

**EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO PARA  
EL EFLUENTE DEL MATADERO DE EL TAMBO – CAUCA**

**GLORIA LILIANA ROJAS FERNÁNDEZ  
LINA ROCIO DEL PILAR BOLAÑOS TOVAR**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
2008**

**EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO PARA  
EL EFLUENTE DEL MATADERO DE EL TAMBO – CAUCA**

**GLORIA LILIANA ROJAS FERNÁNDEZ  
LINA ROCIO DEL PILAR BOLAÑOS TOVAR**

**Trabajo de Grado  
Para optar el título de Ingeniero Ambiental**

**Director  
GUILLERMO CHAUX FIGUEROA  
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
2008**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

**Director: Ing. Guillermo Chaux Figueroa**

---

**Jurado 1**

---

**Jurado 2**

*A Dios le adeudo mi gratitud por haberme dado la sabiduría y fortaleza necesaria para culminar con éxito mis estudios, por haber puesto en mi camino a mis padres, a mi tía Blanca E., a mi hermana, a César, a mis abuelos, familiares y amigos, quienes no solo fueron un ejemplo de vida, sino que desde un principio fueron mi aliciente y mi apoyo incondicional.*

**Gloria Liliana Rojas Fernández**

*Infinitas gracias doy a Dios y a mis padres por la maravillosa vida que me han dado, llena de grandes oportunidades para superarme; asimismo agradezco a mis hermanos y amigos por su confianza, a Edwin por su constante apoyo y finalmente a mis profesores y demás personas que de alguna forma contribuyeron para hacer este sueño realidad.*

**Lina Rocío del Pilar Bolaños Tovar**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por regalarnos a diario la fuerza necesaria para poder terminar exitosamente nuestros estudios.

A nuestros padres, hermanos y familiares por sus esfuerzos y sacrificios para brindarnos su ayuda y apoyo incondicional.

A nuestro director Ing. Guillermo Chaux Figueroa por su orientación y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Al Municipio de El Tambo (Cauca), por facilitarnos los medios necesarios para llevar a cabo el estudio al interior de una de sus dependencias.

A Raúl Sanclemente, por su colaboración y por abrirnos las puertas del matadero municipal para la realización de este trabajo.

A Blanca Eugenia Rojas y María Eugenia Correa funcionarios de la Alcaldía municipal de El Tambo, por su desinteresada colaboración y apoyo durante la ejecución del proyecto.

Al Laboratorio de Análisis Industriales de la Universidad del Cauca, por permitir el desarrollo de los análisis fisicoquímicos, determinantes para este trabajo.

Al Departamento de Ingeniería ambiental y sanitaria, por facilitarnos las herramientas materiales y humanas necesarias para desarrollar nuestro proyecto.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	18
1. JUSTIFICACIÓN	20
2. OBJETIVOS	22
2.1. OBJETIVO GENERAL	22
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3. MARCO TEÓRICO	23
3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA INDUSTRIA MATARIFE	24
3.2. CONTAMINANTES QUE SE GENERAN EN MATADEROS	26
3.3. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS	26
3.3.1. Tratamiento biológico de efluentes	26
3.3.1.1. Proceso anaerobio	27
3.3.1.2. Consideraciones ambientales para tratamiento anaerobio	30
3.3.2. Producción más limpia	31

4. METODOLOGÍA	34
4.1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL ESTUDIO	34
4.1.1. Proceso de sacrificio de reses	38
4.1.2. Proceso de sacrificio de cerdos	43
4.2. DESARROLLO DEL OBJETIVO 1	44
4.2.1. Inspección sanitaria	44
4.2.2. Seguimiento de la calidad fisicoquímica del efluente	45
4.2.3. Aforos de caudal	46
4.2.4. Selección de alternativas de tratamiento biológico	47
4.3. DESARROLLO DEL OBJETIVO 2	47
4.3.1. Identificación y evaluación de la cantidad de subproductos para la implementación de procesos de producción más limpia	47
4.3.2. Selección de procesos de producción más limpia	47
5. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	48
5.1. INSPECCIÓN SANITARIA	48
5.2. AFOROS DE CAUDAL	49

5.3.	ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL EFLUENTE DEL MATADERO	50
5.3.1.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)	51
5.3.2.	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	53
5.3.3.	Nitrógeno Total	54
5.3.4.	Fósforo Total	55
5.3.5.	Aceites y grasas	56
5.3.6.	pH	57
5.3.7.	Temperatura	59
6.	POSIBLES ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO PARA EL EFLUENTE	61
6.1.	TRATAMIENTO PRELIMINAR	62
6.1.1.	Tamizado grueso	62
6.1.2.	Trampa de grasas	63
6.1.3.	Tamizado fino	64
6.1.4.	Homogeneización de caudales	64



6.2.	ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO 1	65
6.2.1.	Reactor anaeróbico de manto de lodos y flujo ascendente (UASB)	66
6.2.2.	Filtro percolador o biofiltro	68
6.3.	ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO 2: REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)	70
7.	PROCESOS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA	72
7.1.	APROVECHAMIENTO DEL RECURSO AGUA	73
7.2.	APROVECHAMIENTO DE SANGRE	74
7.3.	APROVECHAMIENTO DE RUMEN Y ESTIÉRCOL	76
7.4.	PROCESOS INTEGRALES DE PML	77
7.5.	PROCESOS COMPLEMENTARIOS DE SALUD OCUPACIONAL	80
8.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS SELECCIONADOS	83
8.1.	TRATAMIENTO PRELIMINAR	83
8.1.1.	Rejas de desbaste	83
8.1.2.	Trampa de grasas	84
8.1.3.	Tamices	88

8.1.4. Tanque de homogeneización	88
8.2. ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO 1	92
8.2.1. UASB	92
8.2.2. Filtro percolador o biofiltro	97
8.3. ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO 2: FAFA	99
9. CONCLUSIONES	103
RECOMENDACIONES	104
BIBLIOGRAFÍA	105
ANEXOS	109
VALORES DE LOS DIFERENTES PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS	109
METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS	113
VALORES DE AFORO DE CAUDAL EN CADA UNA DE LAS FECHAS DE MUESTREO	114
DIMENSIONAMIENTO Y ANÁLISIS HIDRAÚLICO DE LAS REJAS DE DESBASTE	114
DIMENSIONAMIENTO Y ANÁLISIS HIDRAÚLICO DEL UASB	120

DIMENSIONAMIENTO Y ANÁLISIS HIDRAÚLICO DEL FILTRO PERCOLADOR	125
DIMENSIONAMIENTO Y ANÁLISIS HIDRAÚLICO DEL FAFA	126

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Concentración promedio de contaminantes en efluentes de faena	26
Tabla 2. Condiciones óptimas para el proceso anaerobio	31
Tabla 3. Número promedio de reses y cerdos sacrificados por semana	35
Tabla 4. Jornadas de inspección sanitaria	45
Tabla 5. Parámetros de medición para caracterización del efluente del matadero	46
Tabla 6. Volumen total de agua gastado en el matadero municipal	48
Tabla 7. Volumen promedio de sangre y rumen recolectados	49
Tabla 8. Caudal horario promedio en el matadero municipal por jornada de sacrificio	50
Tabla 9. Estadística descriptiva de los parámetros fisicoquímicos del efluente del matadero	51
Tabla 10. Factor de biodegradabilidad durante el periodo de muestreo	53
Tabla 11. Caudal horario promedio en el matadero municipal por jornada de sacrificio aplicando procesos de PML	61
Tabla 12. Características de rejillas de barras	62
Tabla 13. Características de tamices finos	64
Tabla 14. Características de diseño del proceso UASB	67
Tabla 15. Cargas orgánicas aplicables en relación con la temperatura operacional	68
Tabla 16. Características principales de los filtros percoladores	69

Tabla 17. Características del aprovechamiento de sangre	76
Tabla 18. Características del proceso de compostaje	78
Tabla 19. Condiciones ideales para el desarrollo del proceso de compostaje.	79
Tabla 20. Precios de desechos de matadero y productos obtenidos	80
Tabla 21. Caudal horario promedio de diseño aplicando procesos de PML	83
Tabla 22. Caudal y volumen horario para determinar el volumen del tanque homogeneizador	89

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Residuos de Biomasa Unitarios por tecnología	24
Figura 2. Diagrama elemental del proceso anaerobio	27
Figura 3. Formación de metano en la digestión anaerobia.	28
Figura 4. Ubicación geográfica del municipio de El Tambo (Cauca)	34
Figura 5. Ubicación geográfica del matadero de El Tambo (Cauca)	35
Figura 6. Matadero del municipio de El Tambo – Cauca con su respectiva distribución	36
Figura 7. Flujo de proceso en el matadero de El Tambo – Cauca	37
Figura 8. Variación de DBO durante el periodo de muestreo	52
Figura 9. Variación de DQO durante el periodo de muestreo	52
Figura 10. Variación de SST durante el periodo de muestreo	54
Figura 11. Variación de nitrógeno total durante el periodo de muestreo	55
Figura 12. Variación de fósforo durante el periodo de muestreo	56
Figura 13. Variación de grasas y aceites durante el periodo de muestreo	57
Figura 14. Variación de pH durante el periodo de muestreo	58
Figura 15. Variación de pH en un intervalo de dos horas	58
Figura 16. Variación de temperatura durante el periodo de muestreo	60
Figura 17. Rejas de desbaste	85
Figura 18. Corte longitudinal de la trampa de grasas	86

Figura 19. Planta longitudinal de la trampa de grasas	87
Figura 20. Vista superior de la trampa de grasas	87
Figura 21. Tamiz Hidranet	88
Figura 22. Corte longitudinal del tanque homogeneizador	90
Figura 23. Planta de fondo del tanque homogeneizador	91
Figura 24. Corte longitudinal del reactor UASB	94
Figura 25. Corte transversal del reactor UASB	95
Figura 26. Planta de fondo del reactor UASB	96
Figura 27. Detalle del medio de soporte del filtro percolador	97
Figura 28. Vista en planta del filtro percolador	98
Figura 29. Corte transversal del filtro percolador	99
Figura 30. Corte longitudinal del FAFA	101
Figura 31. Planta inferior del FAFA	102

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	<b>Pág.</b>
Fotografía 1. Estructura de recepción de ganado	38
Fotografía 2. Corrales	39
Fotografía 3. Salón de matanza de reses	39
Fotografía 4. Aturdimiento y degüelle del ganado	40
Fotografía 5. Disposición de patas en el matadero	40
Fotografía 6. Desollado del ganado	41
Fotografía 7. Proceso de evisceración durante el sacrificio	41
Fotografía 8. Cercenamiento del ganado	42
Fotografía 9. Lavado del salón de sacrificio y restos del ganado	43
Fotografía 10. Socarrado de cerdos	44
Fotografía 11. Evisceración y lavado durante el sacrificio de cerdos	44



## LISTA DE ACRÓNIMOS

pH: Potencial de Hidrógeno

DQO: Demanda química de oxígeno

DBO<sub>5</sub>: Demanda bioquímica de oxígeno medida al quinto día

SST: Sólidos suspendidos totales

TRH: Tiempo de retención hidráulico

FAFA: Reactor anaeróbico de flujo ascendente

UASB: Reactor anaeróbico de manto de lodos y flujo ascendente

PML: Producción más limpia

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del municipio de El Tambo

## INTRODUCCIÓN

El problema ambiental generado por la actividad industrial en nuestro país es importante ya que produce un impacto negativo en el medio acuático debido al vertido de efluentes que afectan a todo el ecosistema (UDELAR, 2005). Dichos efluentes son matrices complejas de contaminantes que se pueden caracterizar por su carga orgánica general y por contaminantes orgánicos e inorgánicos específicos (aceites, grasas, metales pesados, etc.).

Particularmente, la industria procesadora de carne incluye mataderos (de vacunos, cerdos, etc.) y la manufactura de una gran variedad de productos de carne. Los primeros especialmente generan cantidades significativas tanto de desechos líquidos como de residuos sólidos, emitiendo olores muy desagradables. Todos los efluentes, contienen sangre, estiércol, pelos, grasas, huesos, proteínas y otros contaminantes solubles.

El municipio de El Tambo ubicado al sur occidente del departamento del Cauca, no es ajeno a esta problemática: el matadero de la cabecera municipal que semanalmente sacrifica un promedio de 50 reses y 15 porcinos, actualmente no cuenta con el sistema de tratamiento acorde a lo exigido por la ley, destinando las aguas de desecho directamente al sistema de alcantarillado que las conduce a la planta de tratamiento de aguas residuales, al igual que los residuos pequeños y medianos, que son arrastrados a la tubería mediante lavado con agua a presión, así como la sangre, el rumen y el estiércol.

No contar con un manejo especial de desechos líquidos y sólidos, ha implicado una serie de multas y sanciones que conllevan una gran inversión de recursos para el municipio; los cuales se podrían destinar a la formulación de estudios de tratabilidad y posteriores diseños de tratamiento.

Este tipo de investigación sobre los componentes de los efluentes del matadero y la concentración de estos, permiten determinar el impacto que pueden causar sobre el medio y los sistemas de alcantarillado, pues a pesar de que la industria matarife se constituye como una gran fuente de contaminación, no cuenta con amplios estudios que describan la dinámica ambiental de sus efluentes y las respectivas consecuencias que estos traen consigo.

En este trabajo, además de realizar la cuantificación y caracterización físico química de efluentes, se proponen algunas alternativas de tratamiento biológico para los vertimientos y sistemas de producción más limpia que permitan mitigar efectos negativos y por consiguiente evitar problemas de orden legal al municipio, además del mejoramiento en la calidad de vida de sus habitantes , especialmente de sectores aledaños al matadero, contribuyendo a que las estructuras de alcantarillado presenten buenas condiciones de funcionamiento, evitando incomodidades y malos olores gracias a una adecuada recolección y tratamiento de aguas residuales y a un adecuado aprovechamiento y disposición de los subproductos del proceso de sacrificio.

## 1. JUSTIFICACIÓN

La composición de los efluentes de los mataderos depende del proceso de producción, de la separación en la descarga de cada sección, de materias como sangre, intestinos y desechos del suelo. En general, los efluentes tienen altas temperaturas y contienen patógenos, además de altas concentraciones de compuestos orgánicos y nitrógeno, la sangre particularmente aporta entre 0,14 y 0,18kg DBO por kg de carne (INTEC Chile y fondo de desarrollo e innovación, 1998).

Debido a esta gran carga contaminante que se genera, la normatividad colombiana exige un tratamiento previo de estos desechos antes de ser destinados a cuerpos de agua o a sistemas de alcantarillado. Particularmente el Decreto 1594 de 1984, establece claramente en el artículo 84 que “los residuos líquidos provenientes de usuarios tales como hospitales, lavanderías, laboratorios, clínicas, mataderos, deberán ser sometidos a tratamiento especial de acuerdo con las disposiciones del Decreto”, pretendiendo que todos los municipios implementen las medidas necesarias para garantizar el cumplimiento de los parámetros exigidos para vertimientos, los cuales pueden generar problemas de taponamiento en la tubería (por grasas), procesos anaeróbicos fuertes que conllevan a la generación de gases de alta peligrosidad, corrosión y desgaste debido a la alta cantidad de materia orgánica, entre otros problemas que disminuyen el periodo de vida útil del sistema diseñado.

Adicional a los vertimientos líquidos, los residuos sólidos que son separados en la fuente (vísceras, cabezas, cuero, entre otros) se constituyen como residuos peligrosos a los cuales debe darse un tratamiento especial diferente a la destinación en sitios de disposición final como rellenos sanitarios, ya que contienen bacterias altamente patógenas que pueden ocasionar enfermedades a los humanos que entran en contacto con ellas y graves afecciones al suelo (INTEC Chile y Fondo de desarrollo e innovación, 1998).

Por otra parte, también es innegable que con respecto a los aportes ambientales de la actividad al desarrollo sostenible, aún hay mucho por hacer; como lo demuestran las siguientes cifras: El 99% de los mataderos en el país no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado, el 93% vierte sus aguas residuales directamente a un cuerpo de agua, al alcantarillado o a campo abierto, el 84% vierte el contenido ruminal directamente a los cuerpos de agua o en campo abierto, el 33% no hace en lo absoluto ningún uso de la sangre

resultante de los procesos de sacrificio y faenado, y el 57% no cuenta con rubro presupuestal propio (Guerrero y Ramírez, 2004).

Lo expuesto anteriormente genera la necesidad de proponer alternativas de tratamiento para minimizar la contaminación ambiental generada por el proceso matarife y evitar sanciones y multas por parte de autoridades ambientales del departamento, proceso que se inicia con una evaluación de viabilidad de tratamiento biológico de las aguas residuales provenientes del matadero a fin tener una calidad de vertimiento tal que afecte lo menos posible los cuerpos receptores. Además del tratamiento, se debe implementar la aplicación de procesos de Producción más limpia que comienzan por la recuperación de los productos residuales que pueden llegar a amortizar las inversiones; en estos casos la inversión es necesaria y debe afrontarse para evitar llegar a niveles incompatibles con la vida de algunos seres vivos (Shimamoto, 1998).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la viabilidad de tratamiento biológico para el efluente del matadero del municipio de Tambo – Cauca, a fin de minimizar la problemática ambiental y legal ocasionada por sus vertimientos.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar el efluente generado en las jornadas de sacrificio y sus requerimientos hídricos, a fin de evaluar dos alternativas de tratamiento para reducir los efectos causados por los vertimientos del matadero sobre la fisicoquímica de las aguas y sistemas asociados a ella.
- Proponer la implementación de procesos de Producción más limpia en cuanto al aprovechamiento de agua y subproductos generados por el matadero.

### 3. MARCO TEÓRICO

La deficiente disposición de todo tipo de residuos sólidos ha afectado, a través de los años, los sistemas hidrobiológicos alterando la calidad del agua y del suelo, lo que se refleja principalmente en una restricción paulatina en el uso del recurso hídrico, en el deterioro de la fauna acuática y en la contaminación de los suelos, como problemas ambientales.

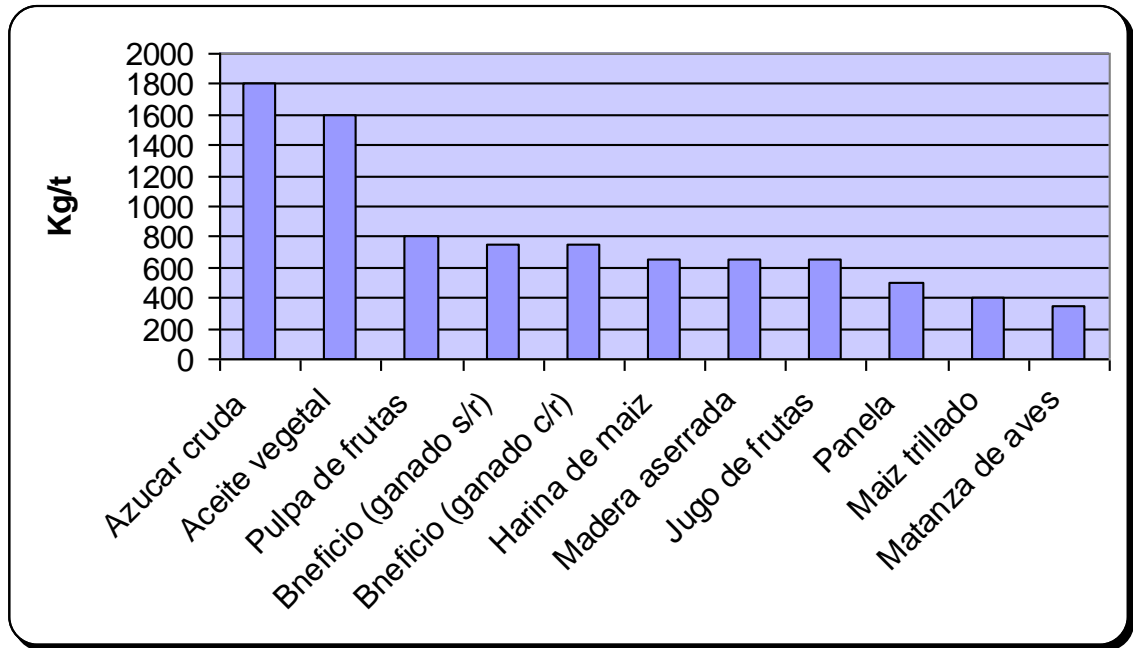
Es importante anotar que el sector que más contamina por descarga de vertimientos es el de alimentos por encima de cualquier otro proceso industrial (Néstor Monroy, 2003). Esto se debe en gran parte a la generación de materias orgánicas como grasa, pedazos de carne, piel, aceites y vinazas.

El impacto más importante del sector agropecuario y agroindustrial está relacionado con la generación de residuos sólidos, compuestos de estiércol del ganado, y la materia orgánica que se genera en los procesos de cosecha (IDEAM, 1998).

Para determinar aquellas industrias que por su tipo de tecnología ocasionan más residuos, el IDEAM diseñó dos indicadores que son a) Residuos de biomasa Unitarios RBU (kg/t) y b) Residuos inorgánicos Unitarios RIU (kg/t). Estos indicadores muestran la cantidad en kilogramos de residuos que se generan por cada tonelada de producto terminado. En la Figura 1 se muestran aquellas tecnologías que mas biomasa o materia orgánica producen por tonelada de producto final.

De acuerdo a los resultados encontrados, es evidente, que merece especial atención la industria de alimentos, por su alta posibilidad de impacto sobre el ambiente, a través de la generación de residuos sólidos y líquidos. Este sector es un gran generador de vertimientos al agua, produciendo la mayor carga de DBO con 175 ton/día, esto se debe principalmente a las altas descargas de grasas, ácidos y sodas, residuos orgánicos, producto de los residuos del procesamiento y de la limpieza de equipos (Néstor Monroy, 2003).

**Figura 1.** Residuos de Biomasa Unitarios por tecnología



Fuente: IDEAM, 1998

### 3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA INDUSTRIA MATARIFE

Los rastros o mataderos municipales son instalaciones donde se presta un servicio público de matanza de ganado mayor y menor, se supervisa la procedencia legal del ganado y la calidad del producto y se garantizan unas mínimas condiciones higiénico sanitarias para el consumidor final (Centro de producción más limpia de Nicaragua, 2004).

El manejo de las centrales de sacrificio de ganado es competencia de los municipios. Como cualquier otro servicio público, las municipalidades asumen la titularidad y la responsabilidad legal sobre la prestación del mismo, debiendo cumplir con el marco regulatorio y normativo existente en el país así como ofrecer un servicio a la comunidad, sin ánimo de lucro, que garantice mínimamente que el ganado cumple con las normativas higiénico sanitarias, que ha sido matado y destazado de forma apropiada, que es transportado adecuadamente, vendido en lugares apropiados y finalmente que el proceso ha sido realizado de acuerdo con la legislación ambiental y de manejo de residuos líquidos y sólidos.



Sin embargo, todas estas condiciones están en un nivel difícil de cumplir por parte de las municipalidades que se encuentran con serias deficiencias de operación óptima de las centrales de sacrificio, destinando directamente los residuos a sistemas de alcantarillado y/o cuerpos de agua, contribuyendo a la contaminación de las aguas con índices que, según algunos autores, podrían llegar hasta un 30% de la contaminación total.

Debido a la gran incidencia y alto impacto del rubro industrial de faena de vacunos en nuestro país, a continuación se presentan algunos datos técnicos para la investigación del procesamiento de desechos (COWI, UNEP y EPA, 2000):

- Contenido de sangre: En promedio, el peso del ganado vacuno faenado es de 250–400Kg, dependiendo de la raza y la edad del animal, y puede llegar a alcanzar los 600kg o más. En la faena, aproximadamente el 3% de este peso se obtiene en la forma de sangre.
- Consumo de agua: La evaluación del volumen de agua necesaria para convertir a un animal en carne depende del grado de tratamiento de los subproductos que se lleva a cabo en los locales. Se utiliza la cifra de 1700L de agua por res procesada como pauta, con un aumento del 25 por ciento si se lleva a cabo el tratamiento de los productos no comestibles (FAO, 2005).
- Generación de efluentes: El volumen de efluente generado es un reflejo de los volúmenes de agua consumidos, ya que el 80–95% del agua utilizada es descargada como efluente. Los efluentes de mataderos generalmente presentan las siguientes propiedades:
  - Alta carga orgánica debida a la presencia de sangre, grasa, estiércol y contenido estomacal indigesto.
  - Altos niveles de aceites y grasas.
  - Fluctuaciones en el pH, si hay presencia de agentes de limpieza ácidos o cáusticos.
  - Altos niveles de nitrógeno, fósforo y sal.
  - Altas temperaturas.

La concentración de materia orgánica es un indicador clave de la calidad del efluente, comúnmente expresado como la demanda química de oxígeno (DQO) o la demanda bioquímica de oxígeno de 5 días de cultivo (DBO<sub>5</sub>). Las grasas

animales presentes en el efluente son ácidos grasos de cadena larga y glicerol, referidos colectivamente como aceites y grasas. Las grasas de origen animal son generalmente biodegradables y presentan una DBO<sub>5</sub> muy elevada.

### 3.2. CONTAMINANTES QUE SE GENERAN EN MATADEROS

La concentración de los contaminantes en los efluentes de la faena de animales varía significativamente de una planta industrial a otra. En la Tabla 1 se presentan concentraciones típicas encontradas en efluentes de faena de vacunos y de porcinos.

**Tabla 1.** Concentración promedio de contaminantes en efluentes de faena

PARÁMETRO	VALORES MEDIOS	VALORES MÁXIMOS
DQO (mg/L)	3.500	12.000
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	1.200	7.000
Sólidos suspendidos (mg/L)	700	3.000
NTK (mg/L)	300	6.000
Aceites y grasas (mg/L)	500	1.500
pH	6 – 6,5	8 – 8,5

FUENTE: Aqualimpia, 2007

Estos datos proporcionan una información general sobre la carga contaminante presente en los efluentes de los mataderos, razón por la cual la legislación colombiana es muy clara al exigir que a estos residuos se les dé un tratamiento especial con el fin de que los vertimientos tengan el menor impacto posible sobre los cuerpos de agua o estructura receptora.

### 3.3. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

#### 3.3.1. Tratamiento biológico de efluentes

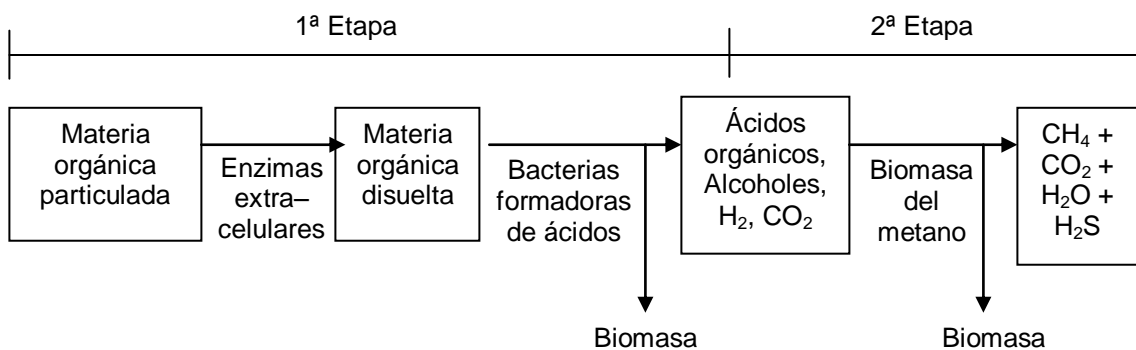
Al descargar residuos sobre un recurso hídrico o sobre el suelo se crea, generalmente, un problema de control de calidad asociado con las diferentes características indeseables de los desechos, entre las cuales es muy importante la presencia de materia orgánica, la cual es estabilizada biológicamente por los microorganismos en condiciones aerobias o anaerobias.

La actividad biológica se aprovecha para remover principalmente sustancias orgánicas biodegradables disueltas y coloides, mediante su conversión en gases que escapan a la atmósfera y en biomasa extraíble mediante sedimentación. La actividad biológica también se utiliza para remover nitrógeno y fósforo del agua residual. Las aguas residuales con concentración alta de DQO,  $DBO_5 > 2000\text{mg/L}$  y ricas en nitrógeno, como los residuos de las industrias procesadoras de carne, con contenido alto de amonio, que pueden proveer capacidad tampona alta contra la acidificación, son muy apropiadas para el tratamiento anaerobio. En dichas condiciones el contenido de ácidos volátiles permanece bajo, menor de  $250\text{ mg/L}$  como ácido acético, pH superior a 6,5 y las bacterias del metano crecen apropiadamente (Romero, 1999).

