m3 ACUM.	HORA	Tub 1 (s)	Tub 2 (s)	LPS 1	LPS 2	m3/h 1	m2/h 2	m3 1 acumulado	m3 2 acumulado	m3 acumulado total	m3/h medio	m3 acumulado	Balance		
6	6				6	6	333			0,036		0,130		0,094	0,219	6,222	6,222	-6,003	
7	7				7	7	320			0,038		0,135		0,094	0,354	6,222	12,443	-12,089	
8	8				8	8	350			0,034		0,123		0,094	0,477	6,222	18,665	-18,188	
9	9				9	9	299			0,040		0,144		0,094	0,622	6,222	24,887	-24,265	
10	10				10	10	300			0,040		0,144		0,094	0,766	6,222	31,108	-30,342	
11	11				11	11	310			0,039		0,139		0,094	0,905	6,222	37,330	-36,425	
12	12				12	12	325			0,037		0,133		0,094	1,038	6,222	43,552	-42,513	
13	13				13	13	210			0,057		0,206		0,094	1,244	6,222	49,773	-48,529	
14	14	158	0,076	0,273	0,273	14	14	200		0,060		0,216		0,094	1,733	6,222	55,995	-54,262	
15	15	173	0,069	0,250	0,523	15	15	255		0,047		0,169		0,094	2,152	6,222	62,217	-60,064	
16	16	132	0,091	0,327	0,850	16	16	236	98	0,051	0,122	0,183	0,44082	1,718	0,535	3,104	6,222	68,438	-65,335
17	17	8	1,500	5,400	6,250	17	17	199	85	0,060	0,141	0,217	0,50824	1,935	1,043	9,229	6,222	74,660	-65,431
18	18	7	1,714	6,171	12,422	18	18	230	79	0,052	0,171	0,188	0,617	2,123	1,660	16,205	6,222	80,881	-64,676
19	19	8	1,500	5,400	17,822	19	19	150	5	0,080	2,400	0,288	8,640	2,411	10,300	30,533	6,222	87,103	-56,570
20	20	5	2,400	8,640	26,462	20	20	100	5	0,120	2,400	0,432	8,640	2,843	18,940	48,245	6,222	93,325	-45,079
21	21	7	1,714	6,171	32,633	21	21	112	2	0,107	6,000	0,386	21,600	3,229	40,540	76,402	6,222	99,546	-23,144
22	22	6	2,000	7,200	39,833	22	22	236	3	0,051	4,000	0,183	14,400	3,412	54,940	98,185	6,222	105,768	-7,583
23	23	5	2,400	8,640	48,473	23	23	100	3	0,120	4,000	0,432	14,400	3,844	69,340	121,657	6,222	111,990	9,668
24	24	5	2,400	8,640	57,113	24	24	85	28	0,141	0,429	0,598	1,543	4,352	70,883	132,349	6,222	118,211	14,137
1	1	5	2,400	8,640	65,753	1	1	125	55	0,096	0,218	0,346	0,785	4,698	71,669	142,120	6,222	124,433	17,687
2	2	6	2,000	7,200	72,953	2	2							4,698	71,669	149,320	6,222	130,655	18,665
3	3				72,953	3	3							4,698	71,669	149,320	6,222	136,876	12,443
4	4				72,953	4	4							4,698	71,669	149,320	6,222	143,098	6,222
5	5				72,953	5	5							4,698	71,669	149,320	6,222	149,320	0,000

VOL ACUMULADO VERTIMIENTO Nº 1	73,0	Volumen acumulado diario m3	149,3
VOL ACUMULADO VERTIMIENTO Nº 2	76,4	Caudal medio diario m3/h	6,2

Máximo	18,887
Mínimo	-43,174
Volumen Igualación m3	62,061

El vertimiento número 2 está compuesto por dos corrientes: una que proviene de los corrales y otra del área de visceras blancas siendo identificadas dentro de la tabla con los números 1 y 2 respectivamente.