### 3.3.1.1. Proceso anaerobio

El proceso anaerobio o fermentación lo definió Pasteur como la vida sin aire. Es la descomposición u oxidación de compuestos orgánicos, en ausencia de oxígeno libre, para obtener la energía requerida para el crecimiento y mantenimiento de los organismos anaerobios. En su forma más elemental el proceso anaerobio de descomposición de la materia orgánica está integrado por dos etapas: Fermentación de ácidos y fermentación de metano, que ocurren simultáneamente, como se representa en la Figura 2.

**Figura 2.** Diagrama elemental del proceso anaerobio

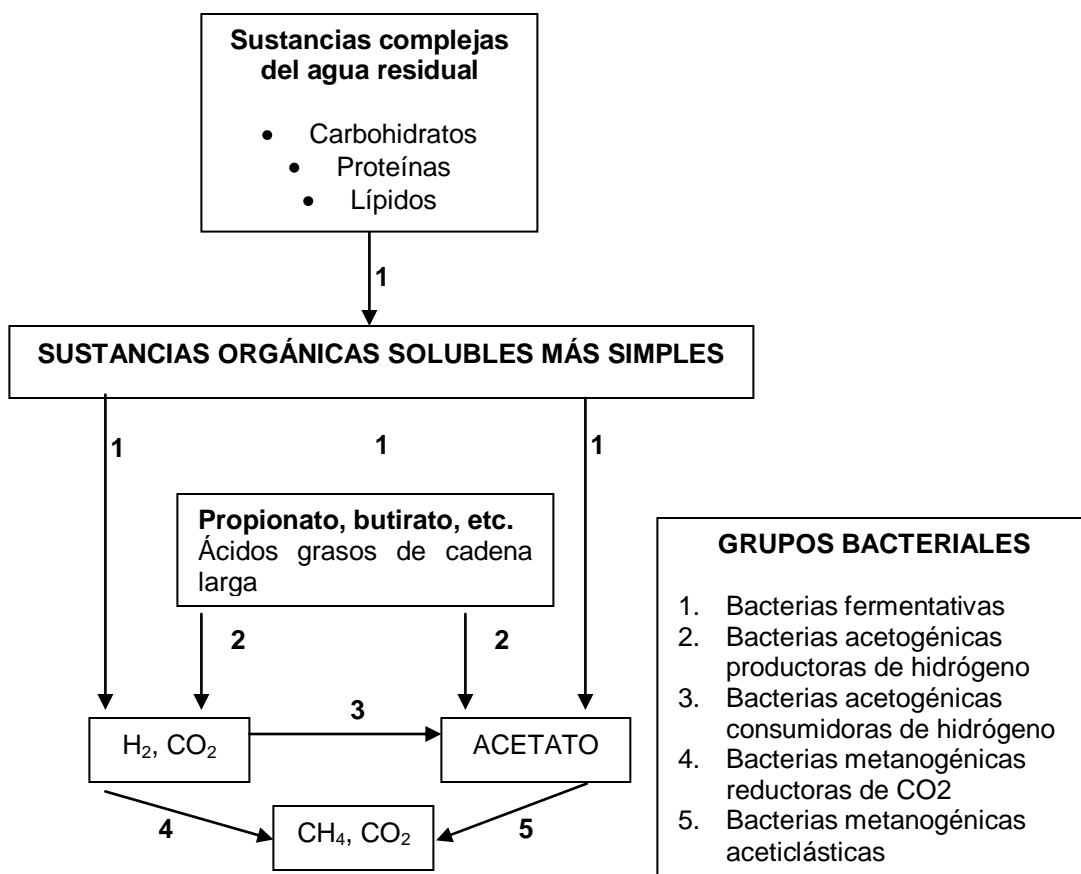


En la fermentación ácida, los compuestos orgánicos de estructura compleja (proteínas, grasas, carbohidratos), son primero hidrolizados en unidades moleculares mas pequeñas y sometidos a biooxidación para convertirlos en ácidos orgánicos de cadena corta, principalmente ácido acético, propiónico y butírico, hidrógeno y CO<sub>2</sub>.

En la fermentación metanogénica, los microorganismos metanogénicos, en condiciones estrictamente anaerobias, convierten los productos de la fermentación ácida en  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  principalmente. El metano no puede ser utilizado por las bacterias en condiciones anaerobias (Romero, 1999).

Según Zeikus (Zeikus, 1980 citado por Romero, 1999) para la oxidación anaerobia de compuestos orgánicos, inicialmente las bacterias hidrolíticas, mediante transformaciones enzimáticas, fermentan los compuestos orgánicos complejos en compuestos de masa molecular baja como los azúcares, aminoácidos, ácidos grasos y glicerol, adecuados para emplearlos como fuente de energía y de carbón celular. Estos compuestos los utilizan las bacterias acetogénicas para producir ácido acético, propiónico, butírico, valérico y fórmico;  $\text{CO}_2$  o hidrógeno, metanol y etanol. A partir del ácido acético y fórmico ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ), y metanol, las bacterias del metano producen metano, dióxido de carbono y agua. La fermentación de metano en el proceso de digestión anaerobia la han esquematizado Parkin y Owen, como se indica en la Figura 3 (USEPA, 1978 citado por Romero, 1999).

**Figura 3.** Formación de metano en la digestión anaerobia.



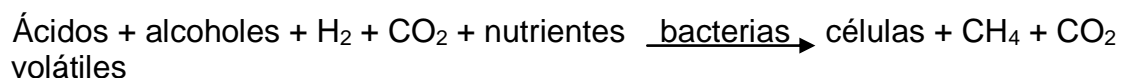
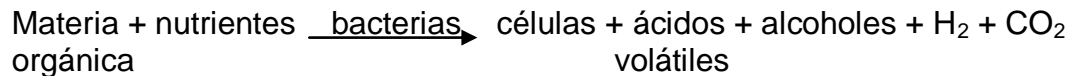
El esquema supone una serie de tres etapas: 1) hidrólisis, licuefacción y fermentación; 2) formación de hidrógeno y ácido acético; y 3) fermentación de metano; etapas realizadas por cinco grupos bacteriales principales, cada uno con metabolismo dependiente de los otros grupos involucrados en el proceso.

Como puede verse en la Figura 3, los grupos de bacterias fermentativas, acetogénicas productoras de hidrógeno y acetogénicas consumidoras de hidrógeno, producen básicamente hidrógeno, dióxido de carbono y acetato, mientras que las metanogénicas reductoras de CO<sub>2</sub> y acetoclásticas producen metano. Para mantener una digestión eficiente debe haber producción de metano y mantenerse una concentración baja de hidrógeno.

La estabilización o remoción biológica anaerobia de DBO ocurre en la etapa de formación de metano, porque éste es poco soluble en el agua y se evapora con el gas que sale del reactor. El CO<sub>2</sub> producido también escapa como gas o es convertido en alcalinidad bicarbonácea. La bacteria del metano es estrictamente anaerobia y se cree que sólo puede usar ácido acético, fórmico, metanol o hidrógeno como fuente de energía.

Las bacterias metanogénicas son semejantes a las encontradas en el estómago de animales rumiantes y en sedimentos de lagos y ríos; los géneros principales son *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanosarcina* y *Methanobacillus*. Todas las bacterias metanogénicas son de crecimiento muy lento y, por lo tanto, el tiempo de retención celular debe ser lo suficientemente largo para permitir su crecimiento e impedir su extracción del sistema. Por lo regular se mencionan tiempos de retención celular de 2 a 20 días, con pH de 6,8 a 7,4, y se considera que la fermentación metanogénica controla la tasa del proceso (Metcalf y Eddy, 1979 citado por Romero, 1999).

Las ecuaciones que resumen el proceso anaerobio, incluyendo crecimiento, serían:



### **3.3.1.2. Consideraciones ambientales para tratamiento anaerobio**

En todo proceso biológico, los organismos se desarrollarán de manera apropiada si se les provee, básicamente, lo siguiente:

- Nutrientes suficientes
- Ausencia de compuestos tóxicos
- Condiciones ambientales apropiadas.

En general las bacterias requieren, principalmente, carbono, nitrógeno, hidrógeno y oxígeno; en menor proporción fósforo, azufre, potasio, calcio, hierro y magnesio, y como suplemento nutricional cantidades mínimas de zinc y molibdeno. Comúnmente, las aguas residuales domésticas contienen los nutrientes requeridos para el crecimiento bacterial, pero algunos residuos industriales puede que no. Se considera una relación apropiada de DBO/N/P de 100/5/1 (Romero, 1999).

En este proceso es muy importante el control del pH porque las bacterias del metano operan solamente en un determinado intervalo de pH debido a que la sobreproducción de ácidos o la acumulación de hidrógeno puede disminuirlo e inhibir la actividad de las bacterias de metano, así como de las productoras de ácidos, deteniendo el proceso en estados intermedios, con el desarrollo subsecuente de compuestos indeseables y olorosos.

La mayoría de los sistemas biológicos anaerobios operan favorablemente con pH entre 6,5 y 8,5; valores superiores, o inferiores, a dichos límites deterioran la eficiencia. Los procesos de nitrificación requieren suficiente alcalinidad para reaccionar con el ión hidrogeno producido. Los cambios en el pH de un proceso de tratamiento de aguas son indicadores del estado o predominio de una actividad o reacción y, por tanto, ayudan al ingeniero a interpretar y valorar las condiciones del proceso.

En la Tabla 2 se resumen las condiciones óptimas ambientales para el proceso anaerobio.

**Tabla 2.** Condiciones óptimas para el proceso anaerobio

PARÁMETRO	CONDICIÓN
Bacterias	Equilibrio dinámico entre no metanogénicas y metanogénicas
Temperatura	Intervalo mesofílico = 29 – 38°C Intervalo termofílico = 49 – 57°C
Medio	Anaerobio, OD = 0
Nutrientes	N, P trazas de Ca, Mg, Fe, K, Ni, Co
DBO/N/P/S = 800/7/1/1	Para residuos con DQO > 2500 mg/L
DBO/N/P/S = 300/7/1/1	Para residuos con DQO < 2500 mg/L
pH	7,0 – 7,2 (6,6 – 7,6) (pH > 6,2)
Composición del gas	65 – 70% de metano
Producción del gas	1 – 1,25 m <sup>3</sup> /kg SSV destruidos
Alcalinidad	1000 – 5000 mg/L
Ácidos volátiles	< 500 mg/L – ácido acético
POR	– 490 a – 550 mV

Fuente: Romero, 1999

### 3.3.2. Producción Más Limpia (PML)

La producción más limpia es el conjunto de herramientas que contrario a las alternativas utilizadas anteriormente, busca prevenir la generación de la contaminación por medio de la optimización de los procesos productivos y del uso eficiente de los recursos. La importancia de crear medidas de carácter preventivo se basa en el hecho que por medio de la optimización y minimización del uso de recursos podemos generar menos residuos y por ende generar también beneficios económicos.

Así mismo, la adopción de mecanismos de PML puede reducir y eventualmente eliminar la necesidad de inversiones para medidas de fin de tubo, generando beneficios financieros y económicos para las empresas<sup>1</sup>. Según el Banco Mundial, una reducción de la contaminación del 20 a 30% puede ser conseguida sin necesidad de inversiones de capital y una reducción adicional del 20% o mas puede alcanzarse con inversiones cuya tasa de retorno es de pocos meses, si se implementan mecanismos de PML (Néstor Monroy, 2003).

---

<sup>1</sup> World Bank, Pollution Prevention Hacervez and book, Implementing Cleaner Production

Por la anterior razón, la PML como mecanismo de política se convierte en una forma muy importante para crear el balance entre los elementos del desarrollo sostenible, mas que todo en países como Colombia, cuyas capacidades económicas se convierten en barreras importantes para la implementación de medidas efectivas para el control del deterioro del ambiente.

Si bien la PML como mecanismo de política es una herramienta importante para la disminución de la contaminación, esta debe ser aplicada en función de los resultados, para que en un futuro pueda corregirse sobre la marcha aquellas acciones que no están siendo efectivas y potencializar las que si están generando un impacto positivo.

En el caso de los mataderos, es importante considerar la reducción de la cantidad de agua empleada para el lavado de los animales y salones de sacrificio, ya que es en este proceso que se genera la mayor cantidad de agua residual. Se debe complementar además con una adecuada recolección en seco de los subproductos, debido a la elevada carga orgánica que poseen, por ejemplo, la sangre, cuya recuperación supone una disminución en la contaminación de los vertidos entre un 34–45%. La sangre representa un 4–5% de peso del animal vivo y tiene una elevada carga orgánica (100,000 mg/L DBO y 200,000 mg/L DQO). En el desangrado se recupera entre el 60–80% de la sangre total del animal, por lo que la DQO generada será de 6 a 8kg DQO/tonelada de animal (Centro de producción más limpia de Nicaragua, 2004).

De aquí se deduce que la planta de tratamiento para efluentes de centrales de sacrificio requiere ser diseñada para remover los niveles de contaminantes de parámetros tales como: DBO<sub>5</sub>, DQO, grasas y aceites, sólidos suspendidos y microorganismos patógenos, entre otros, adicionalmente debe contar con una red para la recolección de aguas residuales en donde se realice una separación adecuada de subproductos, abastecida por:

- Drenaje de la sangre.
- Desagües de los corrales y del estiércol de las tripas.
- Desagüe de las áreas de la matanza y otros subproductos.
- Desagüe de las aguas de lavado y otros servicios.

Posterior a su recolección, se puede realizar con mayor facilidad la implementación de procesos de PML que incluyen la ejecución de:



- Tratamiento y utilización de la sangre: La sangre es un valioso subproducto, debido a su valor nutricional, ya que contiene aproximadamente un 10 % de la proteína animal. En los climas templados la sangre se puede procesar hasta seis horas después de la recogida. De lo contrario, si el período de transporte es más largo, o en climas tropicales, se debe enfriar a 4°C antes de llenar los recipientes.
- Otros subproductos: Los desechos congelados se muelen y se mezclan con otros productos (granos, vitaminas, preservantes), para lograr un producto de las características nutritivas adecuadas. Se emplea en preparaciones alimentarias, farmacéuticas y productos fotográficos. Proviene de la piel, tendones y huesos de animales.
- Manejo del estiércol: La gran cantidad de nitrógeno que contiene el estiércol hace que sea un compuesto ideal para la implementación de compostaje, proceso de biodegradación relativamente rápido que puede tomar 6-12 semanas para alcanzar un producto estable y listo para utilizar, además de ser un sistema económico y uno de los más utilizados (Bonilla, 2007). Adicional a esto puede combinarse con los demás subproductos del matadero como sangre, rumen y grasas, aumentando su nivel nutritivo.

Desarrollando la metodología de PML se ha logrado demostrar que la ejecución de opciones en la mayoría de los casos no requiere de grandes inversiones, es aproximado a la realidad decir que un 70% de opciones identificadas no requieren inversiones altas y que por el contrario dejan grandes beneficios económicos y ambientales a la vez.

## 4. METODOLOGÍA

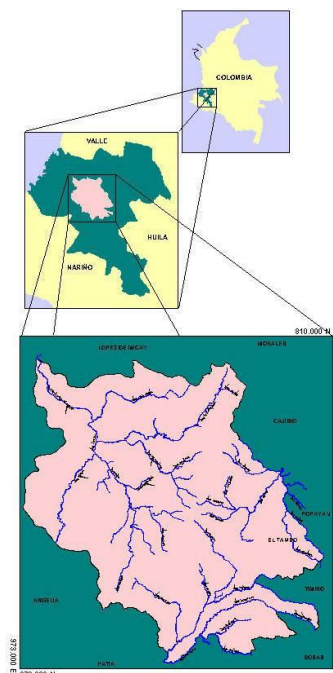
### 4.1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL ESTUDIO

El presente estudio se realizó en el matadero de El Tambo (Cauca), municipio que tiene una extensión de 3280 Km<sup>2</sup> y se encuentra a 33km de Popayán (Figura 4). El municipio cuenta con una población aproximada de 50.000 habitantes, se localiza a 1745 m.s.n.m. y tiene una temperatura promedio de 18°C.

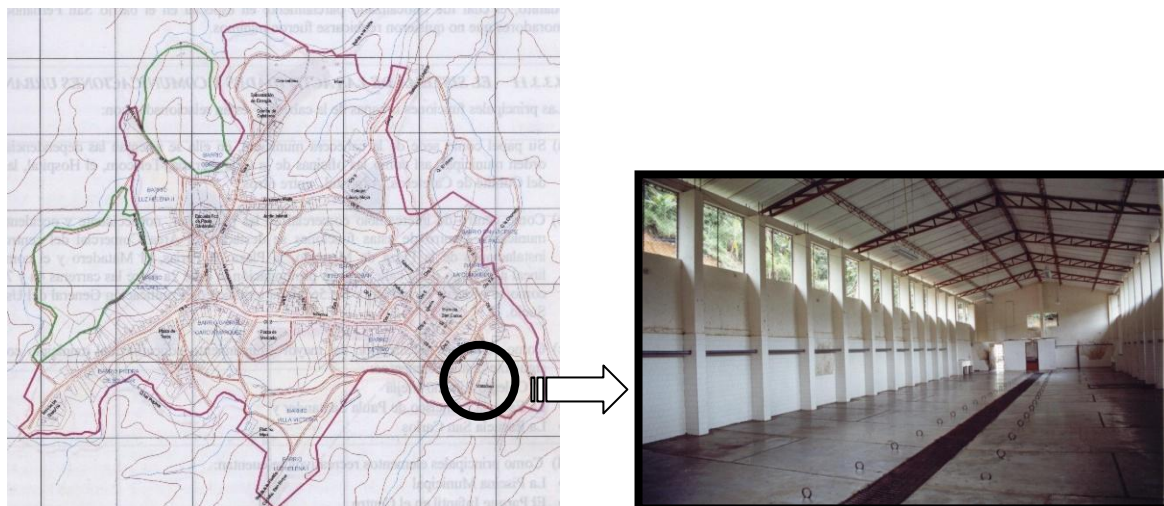
El matadero municipal, ubicado al Sur occidente del municipio (Figura 5), dispone de un área construida de 780m<sup>2</sup>. Su operación está a cargo de la Oficina de Planeación del municipio y tiene una capacidad de producción aproximada de 200 reses y 70 cerdos mensuales.

El periodo de estudio comprende desde el 29 de agosto hasta el 8 de diciembre de 2007.

**Figura 4.** Ubicación geográfica del municipio de El Tambo (Cauca)



**Figura 5.** Ubicación geográfica del matadero de El Tambo (Cauca)



Las jornadas de sacrificio semanal se desarrollan los días miércoles, viernes y sábado, sacrificando el número de reses y cerdos que se especifican en la Tabla 3.

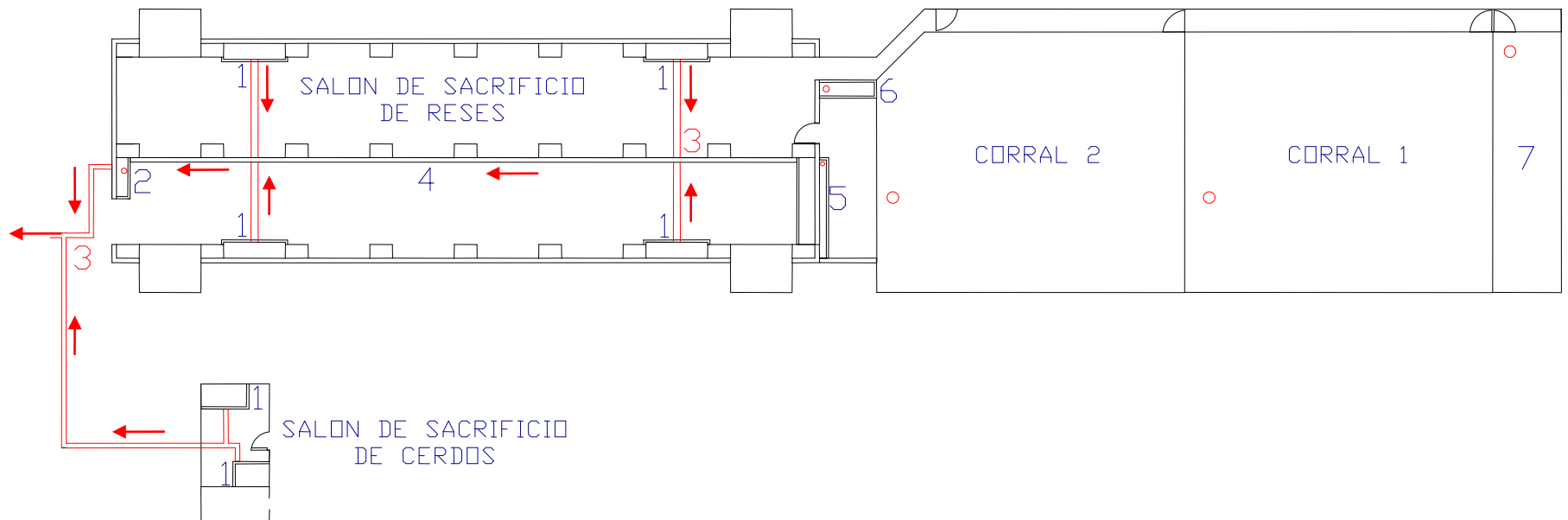
**Tabla 3.** Número promedio de reses y cerdos sacrificados por semana

DIA	HORA DE INICIO	NÚMERO DE RESES	NÚMERO DE CERDOS
Miércoles	4:00 a.m.	7	4
Viernes	4:00 a.m.	4	4
Sábado	2:00 a.m.	35	7
<b>TOTAL</b>		<b>46</b>	<b>15</b>

El matadero municipal cuenta con servicio de acueducto sin medidor. El abastecimiento de agua utilizada para lavado se realiza a través de un tanque que tiene una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 2000L. Este tanque es alimentado continuamente desde una fuente de agua natural ubicada en una finca vecina.

Los procesos de sacrificio de reses y cerdos se realizan de forma separada, destinando la mayor área para la matanza de reses, en donde se ubica una canaleta que recoge la totalidad de las aguas que se utilizan en el proceso de sacrificio (Figura 6). Las tuberías provenientes de los dos sitios confluyen en una sola que hace parte del alcantarillado municipal.

**Figura 6.** Matadero del municipio de El Tambo – Cauca con su respectiva distribución

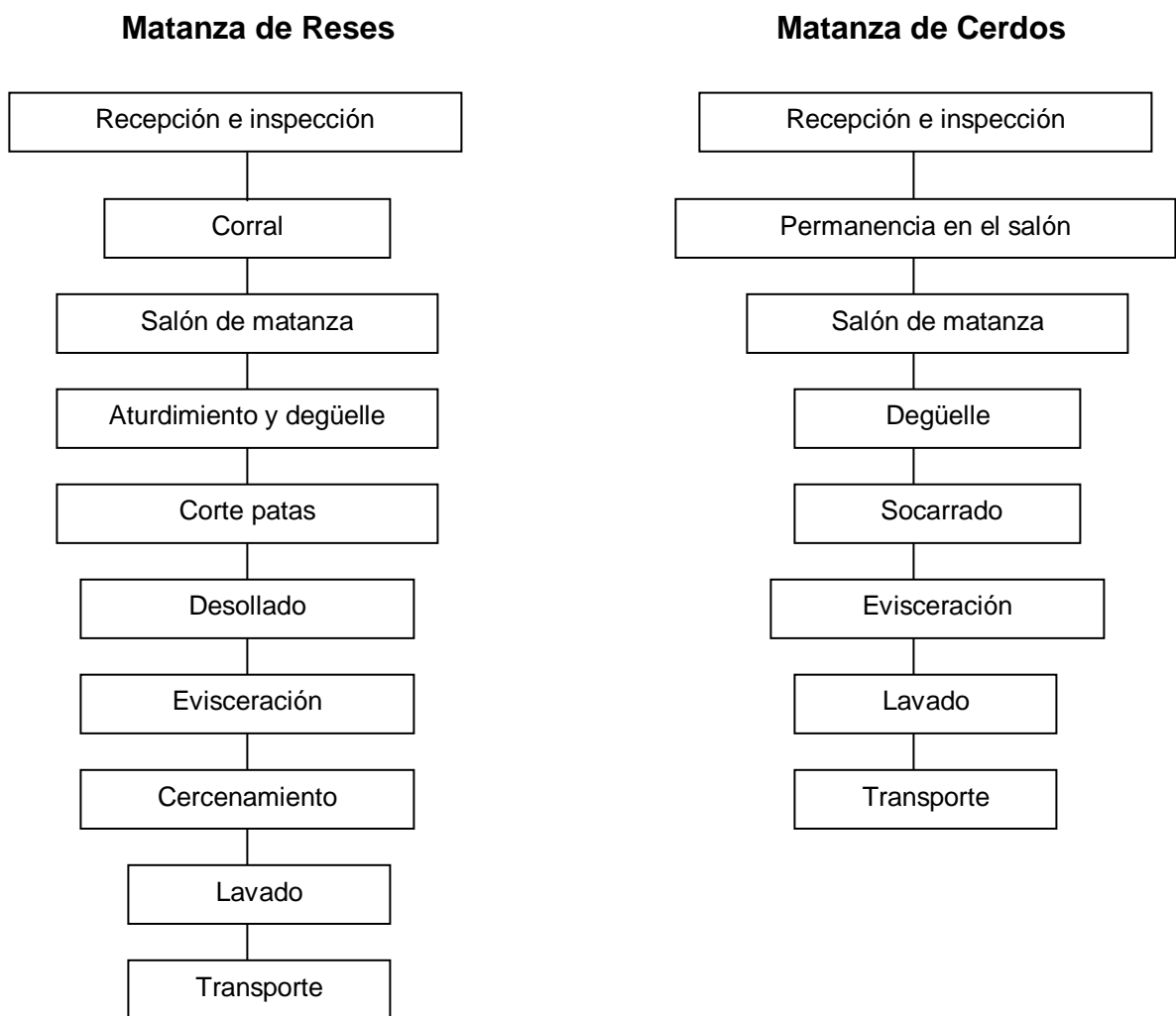


1. Lavado de vísceras
2. Lavamanos
3. Tuberías de desagüe
4. Canaleta de recolección de aguas residuales
5. Orinal
6. Tanque de decomiso
7. Corral de aislamiento

El servicio de alcantarillado que recoge las aguas provenientes del matadero, las conduce hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), la cual recibe el 95% de las aguas residuales generadas en la cabecera municipal. Esta agua finalmente es vertida a un cuerpo receptor denominado Río Chiquito.

En una jornada de sacrificio se distinguen las etapas que se especifican en la Figura 7.

**Figura 7.** Flujo de proceso en el matadero de El Tambo – Cauca



Los procedimientos que se realizan en cada uno de los sitios de sacrificio (reses y porcinos) se especifican en los siguientes numerales.

#### 4.1.1. Proceso de sacrificio de reses

**Recepción e Inspección:** Las condiciones higiénico – sanitarias del ganado a ser beneficiado en el matadero del Tambo (Cauca), se tienen en cuenta como sistema de control que determina su destino final, ya que las reses que ingresan al corral el día anterior a su sacrificio son traídas de fincas aledañas, donde han tenido un cuidado previo garantizando su calidad para el consumo, considerando su alimentación y que no presenten síntomas algunos que hagan sospechar la presencia de enfermedades. Al momento de su llegada al matadero son pesadas e ingresadas a los corrales (Fotografía 1).

**Fotografía 1.** Estructura de recepción de ganado



**Corral:** En este sitio las reses permanecen por un periodo de aproximadamente 16 horas, en el cual no reciben alimento alguno. Este sitio tiene un área de casi 170m<sup>2</sup> y está dividido en dos secciones, no cuenta con cubierta, como se observa en la Fotografía 2, y por tanto los animales permanecen a la intemperie.

El día de sacrificio, se sacan las reses con la ayuda de perros que las fuerzan a entrar hacia el salón de sacrificio.

**Salón de matanza:** Es una construcción rectangular que cubre un área de casi 290m<sup>2</sup>, en el centro de esta, se encuentra ubicado un canal de 28,7mt de largo X 0.4m de ancho, el fondo de este se inclina hacia la tubería de salida con una pendiente inferior al 1%. Este canal está provisto de una reja horizontal y al final de una reja vertical, cuya función es evitar que los sólidos más grandes ingresen a la tubería de desagüe (Fotografía 3).

**Fotografía 2. Corrales**



El salón cuenta con cuatro estructuras de lavado de vísceras cuya tubería también desemboca en la canaleta. Las paredes están provistas de columnas en las cuales se soportan los ganchos donde se tiende la carne. En este sitio se desarrolla la mayor parte del proceso de sacrificio y se constituye en el principal generador de aguas residuales.

**Fotografía 3. Salón de matanza de reses**



**Aturdimiento y degüelle:** El animal es atado por la cabeza y las patas, lo que permite su aturdimiento e inmovilización para el posterior degüelle. Una vez aturdido el animal, se procede a realizar un desangrado lo más completo posible, en un lapso de 3 a 5 minutos.

Para realizar el desangrado se coloca al animal de forma horizontal y, a su vez de forma perpendicular a la canaleta (Fotografía 4). Este sistema permite recoger fácilmente la sangre, normalmente se recoge mas del 50%, aproximadamente 10L/res para el procesamiento comestible. La sangre restante se lava y conduce hacia la canaleta.

**Fotografía 4.** Aturdimiento y degüelle del ganado



**Corte de patas:** El primer proceso después de la muerte de la res es la remoción de patas, las cuales no se lavan y se disponen directamente a transporte (Fotografía 5)

**Fotografía 5.** Disposición de patas en el matadero



**Desollado:** Comienza con el descornado y desollado de la parte frontal de la cabeza, eliminando luego la piel de muslos, nalgas, vientre, costillar, y partes genitales. Como se observa en la Fotografía 6, luego se realiza una apertura a lo largo de la línea ventral para el desuello del tórax, brazo, antebrazo, pecho, espalda y paleta.



**Fotografía 6.** Desollado del ganado



**Evisceración:** Luego de desollado, se procede a abrir el pecho y el resto de la cavidad abdominal, para proceder a la extracción de las vísceras pélvicas, abdominales y torácicas (Fotografía 7). Estas vísceras se disponen en las estructuras para lavado a fin de remover los residuos de sangre y otros, cuya tubería se dirige al canal. Los intestinos particularmente, se lavan introduciendo una manguera dentro de ellos para quitar los restos de estiércol. Este proceso también se lleva a cabo sobre la canaleta.

**Fotografía 7.** Proceso de evisceración durante el sacrificio



**Cercenamiento:** En este proceso el animal se descuartiza y se retira la carne mas representativa que se dispone en los ganchos. Posteriormente, se quita el estomago del animal, el cual se abre generalmente sobre el canal, a fin de facilitar el lavado del rumen que no se recoge, ya que la mayor parte de este se dispone

en baldes plásticos para su posterior utilización en la actividad porcícola. El estomago mas pequeño de la vaca se enjuaga sobre las estructuras de lavado para disponer los residuos al canal (Fotografía 8).

**Fotografía 8.** Cercenamiento del ganado



**Lavado:** Este procedimiento se realiza continuamente durante todo el sacrificio, sin embargo al final de la jornada se hace un lavado general de todo el salón. Cabe anotar que una gran cantidad de agua se utiliza para el lavado de los cueros obtenidos de cada una de las reses, para conservar la calidad de estos en el comercio. Como se observa en la Fotografía 9, esta agua de desecho se dispone sobre la canaleta e incluye sangre, estiércol, rumen, grasa, pelos y algunos sólidos que la reja no alcanza a retener. Por tal motivo el canal es lavado a presión a través de una tubería ubicada al inicio de este, arrastrando el agua residual hacia el sistema de alcantarillado.

**Fotografía 9.** Lavado del salón de sacrificio y restos del ganado



#### **4.1.2. Proceso de sacrificio de cerdos**

El procedimiento de sacrificio de cerdos es similar al de las reses, sin embargo difiere en el tratamiento inicial que se da a la piel del cerdo, ya que esta se somete a un proceso de Socarrado antes de la evisceración.

Degollado el animal se procede a ser socarrado. Provisto de helechos secos, se cubre al animal con estas plantas secas de gran combustibilidad que desde hace mucho tiempo se vienen utilizando para este fin (Fotografía 10). Este proceso busca quemar los pelos del cerdo, facilitar la extracción de las pezuñas y raspar la capa externa, para que de esta forma estas partes se hagan comestibles.

Bien socarrado y limpio el animal, se efectúan solo las labores de evisceración y lavado, ya que el animal prácticamente se transporta entero (Fotografía 11).

**Fotografía 10.** Socarrado de cerdos



Al igual que en el lavado de sacrificio de reses, las aguas de desecho contienen estiércol, sangre, grasas y pelos, las cuales se destinan a la tubería de desagüe a través de grandes orificios dispuestos sobre el suelo.

**Fotografía 11.** Evisceración y lavado durante el sacrificio de cerdos



## **4.2. DESARROLLO DEL OBJETIVO 1**

Para el cumplimiento de este objetivo se realizaron las siguientes actividades:

### **4.2.1. Inspección sanitaria**

Inicialmente se realizó una visita de inspección, consistente en un recorrido por cada una de las instalaciones del matadero a fin de observar todas las etapas del

proceso de producción que se lleva a cabo dentro de este. Posteriormente, se realizaron visitas durante dos semanas con una frecuencia de dos días, en las jornadas que se especifican en la Tabla 4, con el objetivo de evaluar la cantidad de agua utilizada por animal sacrificado y los horarios de producción de aguas residuales.

**Tabla 4.** Jornadas de inspección sanitaria

<b>AFORO Nº</b>	<b>FECHA</b>	<b>HORA DE INICIO</b>	<b>HORA DE FINALIZACIÓN</b>
1	5 de septiembre 2007	2:00 a.m.	6:20 a.m.
2	8 de septiembre 2007	11:00 p.m.	6:30 a.m.
3	26 de septiembre 2007	2:00 a.m.	6:30 a.m.
4	29 de septiembre 2007	11:30 p.m.	6:40 a.m.

Para el análisis de la cantidad de agua utilizada por animal sacrificado, desde el inicio hasta la finalización de la jornada de sacrificio se contabilizó el tiempo que cada punto de vertimiento estuvo abierto y al finalizar cada una de las jornadas de sacrificio se midieron los caudales correspondientes a cada uno de estos puntos a través del método volumétrico, obteniendo como resultado el volumen total de agua gastado por día de sacrificio. Se contabilizó además, la cantidad de reses y cerdos sacrificados, obteniendo el volumen de agua utilizado por res o cerdo en un día de sacrificio, según la formula:

$$V = \frac{\text{Volumen total de agua}}{\text{Número de reses o cerdos} * \text{día}}$$

#### **4.2.2. Seguimiento de la calidad fisicoquímica del efluente**

Los ensayos de los parámetros fisicoquímicos se realizaron de acuerdo con lo establecido en el Standard Methods que se resume en el Anexo B. Para la recolección de las aguas residuales a evaluar se tomaron muestras compuestas, debido a la variación de concentración de cargas orgánicas y de composición a través del tiempo. El análisis de estas muestras fue realizado en la Unidad de Análisis Industriales de la Universidad del Cauca. Los parámetros medidos y la frecuencia de muestreo se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Parámetros de medición para caracterización del efluente del matadero

PARÁMETRO	FRECUENCIA SEMANAL	NÚMERO DE DATOS
DBO	2	36
DQO	2	24
Sólidos Suspendidos Totales	2	24
Nitrógeno total	2	24
Fósforo total	2	24
Aceites y grasas	2	24
pH	2	48
Temperatura	2	48

#### 4.2.3. Aforos de caudal

El aforo de caudales de agua residual se realizó a través del método volumétrico, aplicable principalmente a los caudales de canales o conductos pequeños, para ello se registra el tiempo que toma en llenar un volumen de aproximadamente 2,6L de agua y se ingresa en la siguiente ecuación:

$$\text{Caudal (L/min)} = \frac{\text{Volumen del cubo (L)}}{\text{Tiempo de llenado (min)}}$$

Este proceso se llevó a cabo durante dos semanas, con una frecuencia de dos días, tomando como referencia el día de menor y mayor sacrificio (viernes y sábado, respectivamente).

La medición de cada uno de los caudales se llevó a cabo en diferentes intervalos de tiempo, en los cuales se vertía por cada una de las tuberías cantidades variables de agua residual. Estos vertimientos se midieron de forma individual directamente en la tubería a través del método volumétrico y aquellos que se realizaron de forma alterna se sumaron a fin de encontrar el caudal total de agua residual proveniente del salón de sacrificio, dando como resultado los caudales que se especifican en el Anexo C.

#### **4.2.4. Selección de alternativas de tratamiento biológico**

Con los resultados obtenidos de aforos de caudal y la caracterización fisicoquímica del efluente proveniente del matadero municipal, se evalúa la viabilidad del tratamiento y se discuten las posibles alternativas de tratamiento biológico, teniendo en cuenta que la mejor opción para tratar aguas residuales con altas cargas orgánicas, es el tratamiento anaeróbico, ya que se adapta a las condiciones del entorno rural y garantiza una calidad adecuada de agua que puede ser vertida con menor impacto sobre las estructuras de alcantarillado o a un cuerpo de agua.

### **4.3. DESARROLLO DEL OBJETIVO 2**

En la consecución de este objetivo se llevaron a cabo las siguientes actividades.

#### **4.3.1. Identificación y evaluación de la cantidad de subproductos para la implementación de procesos de Producción más limpia**

Para cuantificar la cantidad de subproductos generados por el matadero, se tuvo en cuenta inicialmente la cantidad de agua utilizada para el lavado de los restos de los animales y los salones de sacrificio, registrados en las jornadas de inspección sanitaria, de las cuales se obtuvo el volumen total de agua utilizado por res o cerdo en cada uno de los días de sacrificio. Posteriormente se registraron los volúmenes de rumen y sangre que se recogieron en cada uno de estos días, a fin de evaluar la cantidad de subproductos que pueden utilizarse para la implementación de procesos de PML. Cabe anotar, que la cantidad de subproductos registrada puede representar solo un 60% de lo que realmente podría recogerse, pues gran parte de ello se pierde en el proceso de lavado.

#### **4.3.2. Selección de procesos de Producción más limpia (PML)**

Una vez obtenidas las cantidades de agua, rumen y sangre producidas, se propone la implementación de procesos de PML para el aprovechamiento de tales subproductos. La implementación de estos procesos de PML, puede traer beneficios significativos, sin necesidad de adoptar costosas soluciones tecnológicas, comenzando por un cambio de actitud en la parte administrativa y empleados para mejorar la eficiencia, las prácticas de mantenimiento, los procedimientos y la política ambiental del municipio.

## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. INSPECCIÓN SANITARIA

En las visitas realizadas al interior del matadero se observó que a pesar de que el lavado de las instalaciones no es exhaustivo desde el punto de vista de la asepsia, demanda grandes cantidades de agua pues es realizado de manera continua en las jornadas de sacrificio y faenado, sobre reses, pisos y paredes, dada la gran cantidad de sangre, rumen, y otros residuos que se producen y que de no retirarse obstaculizarían las actividades y taponarían los conductos de evacuación de residuos y vertidos. Debido a ello se calcularon los volúmenes de agua utilizados durante cada una de las jornadas de inspección, los cuales se especifica en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Volumen total de agua gastado en el matadero municipal

	PROMEDIO DE SACRIFICIOS		VOLUMEN PROMEDIO DE AGUA GASTADO POR JORNADA DE SACRIFICIO (m <sup>3</sup> /animal*día)		VOLUMEN PROMEDIO DE AGUA GASTADO	
	MIÉRCOLES	SÁBADO	MIÉRCOLES	SÁBADO	m <sup>3</sup> /animal*día	L/animal*día
<b>RESES</b>	8	34	1,67	1,93	1,8	1800
<b>CERDOS</b>	4	7	0,18	0,21	0,2	200

En el proceso de lavado de vísceras y del salón de sacrificio de reses, el consumo promedio de agua por animal faenado es de aproximadamente 1800 L/cabeza, y en salón de sacrificio de cerdos es de un promedio de 200 L/cabeza.

Estos valores sin duda alguna, indican que una gran cantidad de agua residual está siendo vertida en la tubería del alcantarillado municipal y se mezcla con las aguas residuales domésticas tratadas en la PTAR de El Tambo, afectando negativamente su eficiencia y disminuyendo los tiempos de detención para los que fueron concebidas las distintas unidades que conforman dicha estación depuradora.



Por otra parte, a pesar de que el gasto de agua por res o cerdo sacrificado refleja serias deficiencias de operación, se están ejecutando procesos de recolección en seco de rumen y sangre, destinados para la producción alimenticia de animales y humanos, respectivamente.

En la Tabla 7 se indican los volúmenes de rumen y sangre que se recogen por día de sacrificio en el salón de reses. Cabe anotar que en el salón de sacrificio de cerdos no se hace ninguna recolección, destinando todos los residuos hacia la tubería de alcantarillado.

**Tabla 7.** Volumen promedio de sangre y rumen recolectados

SUBPRODUCTO	VOLUMEN PROMEDIO DE RECOLECCIÓN POR JORNADA DE SACRIFICIO (L/animal*día)		VOLUMEN PROMEDIO DE RECOLECCIÓN POR ANIMAL SACRIFICADO (L/animal*día)
	MIÉRCOLES	SABADO	
<b>RUMEN</b>	22,75	24,36	23,6
<b>SANGRE</b>	25,03	31,23	28,13

La cantidad de rumen y la sangre recolectados superan los 20 L/cabeza, sin embargo se puede aprovechar una mayor cantidad de ellos debido a su valor nutricional, pudiendo implementarse procesos de Producción más limpia (PML), que pueden traer beneficios en la disminución de los costos de construcción y operación de los posteriores sistemas de tratamiento de aguas residuales.

## 5.2. AFOROS DE CAUDAL

En las diferentes jornadas de aforo de caudal se contabilizó hora por hora el caudal vertido simultáneamente por cada una de las tuberías del salón de sacrificio de reses, sumados al caudal vertido en el salón de sacrificio de cerdos, en donde las dos llaves que se utilizan para lavado, permanecen todo la jornada de sacrificio abiertas, debido a que su caudal es demasiado pequeño y no alcanza a suplir todas las necesidades de agua que se requieren en el salón.

Al finalizar cada una de las jornadas de sacrificio se sumaron los caudales correspondientes a cada uno de los puntos de aforo, a fin de estimar el caudal horario promedio cuyos resultados se presentan en el Anexo C, y se resumen en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Caudal horario promedio en el matadero municipal por jornada de sacrificio

HORA	VOLUMEN DE AGUA GASTADO (L)		CAUDAL HORARIO PROMEDIO (L/s)	
	MIÉRCOLES	SÁBADO	MIÉRCOLES	SÁBADO
11a12		299,64		0.0832
12a1		429,34		0.119
1a2		434,54		0.121
2a3	334,07	763,63	0,09	0.212
3a4	329,11	12665,07	0,09	3,52
4a5	3000,14	28115,17	0,83	7,81
5a6	8371,82	23451,35	2,33	6,51
6a7	758,45	3905,89	0,21	1,08
<b>TOTAL</b>	<b>12793,59</b>	<b>70064,63</b>		
<b>PROMEDIO</b>			<b>0,71</b>	<b>2,43</b>

Los caudales registrados en la Tabla 8, sin duda alguna servirán como base para la determinación de la capacidad del tratamiento a realizar a las aguas residuales provenientes de la central de sacrificio. La elección racional de caudal de diseño se basa en consideraciones de tipo hidráulico y del proceso. Las unidades de proceso y los conductos para el transporte del agua residual se deben dimensionar en forma tal que permitan soportar los caudales pico que llegarán a la planta de tratamiento. Muchas de las unidades de tratamiento se diseñan con base en el tiempo de retención hidráulica o la carga superficial (caudal por unidad de área superficial) para lograr las tasas deseadas de remoción de DBO y SST. En vista de que el desempeño de estas unidades de tratamiento puede verse afectado en forma significativa, como consecuencia de variaciones en el caudal o en la carga másica del contaminante afluente, se deben considerar los caudales máximo y mínimo en el diseño (Crites y Tchobanoglous, 2000).

### **5.3. ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL EFLUENTE DEL MATADERO**

La estadística descriptiva de los diferentes parámetros fisicoquímicos encontrada en el efluente del matadero municipal de El Tambo (Cauca) se presenta en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Estadística descriptiva de los parámetros físico químicos del efluente del matadero

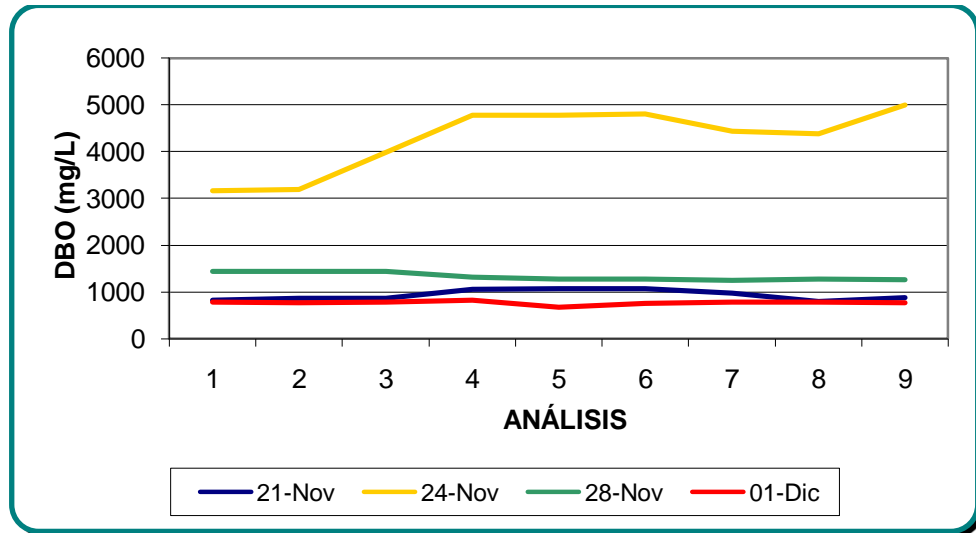
PARÁMETRO	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	NÚMERO DE DATOS
DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	9023,6	13094	5400	2363,3	24
DBO <sub>5</sub> (mg/L O <sub>2</sub> )	1828,8	4996	669	1488,8	36
SST (mg/L)	1356,9	1872	1011	312,3	16
NITROGENO TOTAL (mg/L N)	888,7	1069	591	184,8	24
FOSFORO TOTAL (mg/L P)	26	44,33	13,11	11,2	24
GRASAS Y ACEITES (mg/L)	78,4	120	33	27,3	16
pH	7,6	7,98	7,39	0,18	16
TEMPERATURA (°C)	19,7	20,1	19,1	0,36	16

### 5.3.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)

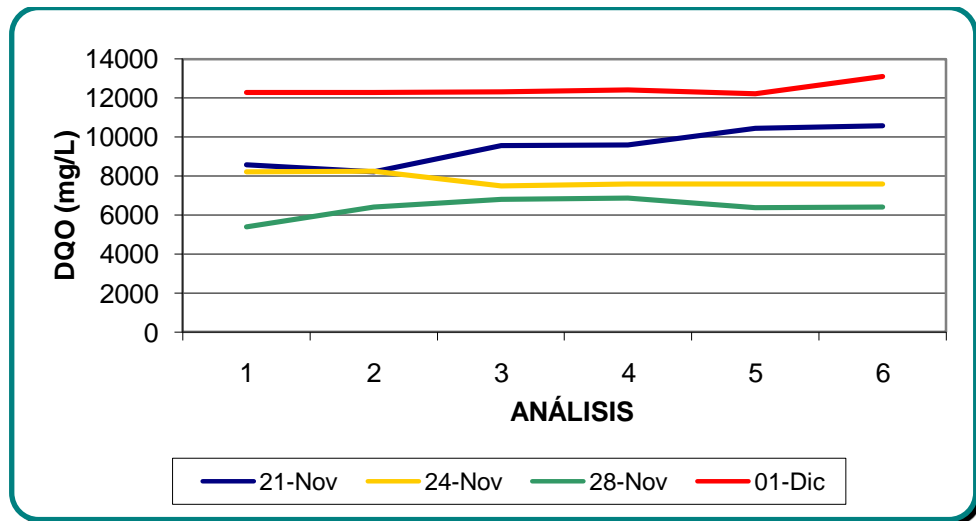
En las Figuras 8 y 9 se muestra el comportamiento de la DBO<sub>5</sub> y DQO, respectivamente, durante todo el periodo de muestreo. En ellas se puede observar que durante el tiempo de estudio, los valores de DBO<sub>5</sub> y DQO mantienen un rango alto, lo que indica la presencia de gran cantidad de contaminantes orgánicos, característicos del proceso matarife.

Los valores de DBO<sub>5</sub> cuyo promedio es de 1828,8 mg/L se deben posiblemente al vertimiento de sangre que se realiza a la tubería, ya que la sangre de degüello tiene una concentración en DBO<sub>5</sub> determinada por dilución de 170000mg/L, pudiendo alcanzar valores de 4000 a 5000 mg/L en el agua residual si no hay separación de sangre o dilución en los desagües (Shimamoto, 1998). Estos valores actualmente superan ampliamente el valor permitido a sistemas de alcantarillado, que sugiere valores máximos de 700 mg/L (Decreto 1594 de 1984).

**Figura 8.** Variación de DBO<sub>5</sub> durante el periodo de muestreo



**Figura 9.** Variación de DQO durante el periodo de muestreo



A pesar del rango en que se mueven estos valores, la relación DBO/DQO definido como el factor de biodegradabilidad de un agua residual ( $F_b = DBO / 0.65 DQO$ ) en la mayoría de días de muestreo se encuentra comprendido entre los valores 0.1 y 0.4, como se muestra en la Tabla 10, lo que indica que el efluente del matadero no tendría muy buenas características para ser tratado por medios biológicos sin antes haber separado los materiales de difícil degradación como el rumen y la grasa (que constituyen un alto aporte a la DQO, disminuyendo el factor de biodegradabilidad) y adicionar un inóculo adecuado.

**Tabla 10.** Factor de biodegradabilidad durante el periodo de muestreo

<b>FECHA</b>	<b>PROMEDIO DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	<b>PROMEDIO DQO (mg/L)</b>	<b>FACTOR DE BIODEGRADABILIDAD</b>
21 noviembre	935	9486	0,15
24 noviembre	4280	7792,8	0,85
28 noviembre	1330	6392	0,32
1 diciembre	770	12423,6	0,09
<b>PROMEDIO</b>			<b>0,35</b>

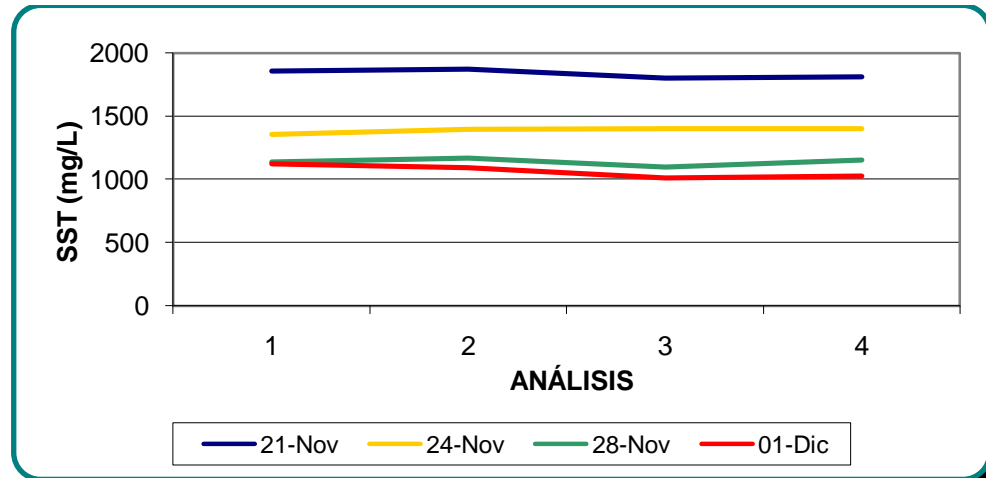
El inóculo que puede utilizarse para mejorar la calidad de sustrato es el compuesto por una mezcla de estiércol de cerdo y el lodo efluente de sistemas de tratamiento anaeróbico o digestores anaeróbicos utilizados para tratar aguas residuales de mataderos (sugerencia basada en el estudio de inóculos para rallanderías realizado por Salazar y Sánchez, 2007). El lodo mencionado puede ser colectado en la Planta de Tratamiento de Aguas residuales de Popayán y las proporciones a utilizar requieren de un estudio adicional al presente.

### **5.3.2. Sólidos Suspendidos Totales (SST)**

En la Figura 10 se muestra el comportamiento que presentaron los SST durante el período de estudio. Se puede apreciar que los niveles de sólidos en todo el proceso de sacrificio son altos, debido al arrastre de grandes cantidades de pelos, sangre coagulada, restos de vísceras, entre otros, que son descargados por acción del lavado en la canaleta que recibe el agua residual.

Según estos datos, el vertimiento que actualmente se realiza a las alcantarillas puede ocasionar taponamiento de algunas de las unidades del sistema de tratamiento de aguas residuales, donde llegan actualmente las aguas servidas. Debido a ello se requiere de una eliminación por separado del estiércol de las tripas, el cual reduce materialmente la cantidad de sólidos en las aguas residuales que son vertidas (FAO, 2005).

**Figura 10.** Variación de SST durante el periodo de muestreo



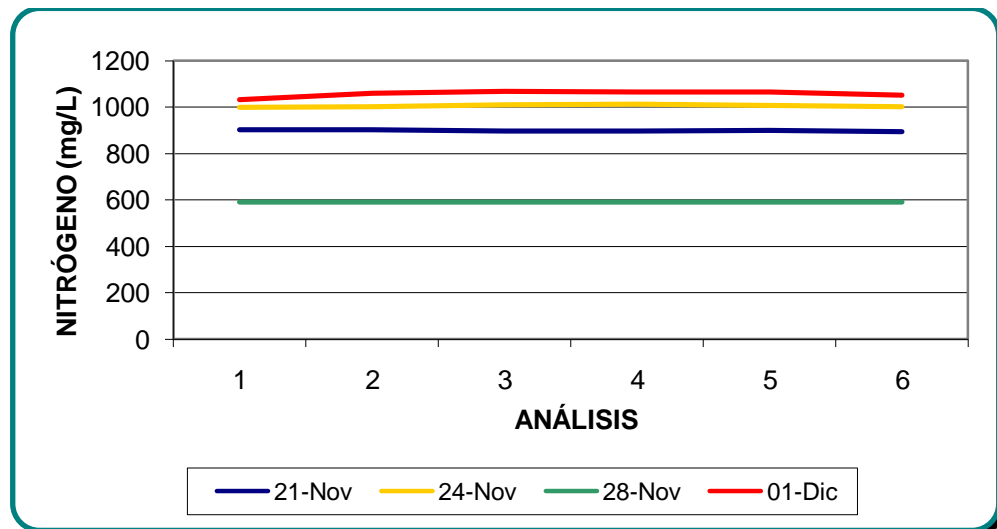
Para el posterior tratamiento anaerobio según las especificaciones de funcionamiento del UASB y el FAFA, que deben ser inferiores a 1000mg/l y 500mg/L, respectivamente (Tablas 2 Y 14), estos sólidos deben removerse inicialmente con tratamiento preliminar y primario, en donde se remueve hasta un 70% de SST (FAO, 2005).

### 5.3.3. Nitrógeno Total

Los niveles de nitrógeno total encontrados en el matadero municipal (Figura 11) son bastante altos, alcanzando valores hasta de 1000 mg/L N, derivados de residuos como sangre, rumen y estiércol que proveen al agua residual de altas concentraciones de nitrógeno.

Estas concentraciones de nitrógeno se deben en el matadero a compuestos como la urea y las heces de los animales, que contienen cantidades apreciables de proteína no asimilada (nitrógeno orgánico) (Sawyer, 2001), lo que hace que el agua residual tenga niveles elevados de DQO pero no de DBO (lo que disminuye el factor de biodegradabilidad del residuo total), ya que el rumen por su parte está compuesto de hidratos de carbono fibrosos que constituyen la fibra vegetal. Desde el punto de vista químico, la fibra es un agregado de componentes que no constituyen una entidad propia, y que se compone de un entramado tridimensional de celulosa, hemicelulosa y lignina. Este último a nivel bacteriano es de difícil biodegradabilidad ya que para la degradación de ellos se requiere de enzimas que las bacterias no poseen (Calsamiglia, 1997).