ANEXO C. TABLAS DE RESULTADOS DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS

MEZCLA A 50 RPM																							
MES	SEMANA	DÍA	hr. S.	hr. E.	t. Mz.	PARÁMETROS DE SALIDA								PARÁMETROS DE ENTRADA									
						T° Amb.	T° Mtr.	pH	V30	DOO	SST	Alca	AGV	AGV / Alca	T° Amb.	T° Mtr.	pH	DOO	SST	Alca	AGV		
JULIO	1	5		10																			
		6	18	21	32	24	24	7,0							24	23	7,0						
		7	9	10	12	33	28	7,5							28	28	7,0						
		8	9	10	23	27	24	8,0							27	24	7,0						
		9	10	11	24	32	25	7,0							30	28	6,0						
	10																						
	2	11	18	19	55	27	29	7,0							24	27	6,5						
		12	9	11	14	28	27	6,5							30	28	7,0						
		13	18	21	31	24	28	6,5							25	24	7,0						
		14	10	11	13	27	25	6,0							29	27	6,5						
		15																					
	16																						
	17																						
	3	18	19	21	178	27	29	6,0							24	25	7,0	2041,0	350,0				
		19	10	11	13	26	30	6,0		3010,0	352,0				28	27	6,0						
		20																					
		21	19	20	58	26	25	6,5							24	27	7,0						
		22	18	19	22	24	31	6,5							20	23	6,5						
	23	10	11	15	26	28	6,0							24	22	7,0							
	24																						
	25																						
	4	26	20	21	69	24	32	6,5	20						25	24	7,0						
		27	18	20	21	25	33	6,5	20						30	28	6,0						
		28																					
		29	10	12	38	29	29	6,5	20						30	28	7,0						
		30																					
	31																						

MEZCLA A 50 RPM																						
MES	SEMANA	DÍA	hr. S.	hr. E.	t. Mz.	PARÁMETROS DE SALIDA								PARÁMETROS DE ENTRADA								
						T° Amb	T° Mtr	pH	V30'	DOO	SST	Alca.	AGV	AGV / Alca.	T° Amb	T° Mtr	pH	DOO	SST	Alca.	AGV	
AGOSTO	5	1	18	19	78	24	25	7	40			710,0	993	1,40	24	22	6,5					
		2	19	21	24	24	28	6,5	60			657,0	898	1,37	25	24	7					
		3																				
		4	20	21	47	28	33	6,5	20			662,0	863	1,33	24	27	7					
		5																				
		6	19	20	46	24	32	7	20			678,0	875	1,29	24	27	7					
		7																				
	6	8																				
		9	19	20	71	20	29	6,5	40			781,0	790	1,02	20	2	6,5					
		10	11	13	15	27	30	6,5	40			703,0	690	0,88	26	23	6,5					
		11																				
		12																				
		13	18	19	77	23	27	6	60			802,0	934	1,05	23	21	7					
		14																				
	7	15																				
		16																				
		17	19	20	96	22	25	6	60			947,0	899	0,95	21	20	7					
		18	8	10	12	33	35	6,5	20			564,0	432	0,77	34	25	6,5					
		19	20	21	34	21	31	6,5	20			605,0	390	0,66	20	23	6,5					
		20																				
		21																				
	8	22																				
		23	19	20	94	19	27	6	40			873,0	754	0,86	19	21	7					
		24	11	13	15	27	25	6,5	40			630,0	498	0,79	31	26	6,5					
		25	18	19	29	20	28	6,5	60			541,0	330	0,63	18	21	7					
		26																				
		27																				
		28																				
	9	29	18	20	95	24	26	6,5	60			657,0	898	1,37	25	24	7					
		30	10	11	14	33	30	6,5	60			564,0	432	0,77	34	25	6,5					
		31																				