**Figura 11.** Variación de nitrógeno total durante el periodo de muestreo

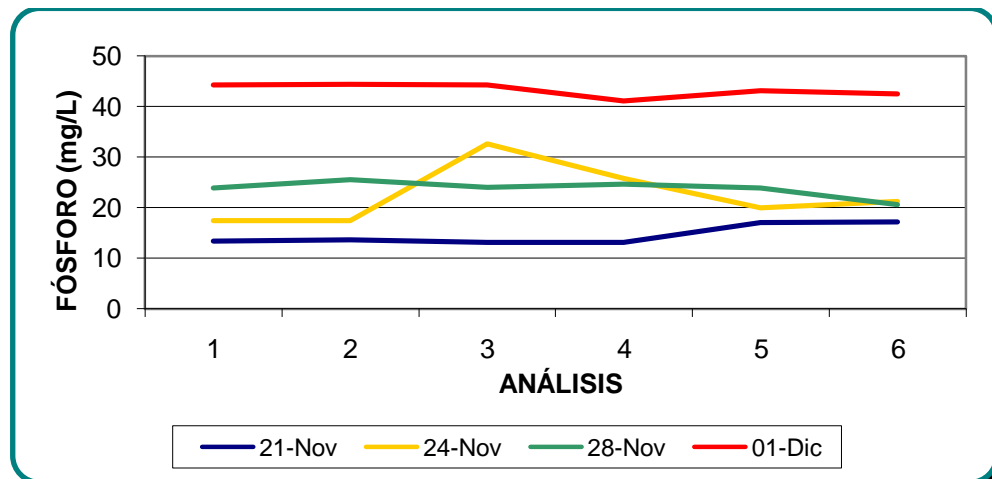


#### 5.3.4. Fósforo Total

En la Figura 12, se muestra el comportamiento que tuvo el fósforo durante el periodo de estudio. Estos niveles de Fósforo, comparados con los niveles de nitrógeno son bajos, debido a que el estiércol de vaca tiene valores traza de fosfatos (Orgánicos T&C, 2007).

El vertimiento de estas cantidades de fósforo se deriva del excremento, la orina, el alimento desechado, y/o materia orgánica, que al sedimentarse en la parte inferior de las tuberías generan procesos de descomposición que dan origen a la forma diluida del fósforo (ortofosfatos), que son vertidos al sistema de alcantarillado causando costras que limitan su funcionamiento y reducen su vida útil.

**Figura 12.** Variación de fósforo durante el periodo de muestreo



La investigación ha demostrado que el nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento de microorganismos y que la limitación de estos elementos es usualmente el factor que controla su tasa de crecimiento (Sawyer, 2001), motivo por el que su control en el tratamiento posterior es fundamental para garantizar el crecimiento de bacterias en los sistemas anaeróbicos.

### 5.3.5. Aceites y grasas

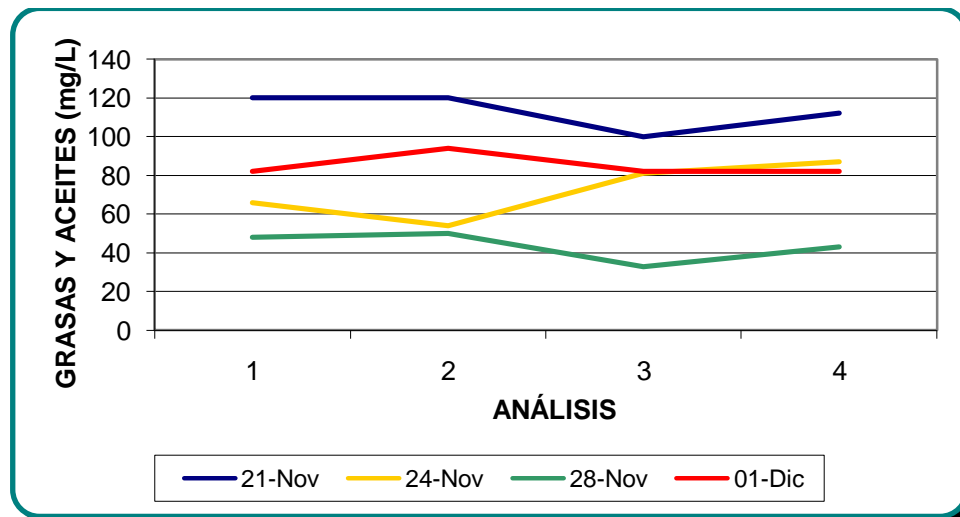
Como se presenta en la Figura 13, los valores de aceites y grasas característicos del efluente del matadero municipal son bastante altos, debido a sus elevadas concentraciones en la sangre de los animales sacrificados.

Al aceite y a la grasa se les concede especial atención por su escasa solubilidad en el agua y su tendencia a separarse de la fase acuosa. Si bien estas características son una ventaja para facilitar la separación del aceite y la grasa mediante el uso de sistemas de flotación, complican el transporte de residuos por las tuberías, su destrucción en unidades de tratamiento biológico y su disposición en las aguas receptoras.

Los residuos de la industria del empaque de carnes, especialmente de las grasas duras que provienen de mataderos de ovejas y reses disminuyen severamente la capacidad de transporte de las alcantarillas (Sawyer, 2001).



**Figura 13.** Variación de grasas y aceites durante el periodo de muestreo



Estas situaciones y otros factores relacionados con el tratamiento o la disposición definitiva, han servido como base para establecer normas y reglamentos que controlan la descarga de materiales grasos a los sistemas de alcantarillado o aguas receptoras (máximo 200 mg/L) y han obligado a la instalación de equipo de tratamiento en muchas industrias para recuperar la grasa o el aceite antes de que se autorice el desagüe (Sawyer, 2001). A pesar de que los valores (menores a 120mg/L) actualmente no superan la norma en cuanto a vertimientos de grasas y aceites se hace necesario la implementación de una trampa de grasas previo al sistema de tratamiento, a fin de evitar los inconvenientes mencionados.

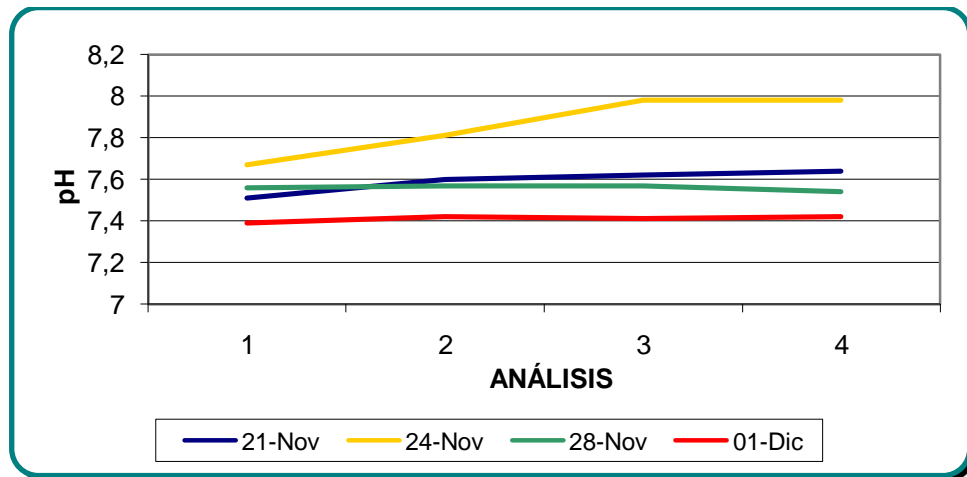
Cabe anotar además que su remoción es necesaria ya que la biodegradabilidad de las grasas es baja, afectando algunos sistemas de tratamiento primario y secundario como los filtros percoladores y los procesos de lodo activado cuando las excesivas cantidades de grasa que se generan en el matadero, envuelven las formas biológicas lo suficiente como para interferir con la transferencia de oxígeno del líquido al interior de las células vivientes. Este fenómeno se describe como acción “asfixiante” (Sawyer, 2001).

### 5.3.6. pH

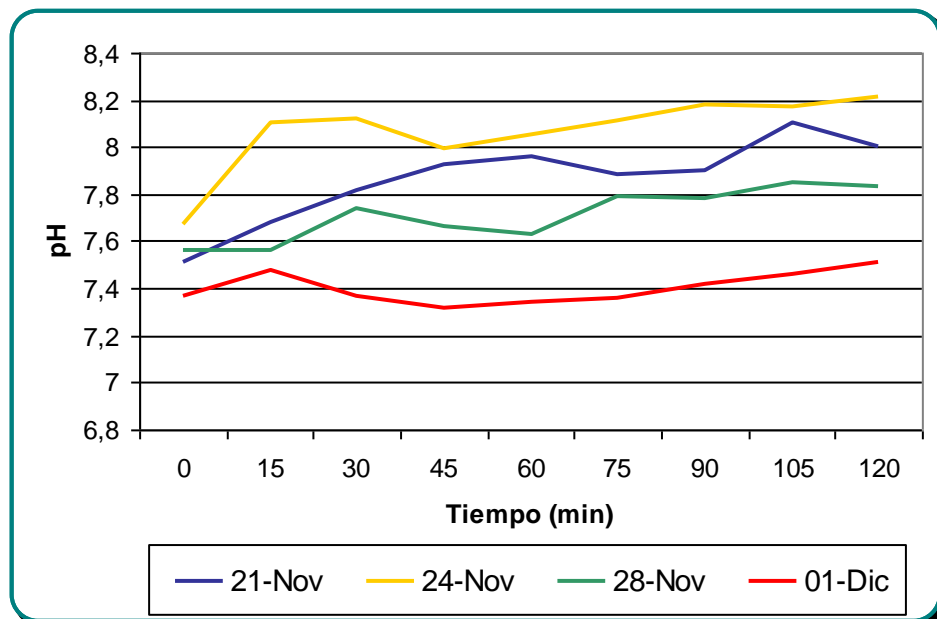
Los valores de pH encontrados en el efluente del matadero están en el rango de 7,4 a 8 unidades, que según Aqualimpia (2007) son valores máximos que se presentan en la industria matarife. En la Figura 14, se observa que durante todo el periodo de estudio, el pH presenta muy pocas variaciones y no supera el rango

exigido por el Decreto 1594 de 1984, para vertimientos en los sistemas de alcantarillado (5 a 9).

**Figura 14.** Variación de pH durante el periodo de muestreo



**Figura 15.** Variación de pH en un intervalo de dos horas



A fin de realizar un análisis de variación de pH en un periodo de dos horas para evaluar la incidencia del agua residual en el sistema de tratamiento a implementar,

se obtuvieron los resultados presentados en la Figura 15, indicando que el pH tiende a subir en el periodo de análisis, sin alcanzar valores superiores a 8.3 que según Romero (1999) afectarían el sistema de tratamiento biológico posterior.

A pesar de que los análisis indican un leve incremento, este parámetro no se debe relegar, debido a que la producción de CO<sub>2</sub> y reducción simultánea a metano en los sistemas de tratamiento anaerobio, se realiza por dos grupos de microorganismos principalmente: hidrolíticos y de metano. Las bacterias hidrolíticas atacan a las sustancias orgánicas complejas para convertirlas en simples, entre estas hay bacterias que forman en la degradación ácidos orgánicos de bajo peso molecular, como el acético y el butírico, en algunos casos se forman en cantidad suficiente para bajar el pH. Sin embargo, las bacterias del metano son capaces de utilizar esos productos finales, lo que ocurre es que proliferan en un margen de pH entre 6,5 y 8 y con lentitud, por lo que los ácidos formados se pueden acumular (FAO, 2005).

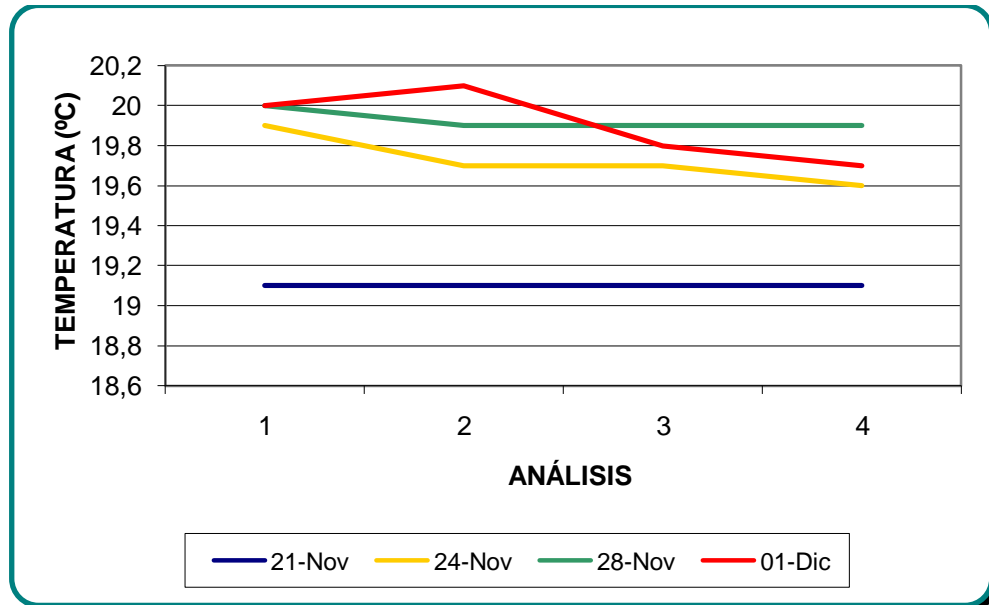
### **5.3.7. Temperatura**

Los valores de temperatura característicos del efluente del matadero, se presentan en la Figura 16, encontrándose en un rango de 19 a 20°C, temperatura superior a la temperatura ambiente (18°C), fenómeno generado por el vertimiento de rumen y sangre, subproductos que alcanzan temperaturas de 37°C dentro del animal, y que finalmente se mezclan con el agua residual.

Estos valores de temperatura no superan la normatividad (menor a 40°C) de vertimientos a las alcantarillas, sin embargo se debe tener un mayor control de ella a la hora de implementar los sistemas de tratamiento en donde a mayor temperatura, se requiere de menor tiempo de retención hidráulico (TRH) y por consiguiente un volumen mucho menor que reduciría los gastos de construcción y operación.

A estas temperaturas el UASB funcionaría adecuadamente ya que requiere temperaturas mayores a 15°C (Tabla 14), garantizando un ambiente adecuado para el crecimiento de los microorganismos.

**Figura 16.** Variación de temperatura durante el periodo de muestreo



Los análisis fisicoquímicos realizados en el matadero municipal de El Tambo (Cauca), señalan que las condiciones actuales de vertimientos a sistemas de alcantarillado no son las adecuadas, comparados con la normatividad vigente, causando un fuerte impacto no solo a las estructuras de alcantarillado, sino al recurso agua que es utilizado masivamente durante las jornadas de sacrificio. De acuerdo a ello se hace necesaria la implementación de un sistema de tratamiento que permita reducir las cargas contaminantes de este efluente, en conjunto con procesos de producción mas limpia que ayuden a reducir el gasto de agua y a dar un mejor manejo de los subproductos generados.

En apariencia, el agua residual es de difícil biodegradabilidad, sin embargo, como se explicó anteriormente, la presencia de rumen y grasa, constituye la causa fundamental por la cual se incrementa la DQO y el factor de biodegradabilidad disminuye, lo que implica, que la eliminación o separación previa de dichos compuestos por medios físicos aumentará la biodegradabilidad del agua residual, y la hará susceptible de tratamiento biológico con comportamiento similar al residuo que está siendo tratado en algunas centrales de sacrificio del país que cuentan con Planta de Tratamiento.

## 6. POSIBLES ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO PARA EL EFLUENTE

Al observar los caudales del sistema (Tabla 8) se tiene que en promedio ingresa al matadero municipal un caudal máximo de 7.81 L/s, y un volumen máximo promedio de agua de 70064.6L lo que para efectos de diseño y construcción generaría altos costos en la implementación de un sistema para el tratamiento de estos volúmenes de agua, obligando inicialmente a implementar procesos de PML (Numeral 7) que permitan reducir el gasto de agua en un 50% y obtener los volúmenes y caudales presentados en la Tabla 11, los cuales se utilizarán para cálculos de diseño.

**Tabla 11.** Caudal horario promedio en el matadero municipal por jornada de sacrificio aplicando procesos de PML

HORA	VOLUMEN DE AGUA GASTADO (L)		CAUDAL HORARIO PROMEDIO (L/s)	
	VIERNES	SÁBADO	VIERNES	SÁBADO
11 <sup>a</sup> 12		104,77		0,029
12a1		150,12		0,042
1a2		151,94		0,042
2a3	116,81	267,00	0,03	0,074
3a4	115,07	4428,35	0,03	1,23
4a5	1049,00	9830,48	0,29	2,73
5a6	2927,21	8199,77	0,81	2,28
6a7	265,19	1365,70	0,07	0,379
<b>TOTAL</b>	<b>4473,28</b>	<b>24498,12</b>		
<b>PROMEDIO</b>			<b>0,25</b>	<b>0,85</b>

Los sistemas de tratamiento para el efluente deben acomodarse a las características rurales del entorno, donde la disponibilidad del terreno es escasa, lo que dificultaría la implementación de tecnologías que presenten altos requerimientos de área para su adecuado funcionamiento, o condiciones de operación y mantenimiento que difícilmente se pueden garantizar localmente (Yasnó y García, 2007). Adicional a esto, el matadero no cuenta con rubros suficientes para la implementación de tecnologías que necesiten requerimientos energéticos. De acuerdo a lo anterior, las posibles alternativas de tratamiento para las aguas residuales provenientes del matadero se describen a continuación:

## 6.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR

Debido al arrastre de sólidos grandes como pedazos de cuero, restos de vísceras, sangre coagulada, entre otros, y gran cantidad de aceites y grasas, es indispensable realizar tratamiento preliminar, el cual tiene como objetivos: acondicionar el agua residual para ser tratada en las etapas posteriores de tratamiento, remover materiales que pueden interferir con los equipos y reducir la acumulación de materiales en los procesos ubicados aguas abajo del tratamiento preliminar (Crites y Tchobanoglous, 2000).

### 6.1.1. Tamizado grueso

El cribado es la operación utilizada para separar material grueso del agua, mediante el paso de ella por una criba o rejilla. La rejilla puede ser de cualquier material agujereado ordenadamente, por ejemplo una plancha o lámina metálica, de madera o de concreto, con agujeros redondos, cuadrados o de cualquier forma geométrica. También puede construirse una rejilla con una celosía fija o emparrillado o varillas de hierro o de acero. Su función es muy importante y produce la eliminación de condiciones perjudiciales (bloqueos de la bomba o de las tuberías), corriente abajo, así como aumenta la eficacia de los pretratamientos. Ese método tiene poco efecto en la reducción de la DBO, las grasas y los aceites o los sólidos en suspensión, motivo por el que debe complementarse con tratamiento preliminar adicional (FAO, 2005). Las características principales de los dos tipos de rejillas usados, de limpieza manual y mecánica, se incluyen en la Tabla 12 (Metcalf y Eddy, 1979 citado por Romero, 1999).

**Tabla 12.** Características de rejillas de barras

CARACTERÍSTICAS	DE LIMPIEZA MANUAL	DE LIMPIEZA MECÁNICA
Ancho de las barras	0,5 – 1,5cm	0,5 – 1,5cm
Profundidad de las barras	2,5 – 7,5cm	2,5 – 7,5cm
Abertura o espaciamiento	2,5 – 5,0cm	1,5 – 7,5cm
Pendiente con la vertical	30° – 45°	0° – 30°
Velocidad de acercamiento	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1 m/s
Perdida de energía permisible	15cm	15cm

Fuente: Romero, 1999

La longitud de las rejillas de limpieza manual no debe exceder de la que permita su limpieza conveniente por el operador. En la parte superior de la rejilla debe proveerse una placa de drenaje o placa perforada, con el objeto de permitir el drenaje temporal del material removido. Mientras que el canal de acceso a la rejilla previene la acumulación de arena u otro material pesado, antes y después de esta. El canal debe, preferiblemente ser horizontal, recto y perpendicular a la rejilla, para promover una distribución uniforme de los sólidos retenidos por ella.

A medida que el material se acumula sobre la rejilla, esta se va taponando y la pérdida de energía, consecuentemente, aumenta. El diseño estructural debe ser el adecuado para impedir la rotura de la rejilla cuando este taponada, facilitar su limpieza y disposición del material removido, así como para reducir los reboses por taponamiento (Romero, 1999).

### **6.1.2. Trampa de grasas**

A fin de evitar el fenómeno descrito como acción “asfixiante” (Sawyer, 2001), es indispensable realizar la remoción de estas sustancias a través de la trampa de grasas, que en este caso incluye materiales de tejido animal, con el objeto de prevenir el taponamiento de las tuberías y el efecto deletéreo que puedan tener ellas sobre la acción bacteriana y la sedimentación en el tanque homogeneizador.

Las altas concentraciones de grasas que se dan en las aguas residuales del matadero pueden causar problemas en el tanque homogeneizador, por ello previamente debe instalarse una trampa de grasas con separadores de espuma suficientes, para evitar que estas se acumulen y puedan bloquear los filtros anaeróbicos posteriores, se estanquen y causen problemas de olor (FAO, 2005).

Una trampa de grasas es una cámara pequeña de flotación en la cual la grasa flota a la superficie libre del agua y es retenida, mientras que el agua más clara subyacente es descargada. La trampa debe tener un diseño hidráulico y un tiempo de retención adecuado para el propósito propuesto; la distancia entre la entrada y la salida de la trampa ha de ser suficiente para permitir la separación diferencial por gravedad y no dejar escapar grasas por la unidad de salida. En una trampa de grasas no hay equipo mecánico y el diseño es similar al de un tanque séptico. El mantenimiento pobre es lo que hace que en la mayoría de los casos las trampas para grasas no funcionen adecuadamente, la falta de limpieza continua permite la acumulación excesiva de grasa en la trampa y su descarga con el efluente. Para un buen funcionamiento de la trampa deben evitarse las cargas hidráulicas súbitas sobre ella ya que esto puede producir agitación excesiva del contenido de la trampa,

impide la retención y flotación de la grasa y permite su escape por la unidad de salida (Romero, 1999).

### 6.1.3. Tamizado fino

Posterior a la remoción de sólidos gruesos, se requiere la implementación de tamices finos con el objetivo de remover sólidos mucho más pequeños, como cantidades sustanciales de pelo y evitar atascamiento en las tuberías de drenaje. Aunque existe una gran variedad de tamices finos, los tres más usados son: tamiz de malla inclinada con forma de cuña, tamiz de tambor de disco rotatorio. Sus características más comunes y los datos usuales de remoción de DBO<sub>5</sub> y SST con tamices finos se registran en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Características de tamices finos

PROCESOS	TAMAÑO DEL ORIFICIO (Pulg)	REMOCIÓN DE DBO <sub>5</sub> (%)	REMOCIÓN DE SST (%)
Parabólico fijo	0,01 – 0,125	5 – 20	5 – 30
Tambor rotatorio	0,01 – 0,125	25 – 50	25 – 45
Tamiz de disco rotatorio	0,01	35 – 55	35 – 55

Fuente: Crites y Tchobanoglous, 2000

Para el matadero municipal de El Tambo se pretenden adquirir comercialmente los tamices de tipo Hidranet, de tipo parabólico fijo, indicados para la separación de sólidos en suspensión de aguas residuales provenientes de mataderos. Esta separación se realiza de un modo rápido, sin aporte de energía, con ausencia casi absoluta de mantenimiento y en unas condiciones que hacen el transporte de estos sólidos más fácil que en cualquier otro sistema, ya que salen escurridos (Depuradoras, 2008).

### 6.1.4. Homogeneización de caudales

Las variaciones tanto de caudal como de carga que presenta el efluente del matadero municipal son continuas. La homogeneización de caudales es una medida empleada para superar los problemas de tipo operativo que causan estas variaciones de caudal y para reducir el tamaño y los costos de las unidades de tratamiento ubicadas aguas abajo. En efecto, la homogeneización amortigua las



variaciones de caudal, de manera que se alcanza un caudal de salida constante o casi constante.

La homogeneización de caudal posterior al tratamiento preliminar para el efluente del matadero se debe realizar debido a las variaciones considerables entre los valores máximo y promedio, de caudal (5 y 0,5L/s, respectivamente) y carga orgánica contaminante. La relación entre el caudal máximo y el promedio es mayor a 2 (alcanzando un valor de 10 unidades) por lo tanto la utilización de una unidad de homogeneización de caudal puede resultar viable desde el punto de vista económico.

La homogeneización se puede usar también para amortiguar las variaciones en el pH y en la concentración de constituyentes tóxicos presentes en el agua residual a tratar (Crites y Tchobanoglous, 2000), y que posteriormente se dirigen al tratamiento anaerobio, en donde las exigencias de ambiente son grandes por parte de los microorganismos. Además en esta unidad se pretende adicionar el inóculo que garantiza unas mejores condiciones de sustrato en los filtros (materia orgánica) para ser degradado.

Para dimensionar una unidad de homogeneización es necesario realizar un análisis basado en un balance de masas. En este método de balance de masas, el volumen de agua residual que ingresa a la planta en un intervalo de tiempo determinado se compara con el volumen de agua promedio horario, calculado para un periodo de 24 horas. Si el volumen entrante es menor que el valor promedio, el tanque de homogeneización comienza a ser drenado; mientras que si el volumen entrante es mayor que el valor promedio, el tanque comienza a llenar con el exceso de agua residual. La diferencia acumulada se usa para estimar el volumen necesario de almacenamiento del agua residual (Crites y Tchobanoglous, 2000).

## **6.2. ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO 1**

Para el tratamiento biológico del agua residual efluente del homogeneizador del matadero municipal se ha considerado como primera alternativa que se adapta mejor a las condiciones del entorno, la implementación de un reactor anaeróbico de manto de lodos y flujo ascendente (UASB), seguido de un filtro percolador, los cuales permiten mejorar la calidad físico química del agua a ser destinada bien sea a las estructuras de alcantarillado del municipio o a un cuerpo de agua.

Este sistema sería viable debido a que los antecedentes demuestran altas eficiencias de remoción cuando la concentración de SST Y DBO es alta, como es el caso del agua efluente del matadero. El UASB puede soportar altas cargas orgánicas, con un alto grado de eficiencia que puede oscilar entre 70-95 % de remoción dependiendo de la composición del agua residual (Lettinga, Rinzema y Hulshoff, 1992 citado por Rodríguez, Pedraza y Garza, 1997), sin embargo para aguas de matadero se han demostrado eficiencias del 65%, de aquí que este sistema debe contar con un tratamiento complementario, que garantice más del 90% de remoción de carga contaminante, en nuestro caso, se utilizaría un filtro percolador, que no es un proceso diseñado para ejercer una verdadera acción de tamizado o filtración del agua residual sino para poner en contacto aguas residuales con biomasa adherida a un medio de soporte fijo, constituyendo un lecho de oxidación biológica (Romero, 1999), removiendo la materia orgánica residual que queda a la salida del primer reactor.

### **6.2.1. Reactor anaeróbico de manto de lodos y flujo ascendente (UASB)**

El reactor o proceso de flujo ascensional y manto de lodos anaerobio, conocido en inglés como UASB y en español como RAFA o PAMLA, es un proceso en el cual el agua residual se introduce por el fondo del reactor y fluye a través de un manto de lodos conformado por granos biológicos o partículas de microorganismos.

El tratamiento se efectúa por contacto del agua residual con el lodo granulado o floculento, en el cual se deben desarrollar bacterias con buenas características de sedimentación, bien mezcladas por el gas en circulación. La concentración de SSV en el manto de lodos puede alcanzar los 100g/L. Los gases de la digestión anaerobia se adhieren a los granos o partículas biológicas o causan circulación interna para proveer la formación de más granos. El gas libre y las partículas con gas adherido se elevan hacia la parte superior del reactor. Las partículas que se elevan chocan con el fondo de las pantallas deflectoras para que el gas se libere. Los granos desgasificados caen de nuevo sobre la superficie del manto de lodos y el gas libre se captura en los domos localizados en la parte superior del reactor. La porción líquida fluye al sedimentador donde se separan los sólidos residuales del líquido. Esta recirculación interior de sólidos removidos permite edades de lodos prolongadas y hace innecesaria la recirculación externa de lodos.

El mecanismo de formación de lodo granulado aún no está claramente definido; sin embargo, se considera que aguas residuales diluidas con concentraciones de SST menores de 1.000 a 2.000mg/L dan origen a un manto de lodos mejor. Los estudios de Lettinga y Hulshoff demuestran que la eficiencia del sistema UASB no se ve afectada por la formación de un lecho de lodos granular o floculento (Droste,

1997 citado por Romero, 1999). Como la temperatura óptima del proceso es de 20 a 30°C, el sistema no fue usado en Europa para tratamiento de aguas domésticas; sin embargo, en 1981 Haskoning, la Universidad del Valle e Incol iniciaron estudios con una planta piloto de 64m<sup>3</sup> para el tratamiento de aguas residuales domésticas y, con base en estos estudios, las empresas municipales de Cali y la CDMB, con asistencia holandesa, iniciaron la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas del tipo UASB.

Entre las ventajas señaladas del proceso se incluyen construcción sencilla, requerimientos de área bajos, operación simple, no necesita energía, el gas puede utilizarse, produce poco lodo y la eficiencia en remoción de DBO y SS es aceptable, con tiempos de retención mayores de seis horas. Además supera a los demás sistemas convencionales anaerobios porque permite usar cargas orgánicas volumétricas mayores, es el único proceso anaerobio que remueve nitrógeno, no necesita mezcla artificial ni tanques independientes de sedimentación. Características que hacen ideal la implementación de este sistema en el matadero municipal.

El UASB es un reactor económico cuando se forma un lodo de buen asentamiento, lo cual es factible con aguas residuales ricas en carbohidratos. Algunas características de diseño del proceso se resumen en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Características de diseño del proceso UASB

PARÁMETRO	VALOR
Espacio inferior	4 – 5m
Espacio superior	1,5 – 2m
Borde libre	40cm
Inclinación de paredes para separador GSL	50 – 60°
Carga orgánica superficial	7m/h
Velocidad del agua en la garganta de retorno	5 m/h, para Q max horario
Área superficial de las aberturas entre el colector de gas	15 – 20% del área superficial del reactor
Altura mínima del colector de gas	1,5 – 2m

Fuente: RAS, 2000

Los reactores UASB para aguas residuales industriales se diseñan con base en la carga orgánica volumétrica. En la Tabla 15 se presenta un resumen de las cargas orgánicas aplicables en relación con la temperatura operacional para aguas residuales con VFA soluble y no-VFA soluble.

**Tabla 15.** Cargas orgánicas aplicables en relación con la temperatura operacional

TEMPERATURA (°C)	CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA (Kg/m <sup>3</sup> .día)			COMENTARIOS
	VFA	NO VFA	30% SS DQO	
15	2 – 4	1.5 – 3	1.5 – 2	Remoción de SS satisfactoria
20	4 – 6	2 – 4	2 – 3	Remoción de SS satisfactoria
25	6 – 12	4 – 8	3 – 6	Remoción de SS razonable
30	10 – 18	8 – 12	6 – 9	Remoción de SS moderada
35	15 – 24	12 – 18	9 – 14	Remoción de SS casi pobre
40	20 – 32	15 – 24	14 – 18	Remoción de SS pobre

Fuente: RAS, 2000

### 6.2.2. Filtro percolador o biofiltro

El filtro percolador o biofiltro es un proceso muy usado para el tratamiento de aguas residuales, tiene por objeto reducir la carga orgánica existente en aguas residuales domésticas o industriales. Consiste en un lecho de piedras, u otro medio natural o sintético, sobre el cual se aplican las aguas residuales, con el consecuente crecimiento de microorganismos, lamas o películas microbiales sobre el lecho.

En este sistema las aguas residuales se riegan sobre el lecho filtrante y se dejan percolar. El lecho del filtro percolador consiste en un medio altamente permeable, al cual se adhieren los microorganismos y a través del cual el residuo líquido se infiltra. Usualmente el medio es piedra de tamaño cambiante entre 2,5 y 10cm, profundidad variable según el diseño, generalmente 1 a 2,5m, en promedio 1,8m. Filtros percoladores con medio plástico, biorres, se construyen con profundidades hasta de 12m.

El filtro a usar en el matadero sería circular, con distribuidor rotatorio superficial del agua. Cada filtro tiene un sistema de drenaje inferior para recoger el agua residual tratada y los sólidos biológicos que se desprenden del medio. El sistema de drenaje es importante como unidad de recolección y como estructura porosa, a través de la cual circula el aire. El material orgánico presente en el agua residual es adsorbido y descompuesto por la biomasa adherida al medio filtrante; en la porción interior, cerca de la superficie del medio, predominan condiciones anaerobias; y en la parte externa, condiciones aerobias (Romero, 1999).

A medida que la película biológica aumenta de espesor, la materia orgánica adsorbida es utilizada por los microorganismos aerobios de la parte externa. Como resultado de esto, los microorganismos de la parte interna no disponen de suficiente sustrato y entran en crecimiento endógeno. En dicha fase pierden su capacidad de adherencia al medio, son arrastrados por la acción de lavado del agua residual, se desprende la película biológica y se inicia el crecimiento de una nueva lama de microorganismos.

Los filtros percoladores se clasifican con base en la carga hidráulica y orgánica, así como por sus principales características físicas. La comunidad biológica del filtro consiste esencialmente de protistas: bacterias aerobias, anaerobias y facultativas; hongos y protozoos (Crites y Tchobanoglous, 2000). También se encuentran presentes algunos gusanos, larvas de insectos y caracoles. Los organismos predominantes son bacterias facultativas y aerobias. En condiciones de pH bajo pueden predominar los hongos. En la parte superior del filtro, donde existe luz solar, se presentan crecimientos de algas, las cuales pueden causar taponamiento y disminuir la capacidad de infiltración (Romero, 1999). En la Tabla 16 se incluyen valores típicos de los parámetros y medios principales usados para clasificar filtros percoladores, según diferentes autores.

**Tabla 16.** Características principales de los filtros percoladores

CARACTERÍSTICAS	TASA BAJA O ESTÁNDAR	TASA INTERMEDIA	TASA ALTA	TORRES BIOLÓGICAS	DESBASTE
Carga hidráulica $m^3/m^2 \cdot d$ $m^3/m^3 \cdot d$	1 – 4 0,5 – 2,5	4 – 9 –	9 – 37 –	14 – 240	57 – 171
Carga orgánica Kg DBO/ $m^3 \cdot d$	0,08 – 0,32	0,24 – 0,48	0,32 – 1,8	< 4,8	> 2
Profundidad, m	1,5 – 3	1 – 2,5	0,9 – 2,5	< 12	0,9 – 6
Medio	Piedra, escoria	Piedra, escoria	Piedra, escoria sintético	Sintético	Piedra o sintético
Relación de circulación	0	0,5 – 2	0,5 – 4	1 – 4	0
Dosificación	Intermitente	Continua	Continua	Continua	Continua
Moscas de filtros	Muchas	Pocas	Pocas	Pocas	Pocas
Requerimientos de potencia, W/ $m^3$	2 – 4	2 – 8	6 – 10	10 – 20	–
Calidad del efluente	Nitrificado	Nitrificación parcial	No Nitrificado	Nitrificación baja	No Nitrificado
Porcentaje de remoción de DBO	80 – 85	50 – 70	40 – 80	65 – 85	40 – 85

Fuente: Romero, 1999

### **6.3. ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO 2: REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)**

Como segunda alternativa para el tratamiento biológico del agua efluente del matadero se ha considerado la implementación de un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), que es un proceso de crecimiento adherido propuesto por Young y McCarty en 1969, para el tratamiento de residuos solubles. Para las características de caudal y carga orgánica del agua residual del matadero es adecuado porque la biomasa permanece como una película microbial adherida y porque como el flujo es ascensional, el riesgo de taponamiento es mínimo. No obstante, los sistemas de lecho de relleno funcionan mejor con agua residuales que contienen pocos sólidos en suspensión, ya que estos se eliminan probablemente en el proceso y en los espacios de poro obstruidos. De aquí que este tratamiento sea viable para ser implementado, pues el agua a tratar además de presentar una alta carga orgánica será sometida a un tratamiento preliminar previo, mencionado anteriormente consistente en desbaste, desengrasado, tamizado y homogeneización que reducirán drásticamente la carga de sólidos que puede ingresar al filtro.

El filtro anaerobio está constituido por un tanque o columna, relleno con un medio sólido para soporte del crecimiento biológico anaerobio. El agua residual es puesta en contacto con el crecimiento bacteriano anaerobio adherido al medio y como las bacterias son retenidas sobre el medio y no salen en el efluente, es posible obtener tiempos de retención celular del orden de cien días (Culp, 1978 y Droste, 1997 citados por Romero, 1999) con tiempos de retención hidráulica cortos, permitiendo así el tratamiento de aguas residuales a temperatura ambiente. Los filtros anaerobios también pueden ser útiles para desnitrificar efluentes ricos en nitratos.

El proceso se adecua a las condiciones de terreno, tecnología y economía del municipio ya que no utiliza recirculación ni calentamiento y produce una cantidad mínima de lodo. El filtro anaerobio usa como medio de soporte de crecimiento piedras, anillos de plástico o bioanillos plásticos, colocados al azar. La mayor parte de la biomasa se acumula en los vacíos intersticiales existentes entre el medio. La acumulación de biomasa y de sólidos inertes puede causar canalización y cortocircuito. El medio permanece sumergido en el agua residual, permitiendo una concentración de biomasa alta y un efluente clarificado; el proceso se ha usado a bajas temperaturas, pero preferiblemente la temperatura debe ser mayor de 25°C (Young y Yang, 1989 citado por Romero, 1999). El espesor observado de biopelícula sobre diferentes medios plásticos es de 1 a 3mm. El residuo debe contener alcalinidad suficiente para mantener un pH, en la zona de lodos, mayor de 6,5.

En estudios con residuos industriales de DQO igual a 12.000 mg/L, carga orgánica volumétrica del orden de 4kg DQO/m<sup>3</sup>d, tiempo de retención hidráulica de un día, edad de lodos de 56d y temperaturas de 20 a 25°C, se lograron remociones del 88% de DQO (Oleszkiewicz, 1980 citado por Romero, 1999), por encima de la eficiencia esperada en la implementación del sistema en el matadero municipal.

Los estudios de Young (Rittman y Baskin, 1985 citado por Romero, 1999) indican las siguientes conclusiones principales sobre el proceso: el filtro anaerobio es apropiado para el tratamiento de gran parte de los residuos orgánicos industriales; el parámetro de diseño más importante es el tiempo de retención hidráulico; la concentración del afluente no afecta el rendimiento del proceso, excepto en aguas con menos de 2.000mg/L de DQO; se deben usar por lo menos 2m de altura de medio de soporte de crecimiento y preferiblemente medio de flujo cruzado de área superficial igual a 100m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>; la carga orgánica volumétrica ha de ser menor de 12kg DQO/m<sup>3</sup>d; los orificios de entrada deben espaciarse a menos de 1m de distancia entre sí; las bocas de extracción de lodos no pueden separarse mas de 3m entre sí y, como es obvio, el residuo debe tener pH, nutrientes y temperatura apropiados para crecimiento biológico anaerobio, condiciones con las que cumple el agua residual del matadero.

## 7. PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

Los residuos sólidos y líquidos son vertidos casi en su totalidad en el matadero, hacia el sistema de alcantarillado. Esta situación representa, además del evidente daño estructural y ambiental, un gran desperdicio de recursos que pueden ser empleados en diversas actividades y bien pueden ser considerados como un subproducto de la matanza. Esto significa que se requiere un cambio de paradigma en el que se entienda que los residuos no son algo de lo que hay que deshacerse inmediatamente sino que son recursos que se pueden y deben aprovechar. Al mismo tiempo que se disminuye la contaminación y se previenen riesgos a la salud humana directa o indirectamente.

De aquí la importancia de separar las aguas residuales, que contengan sangre, rumen y estiércol de las aguas provenientes del lavado exhaustivo de las instalaciones y animales. Estas aguas deben ser recogidas, tratadas y eliminadas teniendo en cuenta las cantidades, el tipo de líquidos y sólidos, las posibilidades de su uso después del tratamiento, la necesidad de evitar la contaminación y la protección de la salud pública (FAO, 2005). Las cantidades de agua residual estarán en lo esencial relacionadas con el número de animales sacrificados y el agua total consumida en el proceso de sacrificio (aproximadamente 1800L/cabeza), con inclusión de todos los desechos que contengan lavazas y sólidos suspendidos.

La instalación de recogida de las aguas residuales debe estar diseñada de manera que se divida en diferentes sistemas en el punto de origen:

- Drenaje de la sangre.
- Desagüe de rumen y estiércol de las tripas.
- Desagüe de las aguas de lavado provenientes del área de matanza y corrales.

La separación de los sistemas de desechos permitirá hacer economías en la adopción de medidas de tratamiento secundario en todo el sistema, debido a que el cálculo del volumen total se examina al tratar el volumen de las aguas de desecho; y a que la carga contaminante, que actualmente es vertida al sistema de alcantarillado es bastante alta e incumple las normas de vertimientos del país.



El sistema de desagüe de la sangre debe calcularse para el matadero sobre la base de un mínimo de 12L por cada bovino y de 3L por cada cerdo sacrificado (FAO, 2005), de aquí que el volumen del sistema de recolección de sangre para el matadero municipal de El Tambo deberá ser de aproximadamente  $0.44\text{m}^3$ . Mientras tanto el sistema de recolección para el estiércol de las tripas debe calcularse sobre la base de 16Kg de estiércol por cada bovino sacrificado, obteniendo un sistema con capacidad para almacenar aproximadamente 680Kg de residuos, en una jornada de sacrificio máximo.

Por su parte el desagüe de las aguas de lavado provenientes del área de matanza y corrales deberá estar en capacidad de conducir el caudal máximo que circula por el sistema, 7.81L/s, sin embargo este caudal exige un sistema de tratamiento grande y por consiguiente costoso, de aquí que los mecanismos de PML deben comenzar en los salones de sacrificio, donde se debe hacer todo lo posible por adoptar una recuperación eficiente de los subproductos y una limpieza en seco, no sólo porque ese material es en sí valioso, sino también porque la cantidad de desechos en el agua y el volumen efectivo del agua utilizada disminuyen asimismo, reduciendo de ese modo los gastos para el tratamiento posterior (FAO, 2005).

La aplicación de estos procesos actualmente puede conducir a la reducción de un caudal de 7.81L/s a uno de aproximadamente 2.73L/s, ya que la disminución en volumen de agua puede alcanzar valores hasta de un 70%. Sin embargo, para efectos de diseño se considerará una reducción inferior de volumen de agua, bajando los valores de 1800L/res a un valor de 600L/res, y de 200L/cerdo a un valor de 100L/cerdo.

## **7.1. APROVECHAMIENTO DEL RECURSO AGUA**

El mayor gasto sin duda alguna que se realiza en el matadero es del recurso agua utilizado de muchas maneras dentro de la industria (Néstor Monroy, 2003). Dentro de los diferentes usos podemos encontrar: en el ciclo productivo (insumo de producción, limpieza de materia prima, lavado de equipos) y administración (lavado de pisos, utilización de sanitarios, etc.). De aquí la importancia de aplicar procesos de PML que ayuden a reducir su consumo (de  $374\text{m}^3/\text{mes}$  a  $127\text{m}^3/\text{mes}$ ), a disminuir el costo por agua que paga el municipio (de \$220.286 a \$74.803 m/cte, mensualmente) y el costo de construcción y operación del tratamiento posterior. Las opciones que se presentan a continuación, son importantes a fin de reducir el consumo de agua dentro del matadero:

- Reducción de la carga de los efluentes, manteniendo todos los desechos sólidos (como heces, pelos, cueros, carnes y huesos) y los líquidos concentrados (como sangre, grasas, líquidos del intestino y contenido del estómago) separados de las aguas de descarga (recolección en seco). Esto minimiza la carga de los residuos líquidos y los efectos negativos de algunos compuestos para el tratamiento biológico posterior (Sistema nacional de inversiones públicas de Nicaragua, 2002).
- Implementación de un sistema de lavado de panzas en dos etapas, primero son vaciadas en seco, y luego son enjuagadas manualmente (Centro de producción más limpia de Nicaragua, 2004), en un tanque de almacenamiento sin utilizar mangueras de alta presión.
- Utilizando mangueras con boquillas aspersoras para el lavado del salón de sacrificio y los animales a sacrificar; ya que actualmente se utiliza agua a presión, provocando un gasto excesivo de agua.
- Incrementando la conciencia de los trabajadores y la educación de cómo reducir el consumo innecesario de agua, en cada uno de los pasos para llevar a cabo la totalidad del proceso productivo.

En el matadero municipal es importante tener un mayor control sobre el gasto de agua realizado en los procesos de lavado de superficies y restos del ganado, ya que actualmente no cuenta con un sistema de medidor que precise la cantidad de agua gastada por cada jornada de trabajo y que permitan implementar procesos adecuados que minimicen la descargas de agua residual. En este sentido sería indispensable instalar dispositivos de control de nivel (medidores) en el tanque de almacenamiento o monitorear de forma regular el consumo de agua, mediante la instalación de flujómetros en cada salón de matanza (reses y cerdos).

## **7.2. APROVECHAMIENTO DE SANGRE**

La sangre es el residuo más dañino para el ambiente que generan los mataderos, tanto por volumen como por capacidad contaminante. El tratamiento de aguas residuales que contienen altos volúmenes de sangre resulta más costoso que el implementar medidas para evitar que ésta vaya al drenaje y emplearla como materia prima en algún proceso. Es por ello que debe evitarse en gran medida la descarga de sangre al drenaje de la instalación (Bonilla, 2007), de aquí la

importancia de su recuperación y proceso en subproductos útiles (harina de sangre, compost, entre otros).

Para llevar a cabo este proceso, es necesario recolectar la mayor parte de la sangre directamente en el área de degüelle y sangrado. Con este fin, se debe adecuar un tanque de recolección lo suficientemente fuerte para soportar el peso de operarios y animales (ubicado bajo el nivel del suelo para que no interfiera con las actividades productivas), que permita conducir la sangre separada del agua de lavado, por tuberías instaladas especialmente para este propósito, hasta un tanque de almacenamiento.

Para dimensionar ambos tanques (de recolección y de almacenamiento) se tiene en cuenta el volumen total de sangre mencionado anteriormente, vertido en un día de máximo sacrificio,  $0.44\text{m}^3$  y que para maniobrar las reses en el área de sangrado se requieren alrededor de  $6\text{m}^2$  (por observación directa en el área y las jornadas laborales).

Posterior a su almacenamiento se debe tener en cuenta que la sangre, al igual que el resto de residuos del matadero pueden ser utilizados para la elaboración de diversos productos. La recuperación y separación de estos de manera integral en la central de sacrificios es esencial, primeramente para valorarlos como un subproducto y poderlos utilizar en otras actividades como la elaboración de harinas y alimentos, compostaje o, incluso, generación de energía. Algunas opciones para su recolección y reducción de carga contaminante son:

- Eliminar la descarga de la sangre hacia la tubería de alcantarillado, recolectarla a través de drenaje, y reducir la pérdida de sangre en el área de degüelle y extracción. Este proceso reduce la DBO ( $261.100\text{kg/año}$ , equivalente a un 49% de la carga total generada por el matadero) y las descargas de SST.
- Producir harina de la sangre. Sistema que reduce la DBO ( $179.060\text{kg/año}$  del efluente del matadero), mejora y facilita el tratamiento de las aguas residuales.

El proceso aplicado actualmente en el matadero municipal de El Tambo, consiste en almacenar parte de la sangre generada en recipientes con muy poca asepsia y utilizarla para la fabricación de alimentos para humanos (morcilla) y para animales (mezclado con salvado, cáscara de arroz, harina de yuca u otros alimentos para suministrarla a porcinos y aves). Sin embargo sería importante recolectar la

sangre en su totalidad, ya que la mayor parte de esta se descarga junto con el agua residual, a fin de utilizarla para diversos procesos alimenticios (gracias a su alto contenido de nutrientes) como la harina de sangre, cuyas características se destacan en la Tabla 17, y su valor de comercialización se denota en la Tabla 20.

**Tabla 17.** Características del aprovechamiento de sangre

ASPECTOS	DESHIDRATACIÓN DE SANGRE
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Consiste en el empleo de un digestor que trabaja con vapor, el cual somete la sangre a temperaturas superiores a los 650°C y a uno mezclado constante a razón de 33 revoluciones por minuto
<b>PRODUCTO OBTENIDO</b>	Harina de sangre
<b>REQUISITO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Digestor – cooker</li> <li>➤ Combustible</li> <li>➤ Mano de obra</li> <li>➤ Equipo para el manejo de las emanaciones generadas</li> </ul>
<b>VENTAJAS</b>	Permite obtener un producto que puede ser comercializado para alimentación animal.
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Solo ofrece manejo a la sangre lo que constituye a esta alternativa en una solución parcial</li> <li>➤ Generación de olores ofensivos, por lo que se requiere la adquisición de equipo costoso para su mitigación.</li> <li>➤ Altos costos asociados a la maquinaria y al combustible empleados</li> </ul>

Fuente: Guerrero y Monsalve, 2006

### 7.3. APROVECHAMIENTO DE RUMEN Y ESTIÉRCOL

Para asegurar la recolección de la mayor cantidad posible de este tipo de residuos, deben realizarse adecuaciones en la infraestructura de las áreas de trabajo que principalmente consisten en la construcción de un tanque de almacenamiento para los desagües de las áreas de lavado de contenidos estomacales, intestinales y de otros órganos internos.

Pero no basta con adecuar las infraestructuras. También deben optimizarse los procesos desde la perspectiva de la PML, por lo que el lavado de los contenidos estomacales de las reses debe hacerse en seco o utilizando tan poca agua como

sea posible, teniendo en cuenta que una res genera en promedio 40kg de rumen y 20kg de estiércol, equivalentes a 0,05m<sup>3</sup> en volumen aproximadamente. Este proceso conduce a un ahorro en DBO de 66.200kg/año y en SST de 19.860kg/año (90% del total recolectado) y mejora el pretratamiento de las aguas residuales (Guerrero y Ramírez, 2004).

El matadero del municipio de El Tambo recoge el mayor porcentaje de rumen a fin de deshidratarlo y utilizarlo para nutrición animal, este proceso consiste en recolectar directamente el contenido ruminal en el sitio de vaciado de los estómagos a fin de suministrarlo a porcinos mezclado con otro tipo de alimento. Sin embargo gran parte de este residuo se mezcla con el agua de lavado y se dispone en el sistema de alcantarillado, por lo que es importante mejorar el sistema de recolección en seco, almacenamiento, transporte y aplicación del rumen que puede ser utilizado para la fabricación de alimentos, humus o compost, acompañado de estiércol para mejorar los niveles de nitrógeno y teniendo en cuenta que cuando sea incorporado al suelo, debe quedar bajo una capa de tierra de a lo menos 20cm, a fin de evitar que las larvas de mosca incubadas en el estiércol, puedan llegar a la superficie. Este proceso puede mejorarse acompañado del uso de lombricultura para la obtención de un suelo de alta calidad (humus).

El proceso de compostaje puede mejorarse si se incorporan todos los subproductos derivados del sacrificio y faenado del ganado (estiércol, contenido ruminal, sangre y decomisos), determinando las condiciones fisicoquímicas adecuadas y cantidad de nutrientes que cada uno de ellos aporta.

#### **7.4. PROCESOS INTEGRALES DE PML**

Las alternativas de PML identificadas que ofrecen una solución al manejo de los subproductos (rumen, estiércol y sangre) generados durante los procesos de sacrificio y faenado de ganado son dos a saber: La deshidratación de la sangre y el compostaje (Guerrero y Monsalve, 2006). Las características de este último se distinguen en la Tabla 18.

**Tabla 18.** Características del proceso de compostaje

ASPECTOS	COMPOSTAJE
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Consiste en la descomposición natural de la materia orgánica, buscando obtener un abono mediante el control de varios parámetros fisicoquímicos.
<b>PRODUCTO OBTENIDO</b>	Compost
<b>REQUISITO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mano de obra</li> <li>➤ Infraestructura control de variables fisicoquímicas</li> </ul>
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se obtiene un producto que de acuerdo a sus características puede ser comercializado como abono o enmienda.</li> <li>➤ Permite el tratamiento conjunto de todos los subproductos generados</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	No hay desventajas siempre y cuando el proceso sea llevado a cabo con la técnica adecuada para evitar la generación de olores ofensivos.

Fuente: Guerrero y Monsalve, 2006

Comparando las Tablas 17 y 18 se concluye que la alternativa de PML más conveniente por sus características técnicas y económicas, es la implementación del proceso de compostaje, ya que permite el tratamiento conjunto de los subproductos sin incurrir en altos costos, obteniendo al mismo tiempo un producto denominado compost, el cual puede ser aprovechado como enmienda o abono de acuerdo a las características fisicoquímicas que presente.

El compostaje es un proceso simple, que requiere relativamente poco espacio, infraestructura, mano de obra y herramienta menor para su realización. Además, genera valor agregado al material orgánico tratado, al convertirlo en abono orgánico ambientalmente amigable y de alta calidad. Un uso adecuado de estos desechos, no solamente redundará en beneficio de la producción agropecuaria, sino que también contribuirá a mejorar la protección al ambiente, ya que se evitaría que desechos como la sangre y el contenido ruminal, sean vertidos sin ninguna consideración sanitaria previa (Falla y Cabrera, 1995 citado por Guerrero y Ramírez, 2004).

Dado que el compostaje es un proceso predominantemente aerobio, las prácticas de manejo deben crear condiciones óptimas para el establecimiento y desarrollo de los microorganismos que intervienen en él. Los condicionantes que favorecen

el crecimiento de los microorganismos aerobios son: Relación Carbono/Nitrógeno, Humedad, Temperatura, Oxígeno, pH, Tamaño de la partícula, Tamaño del montón y Tiempo, cuyos valores ideales se resumen en la Tabla 19.

**Tabla 19.** Condiciones ideales para el desarrollo del proceso de compostaje.

PARÁMETRO	RANGO ACEPTABLE	CONDICIÓN ÓPTIMA
Relación C/N	20/1 – 40/1	25/1 – 30/1
Humedad	40 – 65%	50 – 60%
Temperatura	55 – 75°C	65 – 70°C
Volteo	Cada semana	Depende de T° y humedad
pH	5.5 – 9.0	6.5 – 8.0
Tamaño de la partícula	0.3 – 5cm	0.5 – 1cm
Tamaño del montón	0.8 – 1.2m	≈ 0.8m
Tiempo	2 – 3 meses	1 – 2 meses

Fuente: Grajales y Monsalve, 2005 citado por Guerrero y Monsalve, 2006

Los parámetros anteriormente descritos, ofrecen una idea de la necesidad de realizar una estandarización de los procesos de compostaje, entendiéndose ésta como la identificación de las actividades que se deben llevar cabo (incluyendo el cálculo de las proporciones de mezcla de los subproductos del matadero) para obtener un producto (compost) de buena calidad, lo que implica la realización de análisis químicos, físicos y bacteriológicos de los residuos a ser tratados, además de la evaluación de la calidad del compost obtenido al final del proceso, con el fin de examinar el cumplimiento de la normatividad competente, por ejemplo la Resolución 150 del ICA, por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia.

El compost trae múltiples beneficios ambientales y económicos, teniendo en cuenta que en el mercado de orgánicos (abonos) su valor comercial fluctúa (primer semestre de 2008) entre \$220.000 a \$250.000 por tonelada, dependiendo de las especificaciones del producto final.

Estos y otros subproductos del matadero, como pequeñas fracciones de hueso y carne, entre otros, pueden comercializarse para diferentes usos como se especifica en la Tabla 20. En cada caso se recomienda que se realice un pequeño estudio de mercado para definir el proceso de venta, diferenciándolo por cantidades o volúmenes de negociación (SENA, 2002).

**Tabla 20.** Precios de desechos de matadero y productos obtenidos

<b>PRODUCTO</b>	<b>\$ / Kg</b>
Harina de sangre	3200
Harina de carne	2350
Aceites animales	3000
Harina de hueso calcinado	2000
Harina de hueso al vapor	1650
Harina forrajera	650
Cuernos, cascots	350
Sangre bovina	600

Fuente: Elaboración propia. Precios año 2008

El establecimiento de un proyecto de PML y de gestión ambiental, aparte de los beneficios económicos que implica, la empresa puede evitarse problemas relativos a sus descargas de aguas residuales y manejo de desechos sólidos, adicionalmente, se asegurará un sistema de tratamiento sencillo, y por ende menos costoso (Centro de producción más limpia de Nicaragua, 2004).

Para hacer perdurable y operativamente viable la implementación de todas las medidas de manejo ambiental previamente mencionadas, es necesario que el personal del matadero sea consciente de las ventajas que representa el asumirlas adecuadamente. El beneficio será tanto para el desempeño de sus labores y del lugar donde trabajan, como para el mejoramiento del nivel de calidad de vida de los habitantes de su municipio.