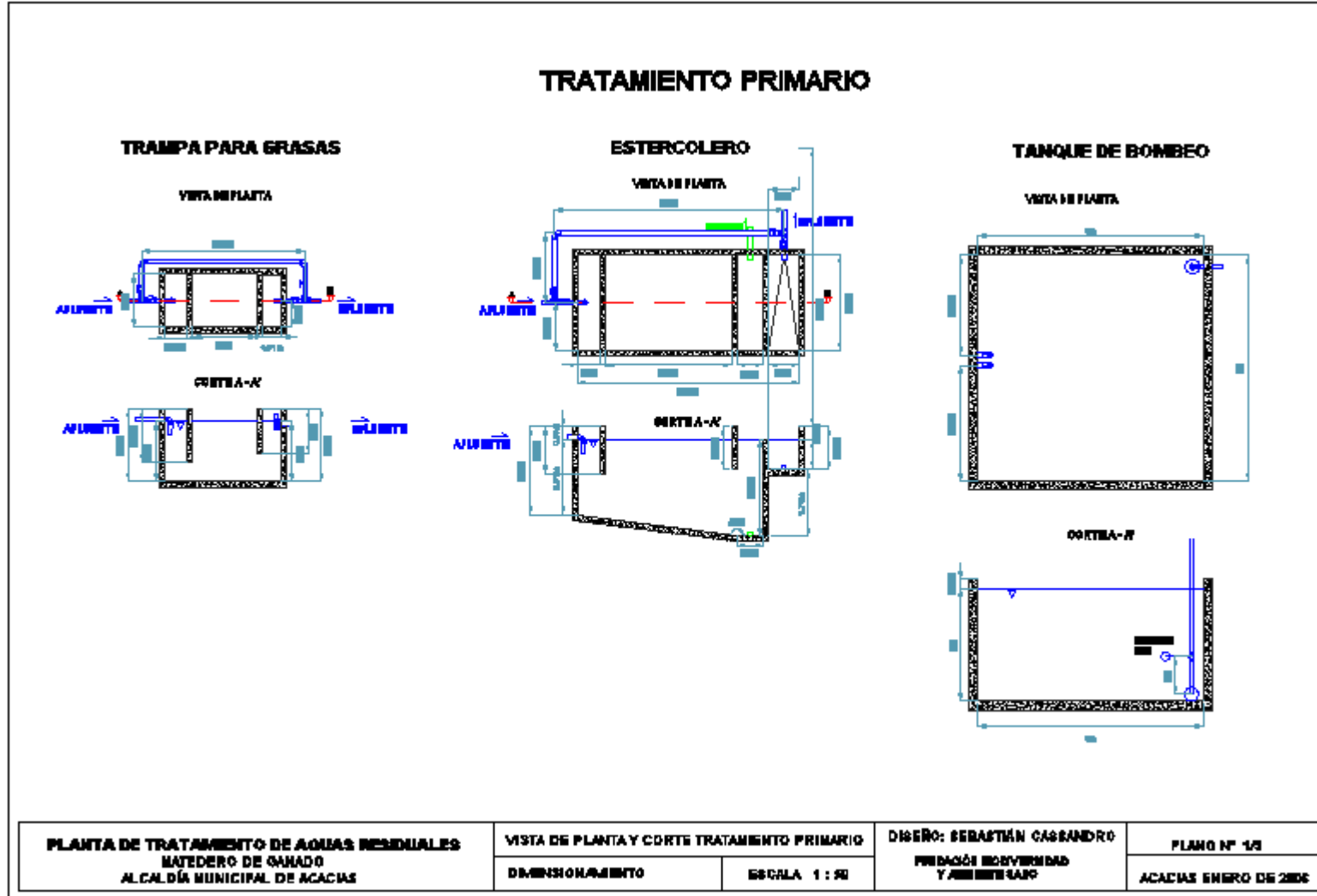
MEZCLA A 50 RPM																							
MES	SEMANA	DÍA	hr. S.	hr. E.	t. Mz.	PARAMETROS DE SALIDA								PARAMETROS DE ENTRADA									
						T° Amb	T° Mtr	pH	V30	DQO	SST	Alca.	AGV	AGV / Alca.	T° Amb	T° Mtr	pH	DQO	SST	Alca.	AGV		
AGOSTO	5	1	18	19	78	24	25	7	40			710,0	993	1,40	24	22	6,5						
		2	19	21	24	24	26	6,5	60			657,0	898	1,37	25	24	7						
		3																					
		4	20	21	47	26	33	6,5	20			662,0	883	1,33	24	27	7						
		5																					
		6	19	20	46	24	32	7	20			678,0	875	1,29	24	27	7						
		7																					
	6	8																					
		9	19	20	71	20	29	6,5	40			781,0	799	1,02	20	2	6,5						
		10	11	13	15	27	30	6,5	40			793,0	699	0,88	26	23	6,5						
		11																					
		12																					
		13	18	19	77	23	27	6	60			892,0	934	1,05	23	21	7						
	7	14																					
		15																					
		16																					
		17	19	20	96	22	25	6	60			947,0	899	0,95	21	20	7						
		18	8	10	12	33	35	6,5	20			564,0	432	0,77	34	25	6,5						
		19	20	21	34	21	31	6,5	20			605,0	399	0,66	20	23	6,5						
	8	20																					
		21																					
		22																					
		23	19	20	94	19	27	6	40			873,0	754	0,86	19	21	7						
		24	11	13	15	27	25	6,5	40			630,0	498	0,79	31	26	6,5						
		25	18	19	29	20	28	6,5	60			541,0	339	0,63	18	21	7						
	9	26																					
		27																					
		28																					
		29	18	20	95	24	26	6,5	60			657,0	898	1,37	25	24	7						
		30	10	11	14	33	30	6,5	60			564,0	432	0,77	34	25	6,5						
		31																					

MEZCLA A 50 RPM																							
MES	SEMANA	DÍA	hr. S.	hr. E.	t. Mz.	PARAMETROS DE SALIDA							PARAMETROS DE ENTRADA										
						T° Amb	T° Mtr	pH	V30	DQO	SST	Alca.	AGV	AGV / Alca.	T° Amb	T° Mtr	pH	DQO	SST	Alca.	AGV		
SEPTIEMBRE	9	1																					
		2	19	20	80	23	29	6,5	80			192,0	214,8	1,12	20	23	7				343,5		
		3	9	11	13	31	34	7	80			241,0	201,5	0,84	34	26	6					297,2	
		4	19	21	32	24	30	7	80			309,5	207,6	0,67	21	22	6,5					355,0	
	10	5																					
		6	20	21	47	22	26	6	80			196,3	208,0	1,06	19	18	7					412,8	
		7	8	10	11	32	35	6,5	80			225,3	108,3	0,48	34	27	6,5	2602,0	301,2			360,0	215,0
		8	11	13	25	30	31	6,5	80	2027,5	230,0	238,1	166,2	0,40	32	27	6,5					384,0	
		9	19	20	30	18	28	6,5	20			472,6	215,4	0,46	18	19	7					360,0	
		10	9	10	13	29	31	6,5	20			398,4	165,2	0,41	31	26	6,5						355,2
		11																					
	11	12																					
		13	19	20	81	19	29	6	40			406,7	339,5	0,83	17	20	7	2735,0	313,5			357,2	
		14	8	9	12	28	27	6,5	40	1755,3	200,5	513,2	228,0	0,44	30	25	6,5					410,2	
		15	17	20	32	20	32	6,5	40			602,3	230,8	0,38	16	19	7					415,1	
		16																					
		17																					
	12	18																					
		19																					
		20	19	20	119	18	20	5,5	40			852,0	963,1	1,13	17	19	7	3002,5	297,0			392,7	
		21	20	21	24	18	28	6,5	60	1097,0	209,3	244,5	116,5	0,48	18	20	7	2857,0	235,1			415,0	
		22	9	11	12	33	27	6,5	80	978,2	199,5	367,5	164,0	0,45	32	26	6,5					293,0	
		23																					
		24																					
	13	25																					
		26																					
		27	20	22	129	20	25	6	40			936,0	627,0	0,67	18	21	6,5	2907,5	295,2			352,1	
		28	9	10	11	29	32	6,5	60	965,8	206,9	697,0	308,0	0,44	31	27	6,5					402,0	
		29																					
		30																					