## **7.5. PROCESOS COMPLEMENTARIOS DE SALUD OCUPACIONAL**

Adicional a la adecuación de las instalaciones, el matadero municipal debe garantizar un entrenamiento a todo el personal, a fin de que hagan buen uso de los sistemas de recolección y tratamiento. Sin embargo, una situación particular que se presenta en el matadero es que el personal es contratado por el patentado o matarife, existiendo en muchos casos una alta rotación del personal, lo que provoca un retraso constante en las actividades de matanza y deshuese ya que el personal debe ser entrenado permanentemente. Una desventaja de esto es la dificultad que representa el proceso de capacitación del personal en los temas relacionados con la matanza. Por lo que es necesario iniciar una campaña de sensibilización de los matarifes en cuanto a las normas que deben de cumplirse antes, durante y después de faenamiento en el matadero.



Este proceso debe complementarse con principios básicos sobre salud y seguridad ocupacional de los trabajadores, haciendo que la gerencia del matadero garantice una serie de medidas que reduzcan los riesgos a que se someten los operarios o matarifes en el proceso productivo; y con la inclusión de aspectos relacionados con la salud de los consumidores (revisión de la calidad del producto y manejo higiénico del mismo). En este sentido se deben implementar procesos como:

- Entrenamiento, capacitación e instrucción al personal de los matarifes o patentados en las técnicas y principios de un trabajo seguro. Evitando en lo posible la alta rotación de su personal, esto provoca que tengan frecuentemente personal nuevo en período de capacitación.
- Exigir a los matarifes el cumplimiento de las disposiciones en materia de seguridad e higiene ocupacional de sus trabajadores.
- Adaptación de la jornada laboral (rotación) y mejoramiento de la organización.
- Pisos ásperos y antideslizantes para evitar resbalones y con cierto grado de inclinación para facilitar la evacuación correcta del agua.
- Protecciones de seguridad de las máquinas (o utensilios corto punzantes).
- Distribución de ropa y medios de protección y seguridad (guantes, máscaras, botas, anteojos, tapones para los oídos, etc.). Acompañado de una orientación en cuanto al uso apropiado de los mismos.
- Supervisar diariamente y previo al sacrificio, que los operarios utilicen indumentaria adecuada y el cambio de overoles diario.
- Lavar y desinfectar la vestimenta de matanza todos los días.
- Disponer de baños para el aseo diario y proveer los útiles de aseo personal, ya que actualmente no se cuenta con estas instalaciones.
- Facilidades para mantener buena higiene (manos y uñas limpias) y lavado de los trabajadores (antes y después de iniciar el trabajo).
- Señalizaciones adecuadas en la planta.

Sin duda alguna, la implementación de buenas prácticas de gestión de operaciones al interior de la empresa, poniendo en práctica procedimientos o

políticas organizacionales y administrativas, destinadas a mejorar y optimizar los procesos productivos y a promover la participación del personal en actividades destinadas a lograr la minimización de los residuos, será indispensable para el buen funcionamiento del matadero, la aplicación de procesos de PML (reducción de subproductos) y el adecuado funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (INTEC Chile y fondo de desarrollo e innovación, 1998).

## 8. DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS SELECCIONADOS

### 8.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR

Para el diseño de tratamiento preliminar se consideró el caudal máximo horario, que se espera obtener después de la aplicación de procesos de PML (Tabla 11). Este caudal correspondiente al día sábado, en el horario de 4 a 5a.m., y que alcanza un valor de 2,73L/s. El diseño de la PTAR sigue la metodología RAS. El diseño de la planta se realiza a 20 años, encontrando los caudales horarios de diseño que se especifican en la Tabla 21.

**Tabla 21.** Caudal horario promedio de diseño aplicando procesos de PML

HORA	VOLUMEN DE AGUA GASTADO (L)		CAUDAL HORARIO PROMEDIO (L/s)	
	VIERNES	SÁBADO	VIERNES	SÁBADO
11a12		189,22		0,05
12a1		271,13		0,08
1a2		274,41		0,08
2a3	210,97	482,24	0,06	0,13
3a4	207,84	7998,09	0,06	2,22
4a5	1894,61	17754,94	0,53	<b>4,93</b>
5a6	5286,87	14809,70	1,47	4,11
6a7	478,97	2466,60	0,13	0,69
<b>TOTAL</b>	<b>8079,24</b>	<b>44246,33</b>		
<b>PROMEDIO</b>			<b>0,45</b>	<b>1,54</b>

De aquí se obtiene que el caudal máximo horario de diseño es de aproximadamente 5L/s.

#### 8.1.1. Rejas de desbaste

Esta estructura permitirá la remoción de sólidos grandes para evitar que éstos ingresen al sistema de tratamiento y alteren su funcionamiento. Para este propósito se utilizarán barras de sección rectangular, con un sistema de limpieza manual y se construirán dos canales de rejas con las mismas dimensiones, uno de

ellos estará aislado o fuera de funcionamiento, mediante compuerta, y solo entrará a funcionar en casos eventuales de reparación y mantenimiento del primero, cumpliendo con las siguientes especificaciones:

- Separación libre entre barras: 1cm.
- Ancho de barras: 1cm.
- Profundidad de la barra: 2.5cm.
- Ancho del canal de rejas: 0.3m
- Altura del canal: 0.4m
- Longitud de la reja: 0.56m
- Inclinación de la reja: 45°
- Numero de barras: 16
- Para garantizar una velocidad máxima de 0.8 m/s, la pendiente máxima que se le puede dar al fondo del canal es del 2%

Características que cumplen con las condiciones de chequeo de funcionamiento (Anexo D), y evitan una pérdida de carga máxima de 15cm (RAS, 2000) para condiciones de reja limpia.

En el Figura 17 se presenta el esquema de las rejas de desbaste con sus respectivos detalles.

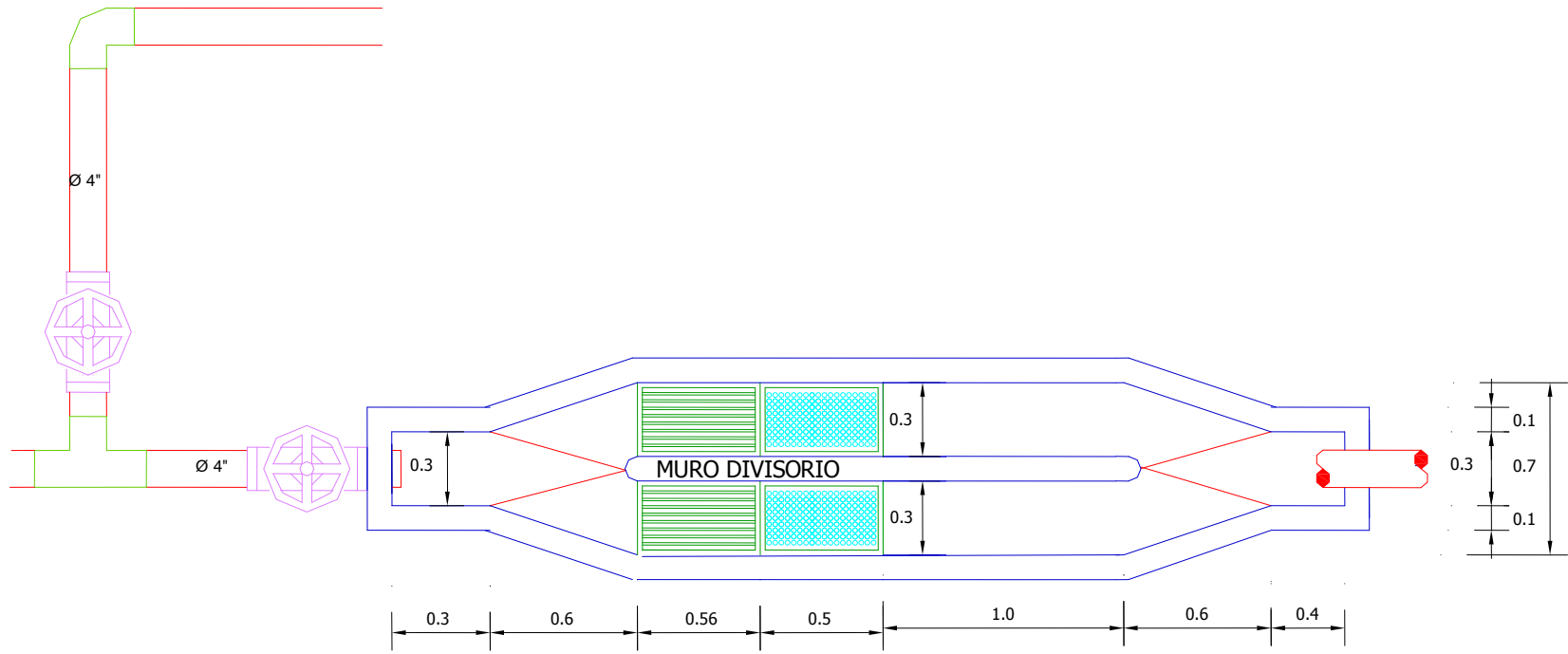
### **8.1.2. Trampa de grasas**

Con el fin de separar aceites y grasas, se proyectará una trampa de grasas de limpieza manual. Tal estructura evitará la acumulación y formación de grumos de grasa en el tanque homogenizador, y su utilización se recomienda siempre que se proyectan tratamientos anaeróbicos de crecimiento suspendido.

Para el caudal de proyecto de 5 LPS, RAS 2000 recomienda un tiempo de retención hidráulico de 3 minutos, un área de 0.25m<sup>2</sup> por cada litro por segundo y una relación Largo/Ancho superior o igual a 4.0.

Para las condiciones sugeridas se tiene:

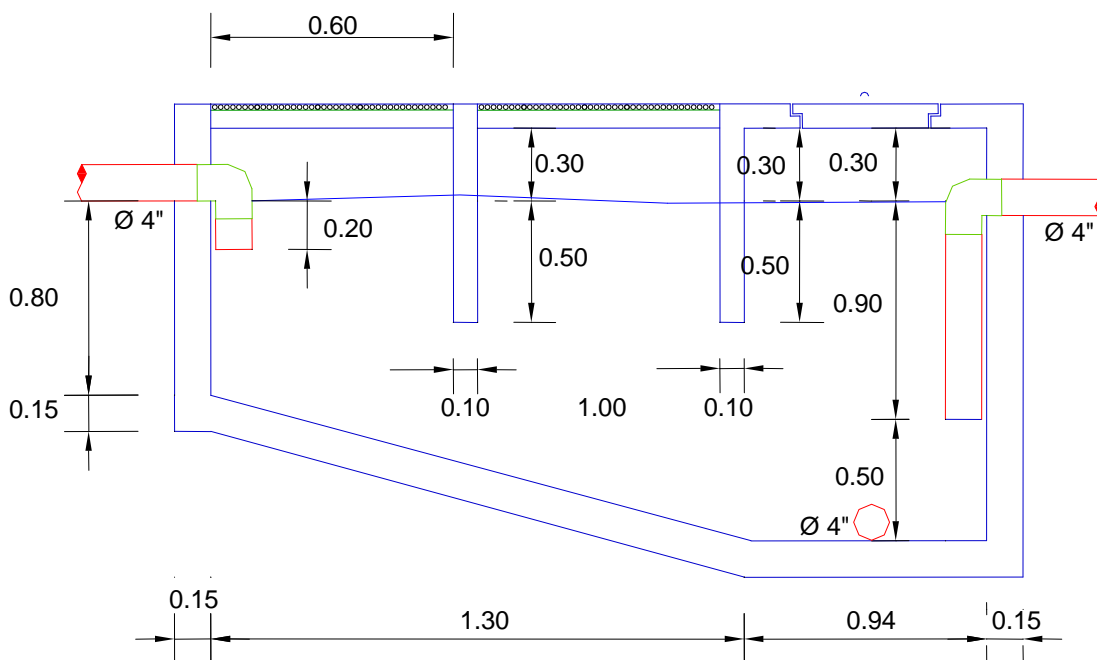
**Figura 17.** Rejas de desbaste (Sin escala. Dimensiones en metros y diámetro de tubería en pulgadas)



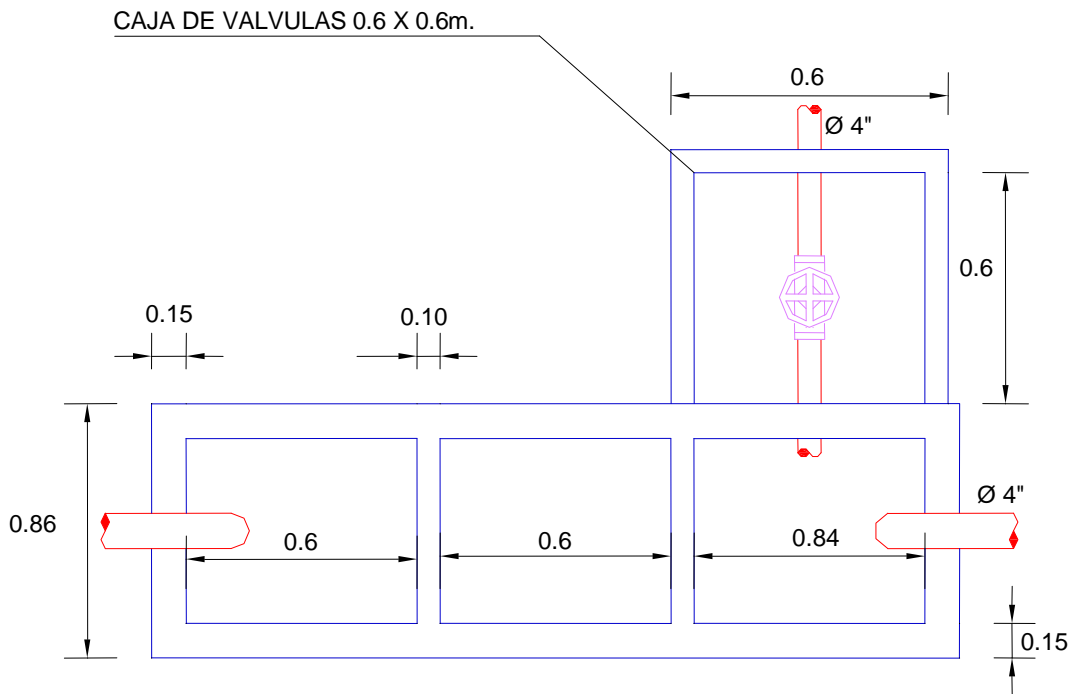
- Profundidad requerida de 80cm de sumergencia del tubo de salida, más 0.15m con respecto al fondo y 0.15m de borde libre, para una altura total de 1.10m.
- Ancho del tanque: 0.56m
- Largo del tanque: 2.24m

Estudios realizados por la Universidad del Cauca en aguas residuales del matadero de Popayán (Chaux, Calderón y Zambrano, 2005), muestran que algunos sólidos sedimentables y materiales en suspensión se depositan en el fondo de la estructura, posibilitando la fermentación anaeróbica y la emanación de olores ofensivos, por ello, la trampa de grasas se dotará de una tolva de almacenamiento de lodos conectada al sistema de desagüe de la planta, que descarga sobre los lechos de secado de lodos. Así mismo, tales reactores tienen la tendencia a generar cortocircuitos y a presentar zonas muertas, por lo cual, se colocaran 2 baffles intermedios colocados a una altura prudente por encima del fondo, para mejorar la retención y evitar problemas hidráulicos (Figuras 18, 19 y 20). Las impurezas que se depositen en la misma, serán removidas mediante el desagüe localizado al final de la cámara.

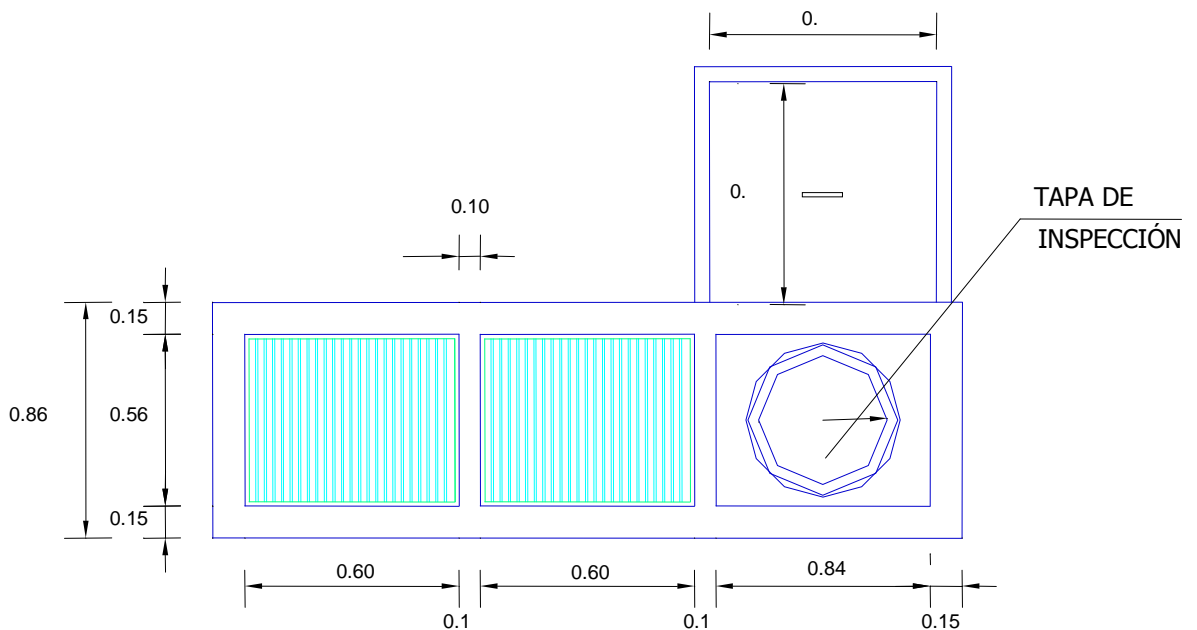
**Figura 18.** Corte longitudinal de la trampa de grasas (Sin escala. Dimensiones en metros y diámetro de tubería en pulgadas)



**Figura 19.** Planta longitudinal de la trampa de grasas (Sin escala. Dimensiones en metros y diámetro de tubería en pulgadas)



**Figura 20.** Vista superior de la trampa de grasas (Sin escala. Dimensiones en metros y diámetro de tubería en pulgadas)



### 8.1.3. Tamices

El tamiz a implementar en el matadero municipal cumple con las siguientes características:

- Autolimpiante, es decir que los sólidos caen por sí mismos.
- Sin obstrucciones, debido a que el flujo es paralelo.
- Ausencia de mantenimiento, pues esta construido totalmente en acero inoxidable.
- Sin consumo de energía, ya que no hay partes móviles.
- Reutilización de sólidos, gracias a que los sólidos son escurridos.
- Fácil instalación.

El tamiz a instalar se observa en la Figura 21 y está diseñado para cumplir con: Ancho: 880mm – Diámetro tubería entrada: 150mm – Altura eje tubería entrada: 775mm – Diámetro tubería salida: 200mm – Altura eje tubería salida: 200mm – Caudal: 25m<sup>3</sup>/h – Luz de malla: 0,75 mm

**Figura 21.** Tamiz Hidranet (Sin escala)



### 8.1.4. Tanque de homogeneización

La configuración de este tanque debe permitir almacenar los caudales recogidos durante el proceso de producción, con el fin de regularlos, para garantizar la continuidad de funcionamiento en el sistema y el suministro continuo de sustrato a la población biológica presente en los tratamientos posteriores, así mismo, permitirá tener una zona parcial de sedimentación simple, con el fin de desalojar



los sólidos suspendidos sedimentables que lleguen al homogeneizador, mermando la carga de sólidos en los tratamientos biológicos.

Para su cálculo se considera la posibilidad de que el matadero tenga un día de funcionamiento continuo, produciendo un caudal proyectado de 5 LPS en el lapso de tiempo comprendido entre las 11:00 p.m. y las 7:00 a.m, como se muestra en la Tabla 22.

**Tabla 22.** Caudal y volumen horario para determinar el volumen del tanque homogeneizador

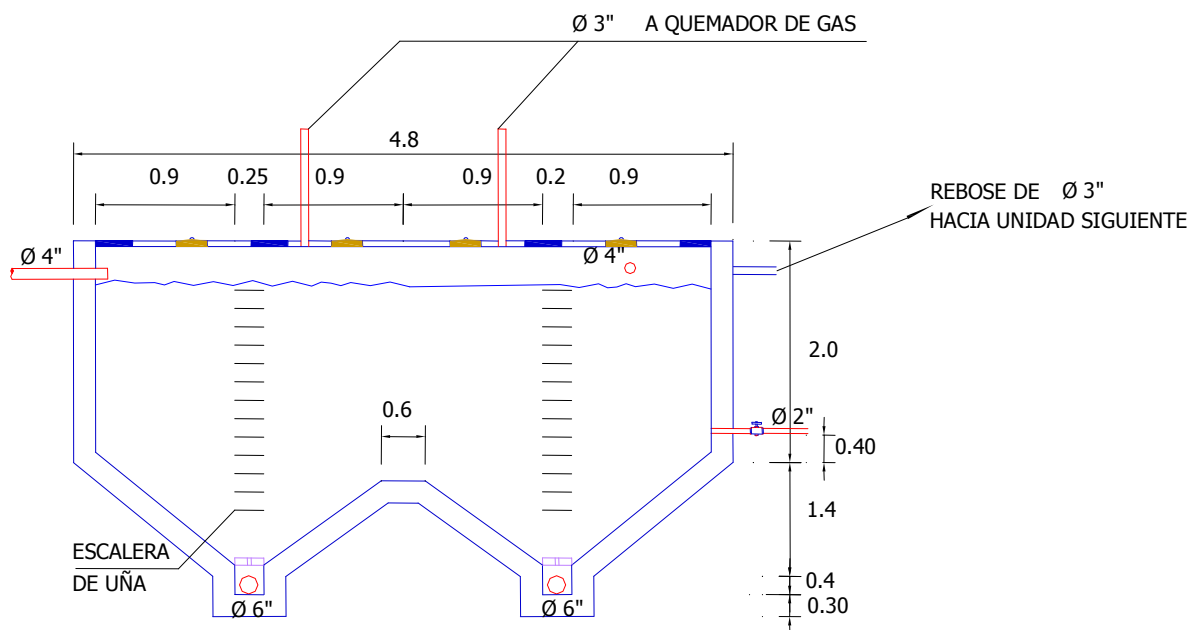
Periodo (horas)	Q(LPS)	Volumen(L)	Suministro Acumulado (L)	Drenaje, Caudal constante (L)	Drenaje Acumulado (L)	ΣSuministros-ΣDrenajes Acumulados (L)
12 – 1 a.m.	0,08	271,13	271,13	1843,6	1843,6	-1572,47
1 – 2	0,08	274,41	545,54	1843,6	3687,2	-3141,66
2 – 3	0,13	482,24	1027,78	1843,6	5530,8	-4503,02
3 – 4	2,22	7998,09	9025,87	1843,6	7374,4	1651,47
4 – 5	4,93	17754,94	26780,8	1843,6	9218	17562,8
5 – 6	4,11	14809,70	41590,5	1843,6	11061,6	30528,9
6 – 7	0,69	2466,60	44057,1	1843,6	12905,2	31151,9
7 – 8	0	0	44057,1	1843,6	14748,8	29308,3
8 – 9	0	0	44057,1	1843,6	16592,4	27464,7
9 – 10	0	0	44057,1	1843,6	18436	25621,1
10 – 11	0	0	44057,1	1843,6	20279,6	23777,5
11 – 12	0	0	44057,1	1843,6	22123,2	21933,9
12 – 1 p.m.	0	0	44057,1	1843,6	23966,8	20090,3
1 – 2	0	0	44057,1	1843,6	25810,4	18246,7
2 – 3	0	0	44057,1	1843,6	27654	16403,1
3 – 4	0	0	44057,1	1843,6	29497,6	14559,5
4 – 5	0	0	44057,1	1843,6	31341,2	12715,9
5 – 6	0	0	44057,1	1843,6	33184,8	10872,3
6 – 7	0	0	44057,1	1843,6	35028,4	9028,7
7 – 8	0	0	44057,1	1843,6	36872	7185,1
8 – 9	0	0	44057,1	1843,6	38715,6	5341,5
9 – 10	0	0	44057,1	1843,6	40559,2	3497,9
10 – 11	0	0	44057,1	1843,6	42402,8	1654,3
11 – 12	0,05	189,22	44246,3	1843,6	44246,4	0
<b>SUMA</b>		44246,33				
<b>PROMEDIO</b>	0,5	1843,60				

$$\begin{aligned} \text{Volumen del tanque de regulación} &= \text{Máximo déficit} + \text{Máximo suministro} = \\ &= 4503,02 + 31151,9 = 35654,9\text{L} = 35,7\text{m}^3. \end{aligned}$$

Se proyectarán 2 tanques de 18m<sup>3</sup> cada uno para que funcionen en paralelo, de modo que cuando uno esté en mantenimiento, el otro esté en funcionamiento para garantizar el trabajo continuo de la planta, con las siguientes características (Figura 22 y 23):

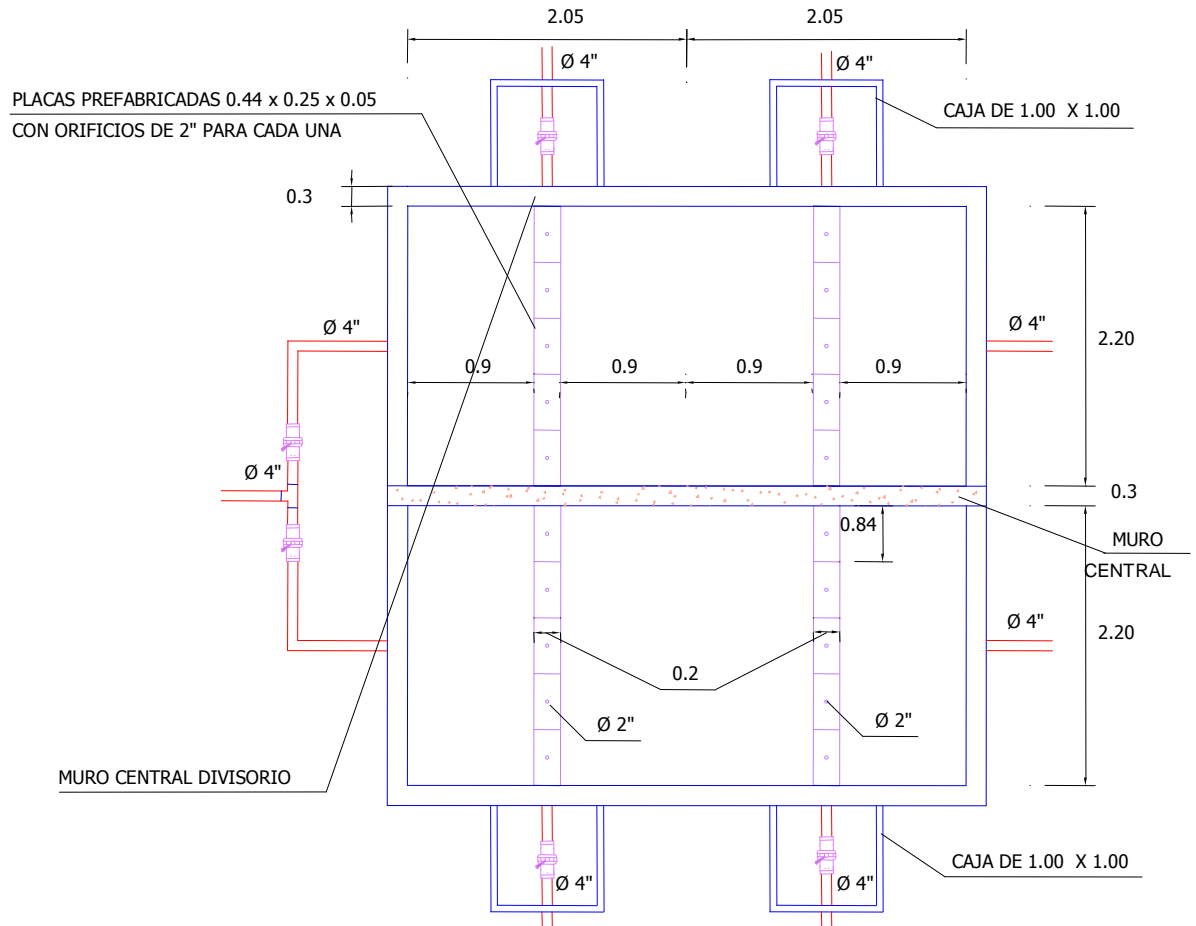
- Altura útil del tanque: 2m
- Ancho del tanque: 2.2m
- Largo del tanque: 4,1m

**Figura 22.** Corte longitudinal del tanque homogeneizador (Sin escala. Dimensiones en metros y diámetro de tubería en pulgadas)



Para garantizar la zona de amortiguación y sedimentación el efluente saldrá a través de tubería a presión, ubicada a 1m de profundidad, con respecto al nivel superficial del tanque dotado de válvula de regulación al final de la misma, para que el operador pueda regular caudales y garantizar un suministro continuo de sustrato a los tratamientos posteriores. Alternativamente, podría emplearse un sistema de bombeo que garantice caudal continuo durante las 24 horas, pero no es esta la solución mas racional por el consumo de los equipos y el mantenimiento de los mismos.