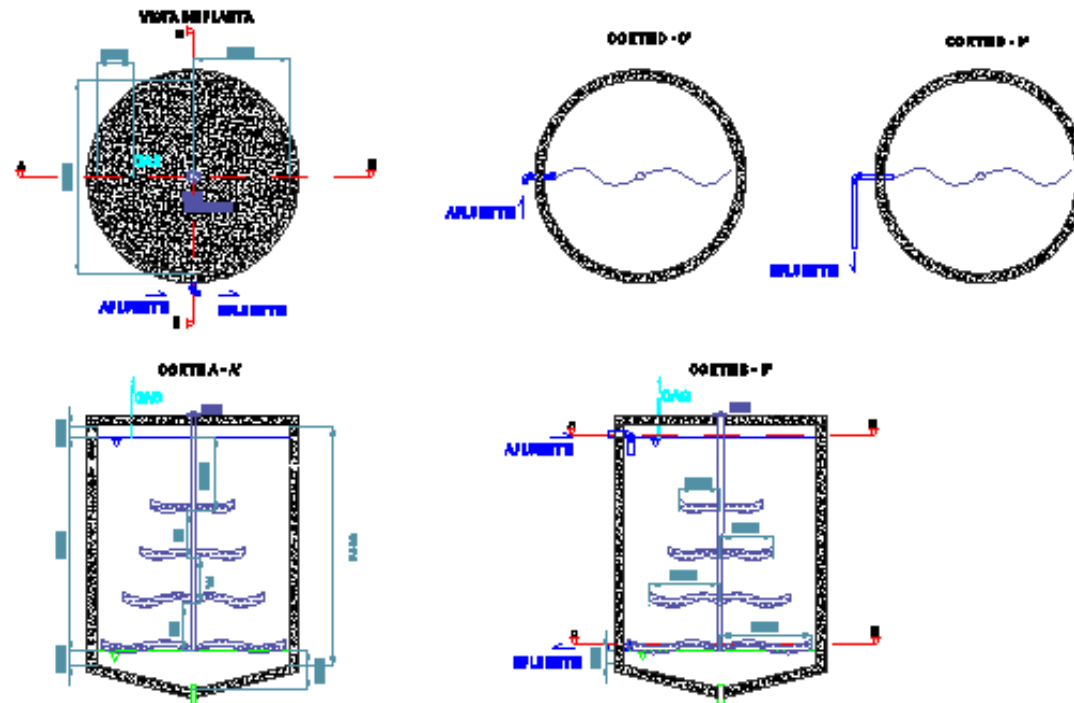
MEZCLA A10 RPM																						
MES	SEMANA	DÍA	hr. S.	hr. E.	t. Mz.	PARAMETROS DE SALIDA								PARAMETROS DE ENTRADA								
						T° Amb	T° Mtr	pH	V30	DQO	SST	Alca.	AGV	AGV / Alca.	T° Amb	T° Mtr	pH	DQO	SST	Alca.	AGV	
OCTUBRE	13	1																				
		2																				
	14	3	19	20	129	18	16	6	40				328,3	298,7	0,91	18	16	6,5				
		4	10	11	14	27	34	6,5	40				297,5	261,8	0,88	27	34	7				
		5	18	20	31	19	33	6,5	60				274,8	206,1	0,75	19	33	7				
		6	19	21	23	20	35	6,5	60				367,4	187,3	0,51	20	35	6,5	2567,1	257,2		
		7	19	20	22	21	35	6,5	80	1301,0	143,3	408,3	187,8	0,46	21	35	6,5	2709,6	315,7			
		8	18	19	22	24	37	6,5	80	832,4	79,6	295,6	115,3	0,39	24	37	7					
		9																				
	15	10	19	20	48	23	35	6,5	100				257,1	203,1	0,79	23	35	6,5				
		11	19	20	23	20	34	6,5	100				281,6	174,6	0,62	20	34	6,5	2903,1	298,0		
		12	19	20	23	21	36	6,5	100	783,0	106,2	292,7	137,5	0,47	21	36	7	3010,0	275,2			
		13	19	20	23	19	36	6,5	120	675,0	86	328,3	134,6	0,41	19	36	6,5					
		14																				
		15																				
		16																				
	16	17																				
		18																				
		19	18	19	142	25	37	6	120				408,3	330,7	0,81	25	37	7				
		20	18	9	23	31	38	6,5	40				326,5	163,2	0,50	31	38	7				
		21	19	20	34	22	36	6,5	40				299,8	122,9	0,41	22	36	6,5	2813,0	287,6		
		22	9	10	13	28	36	6,5	60	795,0	144,7	313,7	122,3	0,39	28	36	7	2891,6	286,1			
	17	23	20	21	34	19	35	6,5	60	1012,0	100,8	341,3	133,1	0,39	19	35	6,5	2392,4	283,0			
		24	10	11	13	33	38	6,5	80	875,0	102,1	410,1	233,7	0,27	33	38	7					
		25																				
		26																				
		27																				
		28																				
		29																				
	18	30																				
		31																				

MEZCLA A 5 RPM																										
MES	SEMANA	DÍA	hr. S.	hr. E.	t. Mz.	PARAMETROS DE SALIDA								PARAMETROS DE ENTRADA												
						T° Amb	T° Mtr	pH	v30	DQO	SST	Alca.	AGV	AGV / Alca.	T° Amb	T° Mtr	pH	DQO	SST	Alca.	AGV					
NOVIEMBRE	18	1																								
		2		10	205																					
		3	19	20	33		24	30	7,5	60			410,1	176,3	0,43	24	23	7								
		4	9	11	13		23	34	6,5	60			313,7	160,0	0,51	30	26	7								
		5	19	21	32		20	37	6,5	60			408,3	200,1	0,49	25	24	6,5								
		6																								
	19	7	20	21	47		22	28	6	60			281,6	112,6	0,40	29	27	7	2990,0	316,8						
		8	8	10	11		32	35	6,5	80	615,3	81,2	326,5	120,8	0,37	24	27	6,5	3002,3	331,4						
		9	11	13	25		30	33	6,5	80	987,5	66,7	292,7	102,4	0,35	25	24	6,5	2889,0	297						
		10	19	20	30		18	35	6,5	100	652	74	328,3	121,5	0,37	24	25	6,5								
		11	9	10	13		29	31	6,5	120			295,6	85,7	0,29	28	27	7								
		12																								
		13																								
	20	14	19	20	81		19	29	6	120			274,8	140,1	0,51	20	23	6,5	2305,0	303,9						
		15	8	9	12		28	32	6,5	120	735,2	78,3	297,5	125,0	0,42	24	22	6,5	2942,1	241,7						
		16	17	20	32		20	32	6,5	80	663,1	71,5	367,4	121,2	0,33	25	24	7	3021,0	207,2						
		17	19	20	23		29	29	6	80	602,3	89	328,3	98,5	0,30	30	26	7	2974,2	315,8						
		18	9	10	13		32	32	6,5	80	593,6	63,6	257,1	105,4	0,41			6,5								
		19																								
		20																								
	21	21	19	20	81		18	29	6	100			408,3	253,1	0,62	30	28	6,5	2691,0	309,6						
		22	20	21	24		18	31	6,5	120	719,1	80,5	299,8	122,9	0,41	24	22	6,5	2438,2	297,1						
		23	9	11	12		33	37	6,5	120	644	77,3	341,3	136,5	0,40	30	26	6,5	2914,1	343						
		24	19	20	32		31	34	7	120	596,6	74,7	383,1	122,6	0,32	24	27	6,5	2201,3	287,1						
		25	9	10	13		24	30	6,5	120	578	80,1	255,7	71,6	0,28	24	25	7								
		26																								
		27																								