**Figura 23.** Planta de fondo del tanque homogeneizador (Sin escala. Dimensiones en metros y diámetro de tubería en pulgadas)



Bajo condiciones adecuadas de operación y regulando caudales de manera aproximada a través de la válvula de globo instalada en la tubería efluente, el caudal promedio de salida del homogeneizador hacia el tratamiento biológico será de 0,5 LPS, que será empleado como caudal promedio de diseño de las unidades posteriores al tanque de Homogenización. Para la evacuación de lodos, se dotará cada tanque de tolvas con tuberías efluentes hacia el sistema de desagüé.

## 8.2. ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO 1

### 8.2.1. UASB

El tratamiento preliminar y primario remueve el 25% de materia orgánica, de tal modo que a los filtros ingresa una DQO de 6767,7 mg/L y una DBO de 1371,6 mg/L.

Para aguas residuales de esta naturaleza, el factor que controla el tamaño del reactor es la carga orgánica (en Kg. DQO/m<sup>3</sup>.día). Lettinga y Hulshoff sugieren aplicar tasas de carga orgánica con base en la DQO soluble entre 2 y 4 k/m<sup>3</sup>.día, para aguas residuales con temperaturas entre 15 y 20°C.

Para una carga de 4 k/m<sup>3</sup>.día, caudal promedio de 0.5 LPS, considerando que en este tipo de residuos la DQO soluble es aproximadamente el 50% de la DQO total, se tiene una DQO soluble de 3383,9g/m<sup>3</sup>, de la cual se obtiene el volumen total del sistema, 36.55 m<sup>3</sup>.

A fin de garantizar condiciones adecuadas de operación y mantenimiento se diseñarán 2 reactores que funcionarán simultáneamente, cada uno, con la mitad del caudal, de tal modo que cada reactor tendrá un volumen de 18.28m<sup>3</sup>.

Cada reactor funcionará con tiempos de detención de aproximadamente 20 horas. Para estas condiciones y en niveles adecuados de operación se espera una remoción satisfactoria de sólidos suspendidos.

La práctica con reactores UASB en aguas industriales, sugiere que la altura de los mismos oscile entre 4 y 7m, y que se tengan una relación largo/ancho de 2/1, de aquí que los reactores tengan las siguientes características:

- Altura adoptada para diseño: 4m
- Ancho del reactor: 1.51m
- Largo del reactor: 3.02m

Con el objetivo de seguir los parámetros establecidos por el RAS la velocidad del agua en la garganta de lodos sedimentados no debe exceder de 5 m/h, por ello se requiere un ancho de garganta para el retorno de lodos sedimentados de 0.08m.

El ancho de aberturas del colector de gas será de 0.2m, cumpliendo que el área superficial de las aberturas entre el colector de gas debe estar entre el 15 y 20% del área superficial del reactor. La altura mínima del separador gas-líquido-sólido (GLS) será de 1.5m. De acuerdo a ello el 20% del volumen total corresponde al volumen de sedimentación.

En el Anexo E se incluye el análisis hidráulico, que garantiza un buen funcionamiento de este sistema.

**Recolección del efluente:** Se utilizará tubería de PVC con perforaciones en la parte superior con una sumergencia de 5cm. Para el caudal de cada reactor de 0,25L/s, se adopta un diámetro de 3". Cada tubería se colocará a 5cm de profundidad, centradas en el espacio para sedimentación. Paralelas a cada tubo se colocarán placas o láminas de fibra de vidrio o acero inoxidable sumergidas 30cm en el líquido. Cada tubería llevará orificios superiores de ½ pulgada separados 25cm, centro a centro. Lateralmente dichas tuberías se conectarán a tuberías de 3" que llevarán el agua residual hacia el tratamiento posterior.

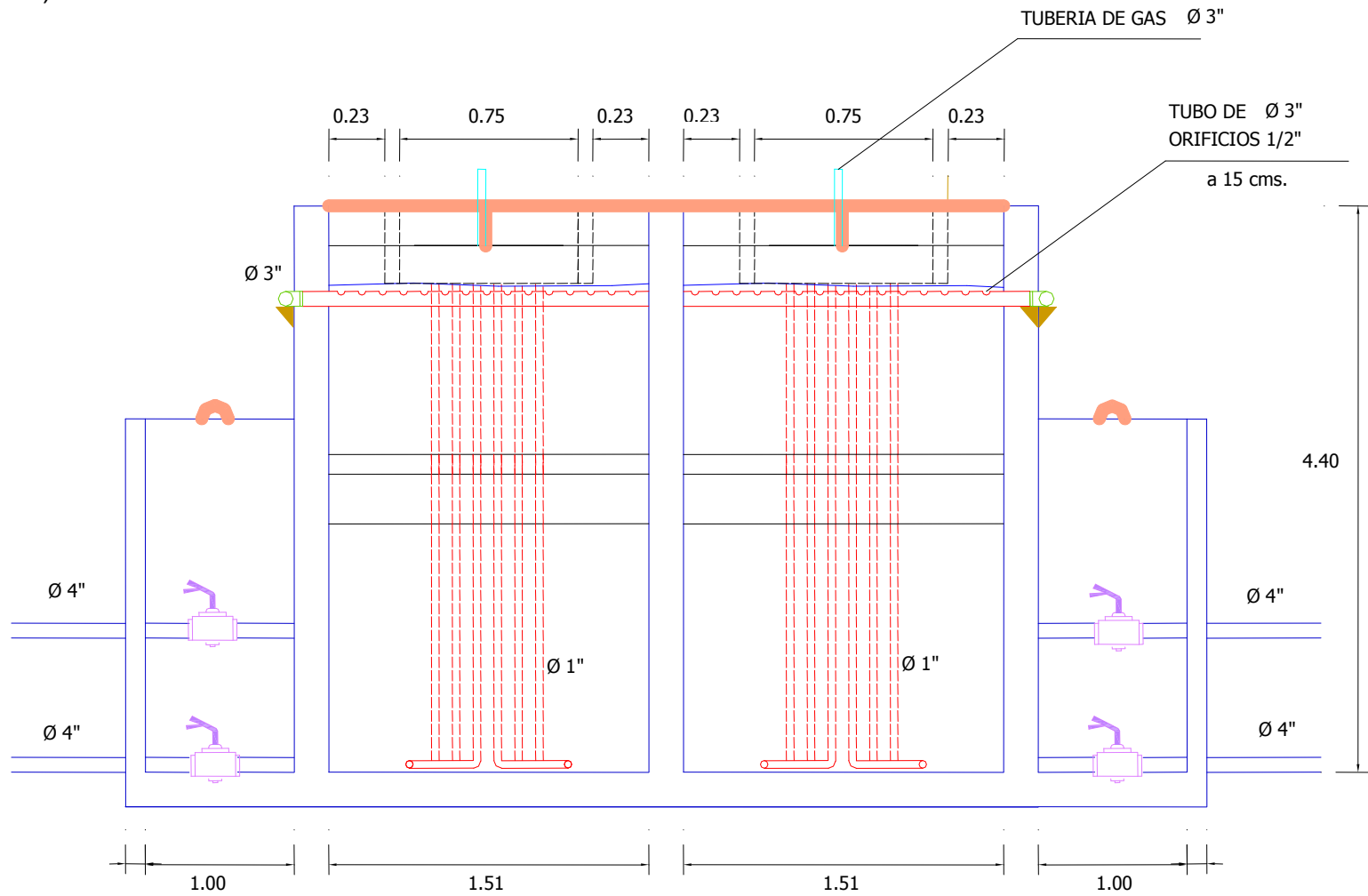
**Distribución del afluente:** Se realizará mediante tuberías que individualmente llegarán a puntos distribuidos de manera uniforme en el fondo del reactor. Se utilizarán 6 puntos de entrada, 3 puntos por cada reactor, con un diámetro de ¾ pulgada por cada punto de entrada.

En la cámara de ingreso, se hará una división de tal modo que se colocará un vertedero central para garantizar una distribución uniforme del caudal, tal vertedero debe quedar perfectamente nivelado en su parte superior, o en su defecto deberá dotarse la cresta del mismo con un perfil de vertederos triangulares "Diente de sierra". Cada cámara de ingreso tendrá una longitud de 0.75m.

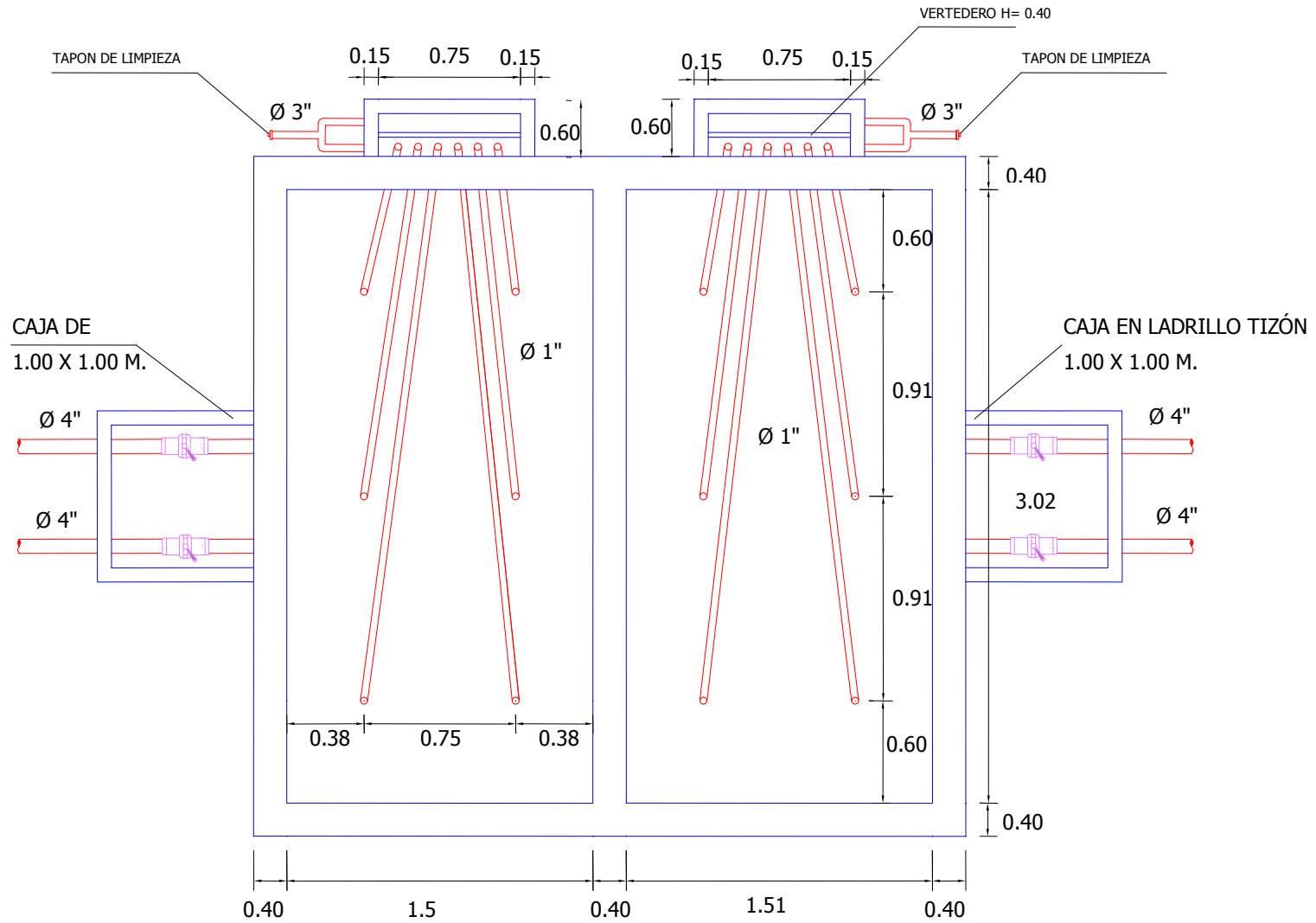
Estas características se detallan en las Figuras 24, 25 y 26.



**Figura 25.** Corte transversal del reactor UASB (Sin escala. Dimensiones en metros y diámetro de tubería en pulgadas)



**Figura 26.** Planta de fondo del reactor UASB (Dimensiones en metros y diámetro de tubería en pulgadas)





## 8.2.2. Filtro percolador o biofiltro

A la entrada del UASB se tiene una DBO de 1371,6mg/L, asumiendo que en el sistema se remueve el 65% de la DBO inicial, se tiene a la entrada del filtro percolador una DBO de 480mg/L. Sin embargo, requiere removerse el 90% de la DBO total, por ello la DBO a la salida del filtro percolador debe ser de 137.2mg/L, lo que garantizaría una eficiencia del 71.42% en este sistema.

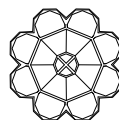
Considerando que no hay recirculación en el sistema, el volumen neto del medio filtrante debe ser de 25.38m<sup>3</sup>, sin embargo se colocarán dos unidades en paralelo para trabajen paralelamente, cada una con un volumen de 12.7m<sup>3</sup>, las consideraciones de diseño se presentan en el Anexo F. La altura típica para estos sistemas esta entre 1.8 y 3m, adoptando una altura de 2m para cada filtro, cada uno con un diámetro de 2.8m (Figuras 27, 28 y 29). El sistema contará con 10 ventanas de aireación cuyo objetivo será proveer al sistema de la corriente de aire suficiente para el mantenimiento de las bacterias aeróbicas y la circulación adecuada del flujo.

**Distribución del afluente:** Se utilizará tubería de PVC de diámetro 3” con aspersores de ½” soportadas sobre cables de acero, que giran gracias a un rotor ubicado en el centro del filtro sobre una columna de soporte, garantizando la distribución uniforme del flujo sobre el medio plástico.

**Recolección del efluente:** El agua percolada saldrá en medio de las vigas de soporte del reactor hacia una tubería ubicada en la parte inferior del sistema de 3” de diámetro, con una pendiente de 2% que garantice el arrastre de biopelícula.

**Figura 27.** Detalle del medio de soporte del filtro percolador

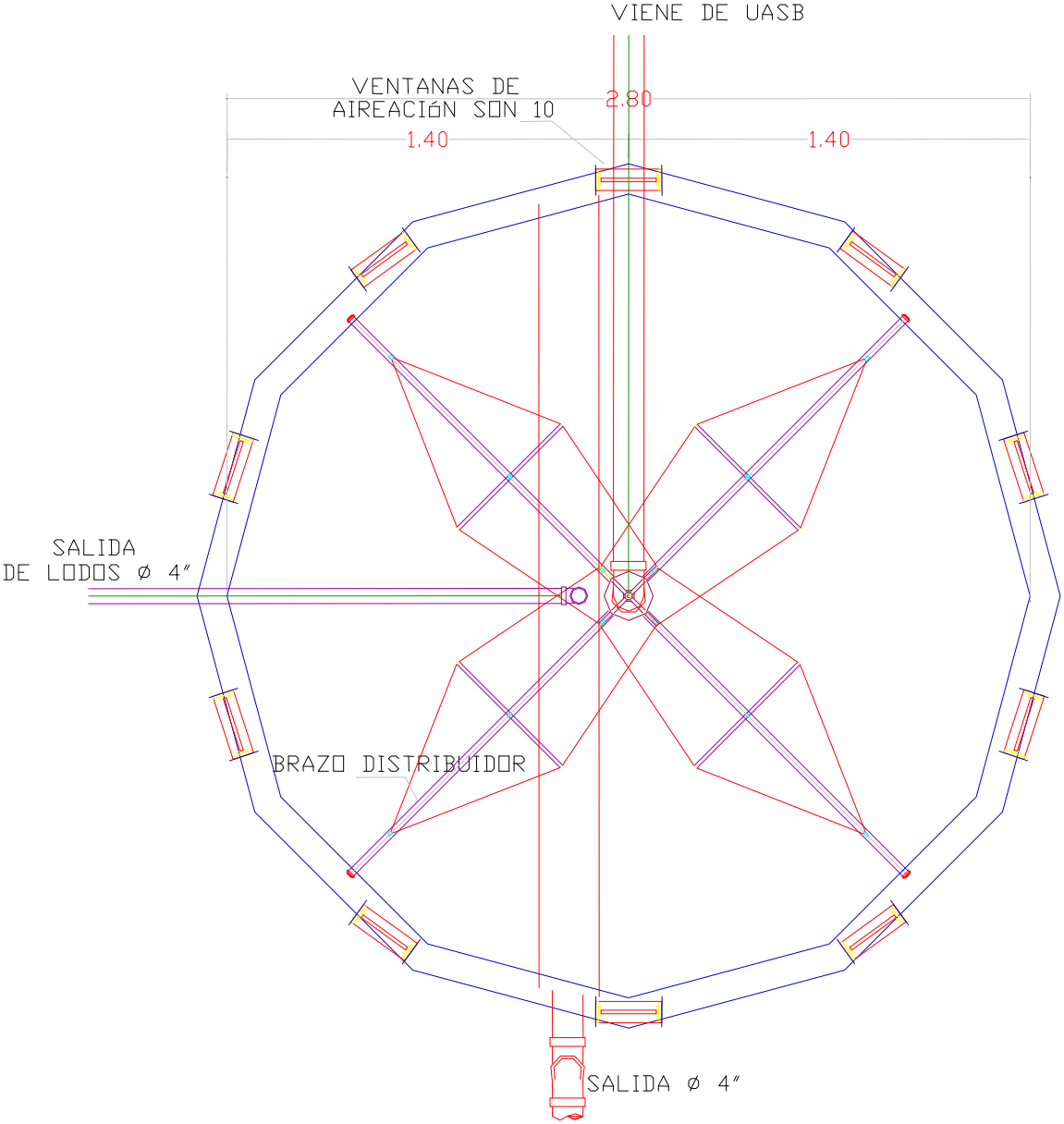
PLANTA  
MEDIO FILTRANTE  
SOPORTE PLASTICO



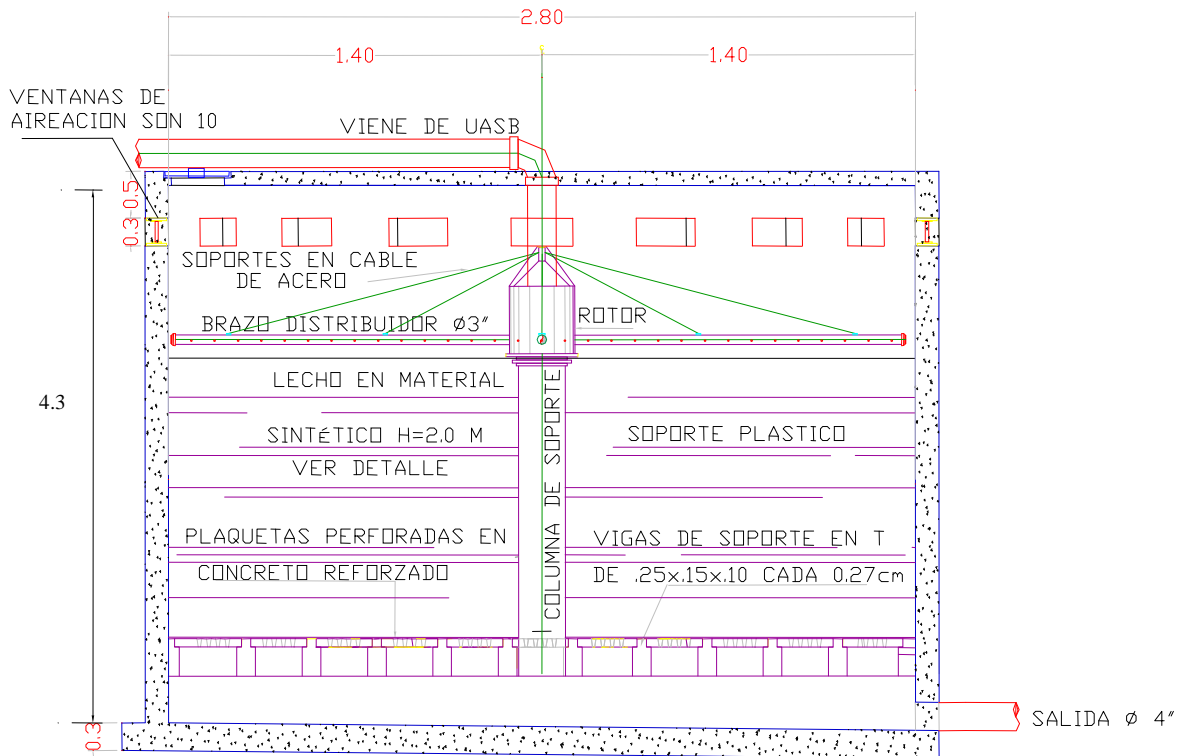
VISTA LATERAL  
MEDIO FILTRANTE  
SOPORTE PLASTICO



**Figura 28.** Vista en planta del filtro percolador (Sin escala. Dimensiones en metros y diámetro de tubería en pulgadas)



**Figura 29.** Corte transversal del filtro percolador (Sin escala. Dimensiones en metros y diámetro de tubería en pulgadas)



Para la recolección de biopelícula desprendida se utilizará un sedimentador secundario con 2 horas de tiempo de detención hidráulico, que presentará las siguientes características:

- Volumen útil: 1.8 m<sup>3</sup>
- Profundidad útil 1.5m. Profundidad adicional para recolección de lodos 0.3m. Borde libre 0.2m. Profundidad total 2.0m
- Ancho: 0.8m
- Largo: 2.0m
- Inclinación del fondo 16% y 8%, con tolva ubicada a 0.7m, de la entrada.

### 8.3. ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO 2: FAFA

La DQO promedio del agua residual afluyente a la planta es de 6767,7 mg/L, si se desea una remoción de más del 80% por parte de todo el sistema, se puede tomar para efectos de cálculo una DQO efluente del 20% del total.

El FAFA utilizará medio sintético, común para uso regional y en aguas residuales industriales de concentración fuerte. Para el cálculo del tiempo de retención Hidráulica, se puede utilizar la expresión sugerida por el RAS, original de Young y McArty, de la que se obtiene que el tiempo de retención hidráulico del reactor será de 22.44 horas afectado por un factor de seguridad del 20%.

El volumen del reactor incluyendo un porcentaje de vacíos del 90% y el medio sintético será de  $44.9\text{m}^3$ , sin embargo para facilitar el mantenimiento, se diseñarán 2 unidades en paralelo para funcionamiento simultáneo de tal forma que cada unidad reciba una carga orgánica promedio de  $7.24\text{ KgDQO}/\text{m}^3\cdot\text{día}$  y tenga volumen de  $22.44\text{m}^3$  (Figura 30) con las siguientes especificaciones:

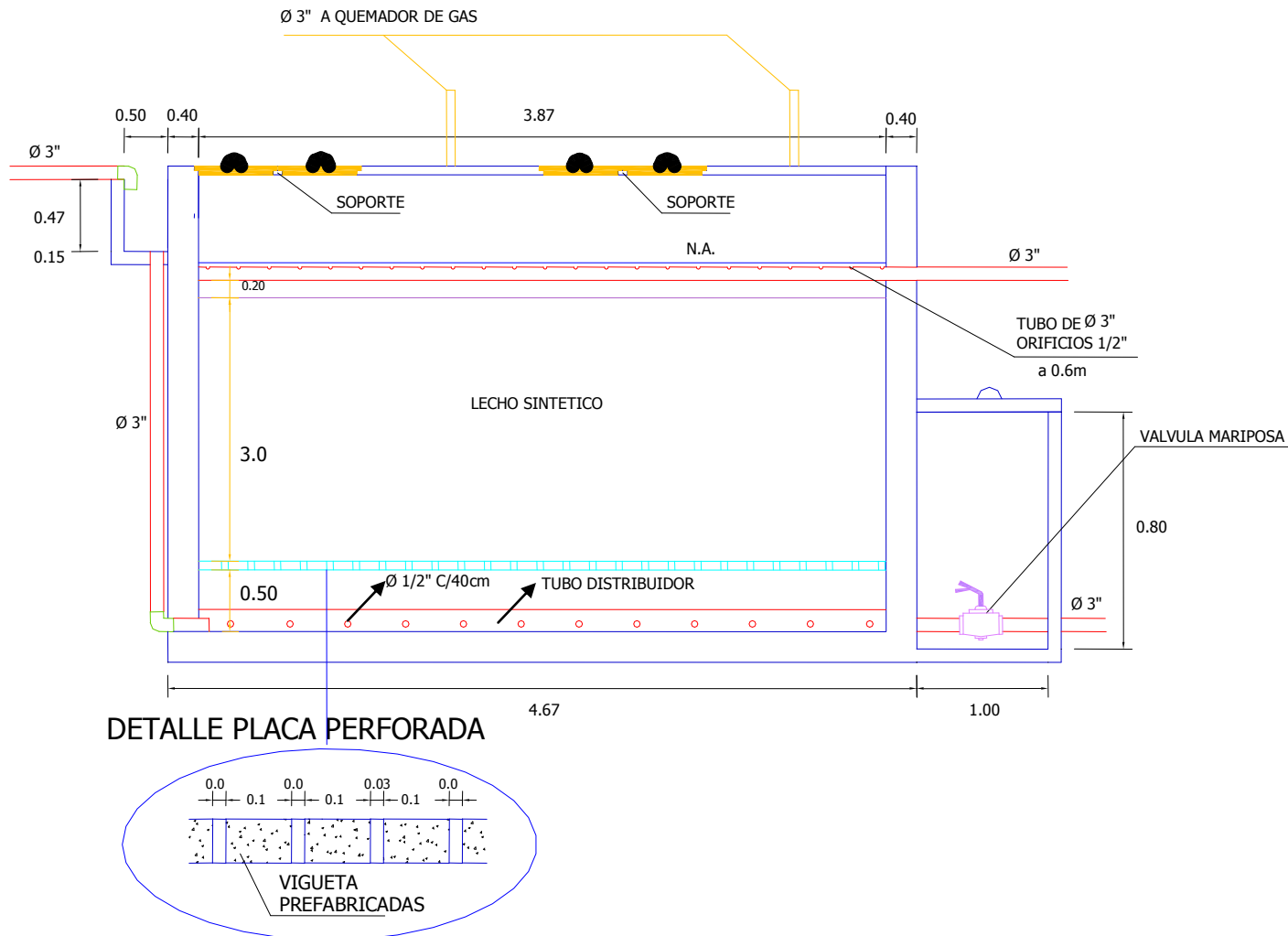
- Altura del medio: 3m.
- Ancho del reactor: 1.93m.
- Largo del reactor: 3.87m.

Características que se detallan en el Anexo G, y que cumplen con los parámetros requeridos para el funcionamiento del sistema.