ANEXO D. PLANOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DISEÑADO



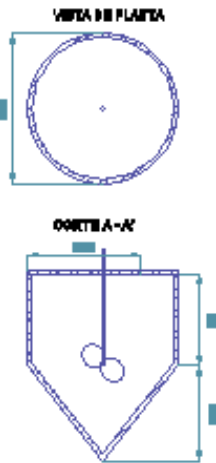
REACTOR ANAEROBICO DE CARGAS SECUENCIALES



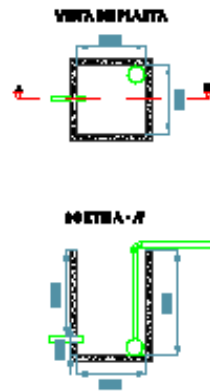
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MATADERO DE CAHAGO ALCALDÍA MUNICIPAL DE ACACIAS	VISTA DE PLANTA Y CORTE TRATAMIENTO BIOLÓGICO		DISÑO: SEBASTIÁN CASANDRO PERIODO DE VERIFICACIÓN Y ASESORÍA	PLANO N° 25 ACACIAS ENERO DE 2008
	DIMENSIONAMIENTO	ESCALA 1:50		

TRATAMIENTO DE LODOS

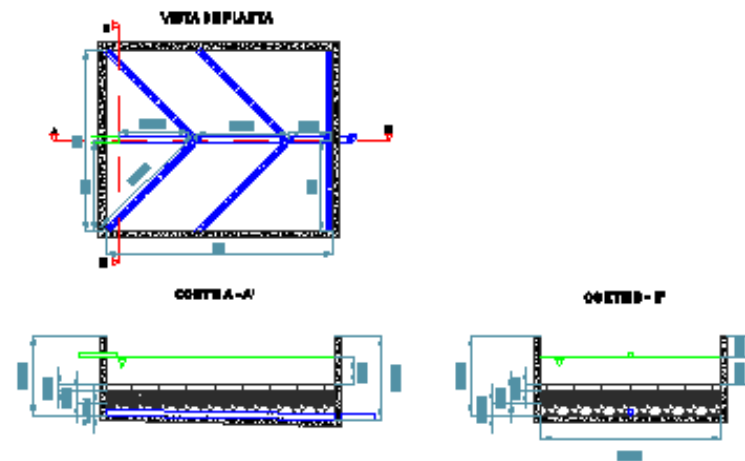
DIGESTOR DE LODOS



POZO DE BOMBEO DE LODOS



LECHO DE SECADO



PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
MATEIGRO DE SANAGO
ALCALDÍA MUNICIPAL DE ACACIAS

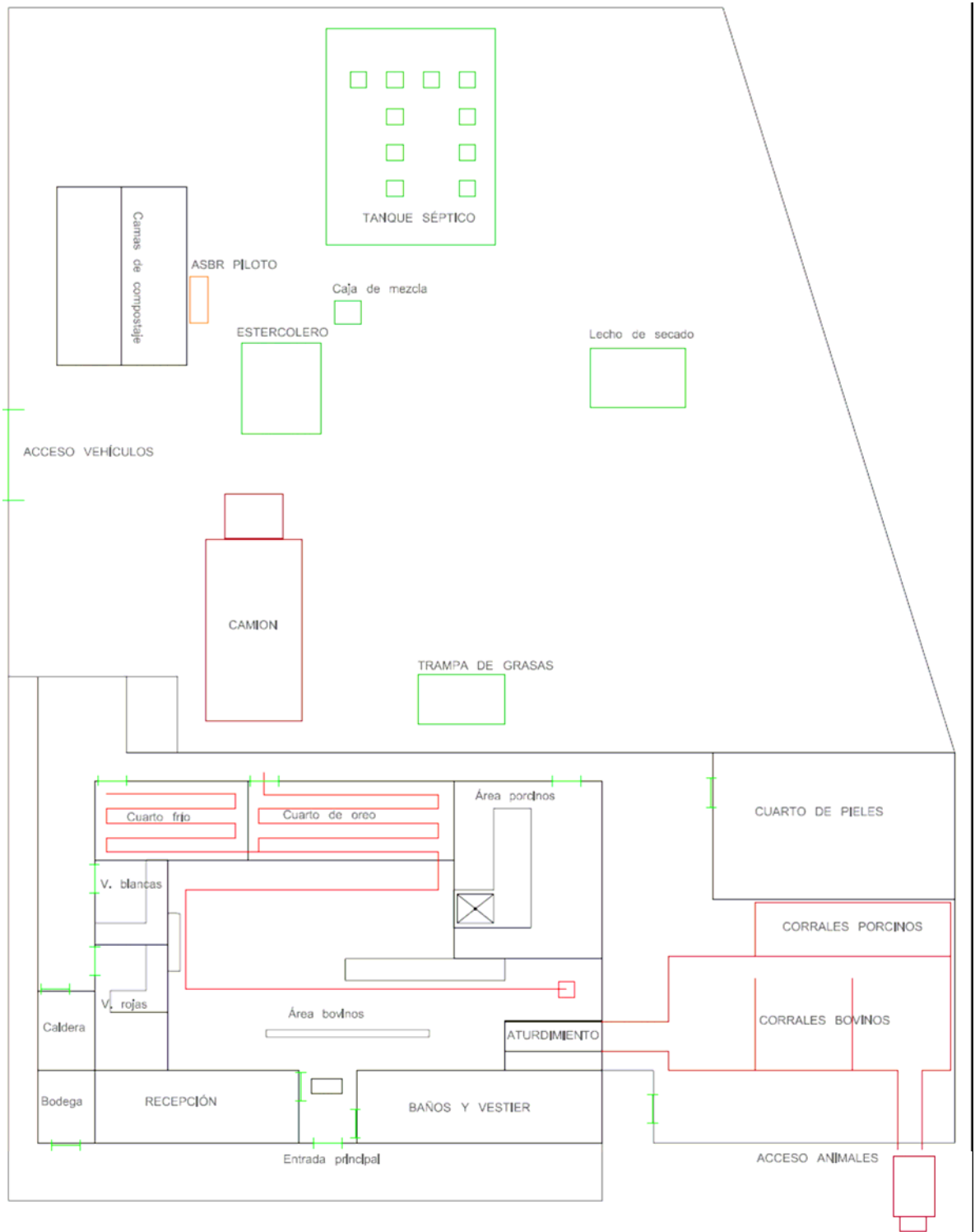
VISTA DE PLANTA Y CORTE TRATAMIENTO PRIMARIO
DIMENSIONAMIENTO

ESCALA 1 : 50

DISEÑO: SEBASTIÁN CARRANDRO
PRELACIÓN MOVIMIENTOS
Y AMBIENTE LAGO

PLANO N° 3/5
ACACIAS ENERO DE 2006

ANEXO E. PLANTA GENERAL DEL MATADERO DE ACACIAS Y UBICACIÓN DEL ASBR PILOTO



ANEXO F. ANÁLISIS DE LABORATORIO