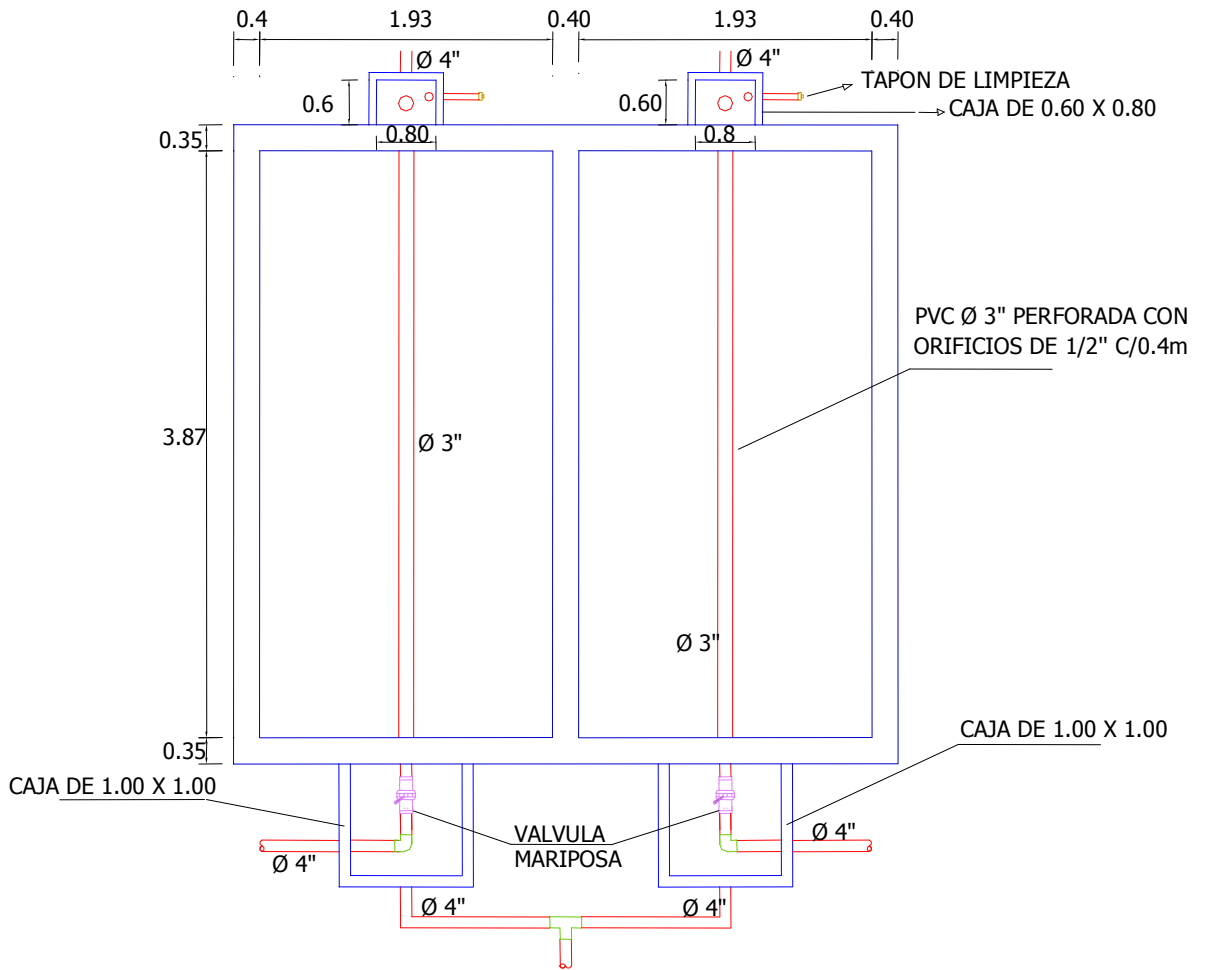
**Recolección del efluente:** En cada reactor se utilizará una tubería de PVC de diámetro 2" para recibir un caudal de 0.25L/s, con perforaciones de 1/2" en la parte superior separadas 1.3m. Cada tubería se colocará a 5cm de profundidad, de modo que cada una tenga la misma área de influencia. Paralelas a cada tubo se colocarán placas o láminas de fibra de vidrio o acero inoxidable sumergidas 30cm en el líquido.

**Distribución del afluente:** Para lograr una cobertura uniforme de los puntos de entrada sobre el fondo del reactor, en cada reactor se utilizará una tubería principal de 3", que llegará al fondo con perforaciones de 1/2" cada 30 cm a manera de flauta distribuidora, con las perforaciones alternadas en la parte inferior formando  $30^\circ$  con la vertical.

**Figura 30.** Corte longitudinal del FAFA (Sin escala. Dimensiones en metros y diámetro de tubería en pulgadas)



**Figura 31.** Planta inferior del FAFA (Sin escala. Dimensiones en metros y diámetro de tubería en pulgadas)



## 9. CONCLUSIONES

El factor de biodegradabilidad que involucra los valores de DBO y DQO, indica que el efluente no es de fácil biodegradabilidad, debido a la presencia de altas concentraciones de grasas y rumen (lignina), compuestos de difícil degradación por parte de microorganismos. Sin embargo, las concentraciones de nitrógeno y fósforo del agua residual, muestran un contenido adecuado de nutrientes, el pH alcalino, favorece el tratamiento biológico sin necesidad de agregar químicos adicionales.

El tratamiento biológico es viable mediante una eliminación previa de grasas y rumen, colectándolos por separado mediante un estricto tratamiento preliminar. El arranque del tratamiento requerirá de la adición de un inóculo adecuado, que podría ser estiércol de cerdo mezclado con el lodo del sistema de tratamiento del agua del matadero de Popayán. La dosificación adecuada de dicho efluente requiere de un estudio adicional.

Debido a las variaciones de caudal que presenta el efluente, se requiere de la implementación de un tanque homogeneizador que regule el flujo hacia las unidades posteriores de tratamiento anaeróbico.

Antes del diseño de la planta de tratamiento de agua residual deben implementarse procesos de PML, a fin de reducir el gasto masivo de agua, que actualmente alcanza valores de 1800L/res y 200L/cerdo. Su aplicación puede generar ahorros en los costos de construcción y operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y en el grado de las afectaciones ambientales producidas, e incluso puede generar ingresos (venta de subproductos).

La implementación de procesos de PML en el vertido de residuos orgánicos como sangre y rumen puede lograr remociones alrededor del 80% en promedio para los parámetros DBO, DQO y SST, lo que complementado con un sistema de tratamiento de aguas residuales logra alcanzar en promedio remociones del 95% para los mismos parámetros.

## RECOMENDACIONES

Es recomendable para otros estudios sobre efluentes de mataderos, tener en cuenta parámetros como la concentración de azufre, a fin de establecer el efecto de esta sustancia en el sistema de tratamiento anaeróbico, debido a que este compuesto es tóxico para los microorganismos ocasionando una reducción en la eficiencia del tratamiento posterior.

Posterior a la implementación del sistema de tratamiento, se requiere de su continua evaluación y control para evaluar las eficiencias de remoción.

Al lodo que resulta del tratamiento, también puede darse diversos usos, por ello sería importante evaluar la cantidad de estos y su composición fisicoquímica, para poder inducir su destino final.

Se recomienda evaluar además del compostaje, otras alternativas de manejo ambiental para los residuos sólidos orgánicos del matadero; estas deben evaluarse previamente a la luz del tamaño de los mismos, las cantidades mensuales producidas de cada tipo de desecho y la disponibilidad de recursos económicos con las que cuenten para su implementación y operación.

Es recomendable establecer procesos adecuados de salud ocupacional, debido a que la organización interna del matadero influye sin duda, en el manejo de residuos y subproductos que se haga dentro de las instalaciones de este.



## BIBLIOGRAFÍA

AQUALIMPIA. Descontaminación de aguas residuales de mataderos. 2007. En: [www.aqualimpia.com/Mataderos.htm](http://www.aqualimpia.com/Mataderos.htm). Revisado el: 15 de noviembre de 2007.

BONILLA PADILLA, Mauricio. Guía para el manejo de residuos en rastros y mataderos. México, 2007. En: [www.cofepris.gob.mx/pyp/alim/manejo\\_residuos\\_rastros.pdf](http://www.cofepris.gob.mx/pyp/alim/manejo_residuos_rastros.pdf). Revisado el: 15 de noviembre de 2007.

CALSAMIGLIA, Sergio. Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes. Madrid, 1997. Trabajo de grado (Especialización FEDNA). Univ. Autónoma de Barcelona. Departamento de Patología y Producción Animal. En: [www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/manejo\\_del\\_alimento/34-bases\\_utilizacion\\_fibra.htm](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/34-bases_utilizacion_fibra.htm). Revisado el: 11 de febrero de 2008.

CENTRO DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA DE NICARAGUA. Guía básica de manejo ambiental de rastros municipales. Nicaragua, 2004. En: [www.femica.org/areas/modambiental/archivos/docs/Guia%20de%20Manejo%20Ambiental%20de%20Rastros%20Municipales.pdf](http://www.femica.org/areas/modambiental/archivos/docs/Guia%20de%20Manejo%20Ambiental%20de%20Rastros%20Municipales.pdf). Revisado el: 15 de noviembre de 2007.

CHAUX, Guillermo; CALDERÓN, Jhon y ZAMBRANO, Napoleón. Estudio del funcionamiento Hidráulico de la Unidades y Equipos de Bombeo del matadero de Popayán. Convenio 053 Universidad del Cauca- Acueducto de Popayán S.A., 2005.

COWI, UNEP y EPA. Datos técnicos del rubro matadero/frigorífico. Dinamarca, 2000. En: [www.ministeriopublico.gov.py/menu/varios/delitosecologicos/archivos/delitosecologicos/anexos/anexo8.pdf](http://www.ministeriopublico.gov.py/menu/varios/delitosecologicos/archivos/delitosecologicos/anexos/anexo8.pdf). Revisado el: 26 de abril de 2007.

CRITES, Ron y TCHOBANOGLIOUS, George. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Bogota: Mc Graw Hill, 2000. p 776.

DEPURADORAS. Tamices tipo Hidranet. Bogota, 2008. En: [www.depuradoras.es/b2c/index.php?page=pp\\_producto.php&md=0&codp=757](http://www.depuradoras.es/b2c/index.php?page=pp_producto.php&md=0&codp=757). Revisado el: 19 de enero de 2008.

FALLA CABRERA, Luís Humberto. Desechos de Matadero como Alimento Animal en Colombia. Santafé de Bogotá, 2005. En: [www.fao.org/waicent/Faoinfo/Agricult/AGA/AGAP/FRG/APH134/cap7.htm](http://www.fao.org/waicent/Faoinfo/Agricult/AGA/AGAP/FRG/APH134/cap7.htm). Revisado el: 19 de enero de 2008.

FAO. Tratamiento de los desechos y eliminación de las aguas residuales. 2005. En: [www.fao.org/DOCREP/004/T0566S/T0566S04.htm](http://www.fao.org/DOCREP/004/T0566S/T0566S04.htm). Revisado el: 26 de abril de 2007.

GUERRERO, Jhoniers y MONSALVE, Jaime. El compostaje como una estrategia de producción más limpia en los centros de beneficio animal del departamento de Risaralda. En: Scientia et Técnica. Volumen No 32, diciembre de 2006. p 469.

GUERRERO, Jhoniers y RAMIREZ, Ignacio. Manejo ambiental de residuos en mataderos de pequeños municipios. En: Scientia et Técnica. Volumen No 26, diciembre de 2004. p 199.

IDEAM. El medio ambiente en Colombia. Segunda edición. Bogota, 2001.

INTEC CHILE y FONDO DE DESARROLLO E INNOVACIÓN. Documento de difusión, opciones de gestión ambiental. Sector mataderos. Chile, 1998. En: [www.p2pays.org/ref/20/19338.pdf](http://www.p2pays.org/ref/20/19338.pdf). Revisado el: 26 de abril de 2007.

MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1594 de 1984.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, RAS. Bogota, 2000.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Políticas ambientales de Colombia. Santa fe de Bogota: Imprenta nacional de Colombia, 1999. p 610.

MONROY, Néstor, et al. Introducción a la producción más limpia. Volumen 1. Santa fe de Bogota: Universidad de los Andes, 2003. p 389.

ORGANICOS T&C. Fertilizantes orgánicos. 2007. En: [www.viarural.com.ar/.../insumosagropecuarios/agricolas/cultivosintensivos/organicos-tyc/default.htm](http://www.viarural.com.ar/.../insumosagropecuarios/agricolas/cultivosintensivos/organicos-tyc/default.htm).  
Revisado el: 19 de enero de 2008.

RODRÍGUEZ MARTÍNEZ, Jesús, PEDRAZA, F. E. y GARZA, G. Y. Tratamiento de la aguas residuales del rastro municipal de la ciudad de saltillo coahuila utilizando un reactor anaerobio UASB con un soporte de bauxita en la parte superior. Universidad Autónoma de Coahuila. Facultad de Química. Departamento de Biotecnología. En: [www.femisca.org/publicaciones/XIcongreso/XICNIS021.pdf](http://www.femisca.org/publicaciones/XIcongreso/XICNIS021.pdf).  
Revisado el: 7 de febrero de 2008.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Santa fe de Bogota: Editorial Escuela colombiana de ingeniería, 1999. p 1248.

SALAZAR, Viviana y SÁNCHEZ, Adriana. Evaluación de inóculos para el tratamiento de efluentes de rallanderias de yuca. Popayán, 2007, p 114. Trabajo de grado (Ingeniero ambiental). Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Civil.

SAWYER, Clair. Química para ingeniería ambiental. Bogota: Mc Graw Hill, 2001. p 715.

SHIMAMOTO, Arturo. Industria matarife/frigorifica. Publicada en: Ecosignos virtual. Año 3, Número 3, 1998. En: [www.salvador.edu.ar/vrid/publicaciones/ecsv3-3c.htm](http://www.salvador.edu.ar/vrid/publicaciones/ecsv3-3c.htm).  
Revisado el: 26 de abril de 2007.

SISTEMA NACIONAL DE INVERSIONES PÚBLICAS DE NICARAGUA. Guía de preinversión para proyectos de rastro municipal. Nicaragua, 2002. 124 p. En: [www.inpublicasnicaragua.gov.ni](http://www.inpublicasnicaragua.gov.ni). Revisado el: 26 de abril de 2007

Standard methods for the examination of water and wastewater. 20<sup>th</sup>, Edic. APHA, AWWA, WEF, 1998.

UDELAR, facultad de química y FREPLATA. Proyecto piloto de producción más limpia y reducción de la contaminación por efluentes industriales. Desarrollo de casos demostrativos en Uruguay. Uruguay, 2005. En: [www.freplata.org/documentos/archivos/Documentos\\_Freplata/PilotoPML/Proy-Piloto\\_PML-Inf1\\_Parte1.pdf](http://www.freplata.org/documentos/archivos/Documentos_Freplata/PilotoPML/Proy-Piloto_PML-Inf1_Parte1.pdf). Revisado el: 26 de abril de 2007.

UNDA OPAZO, Francisco. Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública. México; Limusa Noriega Editores, 2002. p 410.

XX CONGRESO COLOMBIANO DE INGENIERÍA QUÍMICA. Tecnologías limpias para el nuevo milenio. Santiago de Cali: Memorias, 1999. p 277.

YASNÓ, Julián y GARCIA, César. Selección y diseño de alternativas para el tratamiento de afluentes y efluentes del proceso de producción piscícola caso trucha en el municipio de Silvia (Cauca). Popayán, 2007, p 121. Trabajo de grado (Ingeniero ambiental). Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Civil.

## ANEXOS

### ANEXO A

#### VALORES DE LOS DIFERENTES PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

#### VALORES DE DQO EN LOS DIFERENTES DIAS DE MUESTREO (mg/L O<sub>2</sub>)

FECHA	ANÁLISIS	SUBMUESTREOS		
		1	2	3
21 Noviembre	1	832	869	864
	2	1058	1066	1071
	3	981	799	875
24 Noviembre	1	3166	3193	3991
	2	4774	4781	4800
	3	4442	4377	4996
28 Noviembre	1	1440	1440	1440
	2	1312	1276	1282
	3	1248	1272	1260
1 Diciembre	1	786	772	782
	2	828	669	753
	3	780	791	769

#### VALORES DE DBO<sub>5</sub> EN LOS DIFERENTES DIAS DE MUESTREO (mg/L O<sub>2</sub>)

FECHA	ANÁLISIS	SUBMUESTREOS	
		1	2
21 Noviembre	1	8566,2	8202,6
	2	9541,5	9593,7
	3	10444	10568
24 Noviembre	1	8223,1	8260,1
	2	7499	7597
	3	7584,7	7592,9
28 Noviembre	1	5400	6432
	2	6824,5	6884,3
	3	6396,4	6414,8
1 Diciembre	1	12280	12281,6
	2	12298	12386
	3	12202	13094

**VALORES DE SST EN LOS DIFERENTES DIAS DE MUESTREO (mg/L)**

FECHA	ANÁLISIS	SUBMUESTREOS	
		1	2
21 Noviembre	1	1858	1872
	2	1799	1809
24 Noviembre	1	1354	1396
	2	1401	1403
28 Noviembre	1	1138	1170
	2	1099	1153
1 Diciembre	1	1125	1093
	2	1011	1029

**VALORES DE FÓSFORO TOTAL EN LOS DIFERENTES DIAS DE MUESTREO (mg/L P)**

FECHA	ANÁLISIS	SUBMUESTREOS	
		1	2
21 Noviembre	1	13,32	13,64
	2	13,11	13,11
	3	17,12	17,24
24 Noviembre	1	17,44	17,4
	2	32,6	25,8
	3	19,9	21,18
28 Noviembre	1	23,8	25,5
	2	24	24,6
	3	23,8	20,56
1 Diciembre	1	44,19	44,33
	2	44,2	41,14
	3	43,1	42,44

**VALORES DE NITRÓGENO TOTAL EN LOS DIFERENTES DIAS DE MUESTREO (mg/L N)**

FECHA	ANÁLISIS	SUBMUESTREOS	
		1	2
21 Noviembre	1	901,9	902,7
	2	898	898
	3	901	895
24 Noviembre	1	999	1001,4
	2	1012	1013,8
	3	1007,8	1001

28 Noviembre	1	591	592,2
	2	591,5	591,7
	3	591,6	591,6
1 Diciembre	1	1033	1061
	2	1069	1067
	3	1066	1052

### VALORES DE GRASAS Y ACEITES EN LOS DIFERENTES DIAS DE MUESTREO (mg/L)

FECHA	ANÁLISIS	SUBMUESTREOS	
		1	2
21 Noviembre	1	120	120
	2	100	112
24 Noviembre	1	66	54
	2	81	87
28 Noviembre	1	48	50
	2	33	43
1 Diciembre	1	82	94
	2	82	82

### VALORES DE pH EN LOS DIFERENTES DIAS DE MUESTREO

FECHA	ANÁLISIS	SUBMUESTREOS	
		1	2
21 Noviembre	1	7,51	7,60
	2	7,62	7,64
24 Noviembre	1	7,67	7,81
	2	7,98	7,98
28 Noviembre	1	7,56	7,57
	2	7,57	7,54
1 Diciembre	1	7,39	7,42
	2	7,41	7,42

### VALORES DE TEMPERATURA EN LOS DIFERENTES DIAS DE MUESTREO (°C)

FECHA	ANÁLISIS	SUBMUESTREOS	
		1	2
21 Noviembre	1	19,1	19,1
	2	19,1	19,1
24 Noviembre	1	19,9	19,7
	2	19,7	19,6

28 Noviembre	1	20	19,9
	2	19,9	19,9
1 Diciembre	1	20	20,1
	2	19,8	19,7

**VARIACIÓN DE pH EN UN PERIODO DE DOS HORAS EN LOS DIFERENTES DIAS DE MUESTREO**

FECHA	HORA	MEDICIÓN
21 Noviembre	0 minutos	7,51
	15 minutos	7,68
	30 minutos	7,82
	45 minutos	7,93
	1 hora	7,96
	1 hora y 15 minutos	7,88
	1 hora y 30 minutos	7,9
	1 hora y 45 minutos	8,1
24 Noviembre	2 horas	8
	0 minutos	7,67
	15 minutos	8,1
	30 minutos	8,12
	45 minutos	7,99
	1 hora	8,05
	1 hora y 15 minutos	8,11
	1 hora y 30 minutos	8,18
1 hora y 45 minutos	8,17	
28 Noviembre	2 horas	8,21
	0 minutos	7,56
	15 minutos	7,56
	30 minutos	7,74
	45 minutos	7,66
	1 hora	7,63
	1 hora y 15 minutos	7,79
	1 hora y 30 minutos	7,78
1 hora y 45 minutos	7,85	
1 Diciembre	2 horas	7,83
	0 minutos	7,37
	15 minutos	7,48
	30 minutos	7,37
	45 minutos	7,32
	1 hora	7,34
	1 hora y 15 minutos	7,36
	1 hora y 30 minutos	7,42
1 hora y 45 minutos	7,46	
	2 horas	7,51



## ANEXO B

### METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

PARÁMETRO	EQUIPO	METODO*
<b>pH</b>	Medición In situ sobre el agua residual con una sonda multiparamétrica HACH	4500–H <sup>+</sup> B
<b>Temperatura</b>	Medición In situ sobre el agua residual con un termómetro Hg 0 – 100°C	4500–O 6
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Lectura de oxígeno disuelto en el día cero y en el día cinco, incubando la muestra en un winkler durante los 5 días.	5210 B
<b>DQO</b>	Sometiendo a reflujos durante 2 horas la muestra previamente mezclada con K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> . Adicionando agua destilada por las paredes del condensador para arrastrar los vapores condensados. Este residuo se titula con solución FAS estandarizada.	5220 B
<b>SST</b>	Determinando la diferencia entre los sólidos totales y sólidos disueltos. El primero se realiza sometiendo los vasos de precipitados a calentamiento a 103 – 105°C durante 1 hora. Uno de ellos con la muestra se somete a calentamiento y el residuo se lleva a la estufa a una temperatura de 93 – 95°C. Pesando cada uno en una balanza analítica. Para el segundo se filtra la muestra y se somete a evaporación, posteriormente se seca en la estufa a 103 – 105°C y se pesa el residuo.	2540 D
<b>Nitrógeno Total</b>	Titulando con HCl el destilado proveniente del calentamiento de los tubos de digestión Buchi que contienen la muestra haciendo pasar vapor de agua.	4500–Norg C
<b>Fósforo Total</b>	Digestión de la muestra hasta un volumen de 1ml posteriormente aforado, para realizar una lectura en el espectrofotómetro HACH en el programa 690nm.	4500–P D
<b>Grasas y aceites</b>	Extracción en la cámara del equipo Soxhlet en 20 ciclos/hora durante 4 horas, del residuo de grasa y aceite que contenía previamente un filtro enrollado en donde se dispone la muestra.	5520 D

\*Numeral en el Standard Methods.

## ANEXO C

### VALORES DE AFORO DE CAUDAL EN CADA UNA DE LAS FECHAS DE MUESTREO

#### AFORO Nº 1. SÁBADO 10 DE NOVIEMBRE DE 2007

RESES SACRIFICADAS: 34  
CERDOS SACRIFICADOS: 6

HORA	VOLUMEN DE AGUA GASTADO (L)	CAUDAL HORARIO PROMEDIO (L/s)
11a12	309,59	0,086
12a1	400,21	0,111
1a2	441,5	0,123
2a3	776,2	0,216
3a4	11302,01	3,139
4a5	21331,19	5,925
5a6	25977,67	7,216
6a7	3881,82	1,078
<b>TOTAL</b>	<b>64420,19</b>	
<b>PROMEDIO</b>		<b>2,237</b>

#### AFORO Nº 2. VIERNES 30 DE NOVIEMBRE DE 2007

RESES SACRIFICADAS: 3  
CERDOS SACRIFICADOS: 2

HORA	VOLUMEN DE AGUA GASTADO (L)	CAUDAL HORARIO PROMEDIO (L/s)
2a3	343,01	0,095
3a4	311,1	0,086
4a5	2991,03	0,831
5a6	7011,3	1,948
6a7	801,4	0,223
<b>TOTAL</b>	<b>11457,84</b>	
<b>PROMEDIO</b>		<b>0,637</b>

**AFORO Nº 3. VIERNES 7 DE DICIEMBRE DE 2007**

**RESES SACRIFICADAS: 4**  
**CERDOS SACRIFICADOS: 2**

<b>HORA</b>	<b>VOLUMEN DE AGUA GASTADO (L)</b>	<b>CAUDAL HORARIO PROMEDIO (L/s)</b>
2a3	325,13	0,090
3a4	347,12	0,096
4a5	3009,25	0,836
5a6	9732,34	2,703
6a7	715,5	0,199
<b>TOTAL</b>	<b>14129,34</b>	
<b>PROMEDIO</b>		<b>0,785</b>

**AFORO Nº 3. SÁBADO 8 DE DICIEMBRE DE 2007**

**RESES SACRIFICADAS: 37**  
**CERDOS SACRIFICADOS: 8**

<b>HORA</b>	<b>VOLUMEN DE AGUA GASTADO (L)</b>	<b>CAUDAL HORARIO PROMEDIO (L/s)</b>
11a12	289,69	0,080
12a1	458,47	0,127
1a2	427,58	0,119
2a3	751,06	0,209
3a4	14028,13	3,897
4a5	34899,15	9,694
5a6	20925,03	5,813
6a7	3929,96	1,092
<b>TOTAL</b>	<b>75709,07</b>	
<b>PROMEDIO</b>		<b>2,629</b>

## ANEXO D

### DIMENSIONAMIENTO Y ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LAS REJAS DE DESBASTE

Ancho recomendado del canal de rejillas:

$$W = \frac{F \times (1 + S)}{V \times D} + C$$

W = Ancho del canal de rejillas

F = Caudal máximo de diseño

V = Velocidad máxima del agua entre rejillas

D =  $0.15 + 0.74(\text{Caudal máximo})^{0.5}$

C = Ancho adicional (m)

Datos:

$$F = 0.005 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 0.8 \text{ m/s}$$

$$D = 0.15 + 0.74 \times (0.005)^{0.5} = 0.2 \text{ m.}$$

$$W = \frac{0.005 \times (1 + 1)}{0.8 \times 0.2 \times 1} + C$$

$$W = 0.063 + C.$$

Adoptando  $C = 0.237 \text{ m}$

Ancho de canal de rejillas =  $0.30 \text{ m}$

$$\text{Area útil de reja} = \frac{F}{V}$$

$$\text{Area útil de reja} = \frac{0.005}{0.8} = 0.0063 \text{ m}^2$$

$$\text{Ancho útil de reja} = 0.30 \times \left( \frac{1}{1+1} \right) = 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Altura útil} = \frac{0.0063}{0.15} = 0.042 \text{ m}$$

Se puede adoptar una altura de canal de 40cms y la reja inclinada 45 grados se construye a la altura del canal.

Sen 45 = 0.4/ L reja

L reja = 0.56m

Para un canal en concreto, flujo libre, se puede asumir un coeficiente de rugosidad, n, de Manning = 0.016.

$$n \cdot (1) + (n+1) \cdot 1 = 30$$

$$1n + 1n = 30 - 1$$

$$2n = 29$$

n = 14.5 = 15 espacios y por lo tanto 16 barras de 0.56m longitud

Para garantizar una velocidad máxima de 0.8 m/s, la pendiente máxima que se le puede dar al fondo del canal es:

$$S_{\text{máx}} = \frac{V_{\text{máx}} \times n^2}{R^{4/3}}$$

$$R = \frac{b \times h}{b + 2h}$$

$$R = \frac{0.15 \times 0.042}{0.15 + 2 \times 0.042} = 0.027$$

$$S_{\text{máx}} = \frac{0.8^2 \times 0.016^2}{0.027^{4/3}} = 0.02 \text{ m/m} = 2\%$$

Se adopta una pendiente del 2%.

### Chequeo para condiciones actuales:

El matadero produce un caudal máximo de 5 LPS. Para esta condición debe cumplirse que la velocidad de paso a través de la reja esté entre 0.6 y 0.8 m/s.

$$\frac{Q \times n}{S^{1/2}} = A \times R^{2/3}$$

$$\frac{0.005 \times 0.016}{0.02^{1/2}} = 0.15 \times h \times \left( \frac{0.15 \times h}{0.15 + 2 \times h} \right)^{2/3} = \frac{(0.15 \times h)^{5/3}}{(0.15 + 2 \times h)^{2/3}}$$

h = Altura equivalente de lámina de agua sobre reja para el caudal medio

$$0.00057 = \frac{(0.15 \times h)^{5/3}}{(0.15 + 2 \times h)^{2/3}}$$

$$h = 0.042 \text{ m}$$

$$R = \frac{0.15 \times 0.042}{2 \times 0.042 + 0.15} = 0.027$$

$$\text{Velocidad de paso del agua a través de las barras} = \frac{0.027^{2/3} \times 0.02^{1/2}}{0.016} = 0.79 \text{ m/s}$$

Que está en el rango señalado para unas condiciones adecuadas de operación.

Adicionalmente, se debe garantizar que en el canal de aproximación, la velocidad del agua sea superior a 0.6 m/s para condiciones promedio, con el fin de evitar el depósito de material suspendido en el mismo.

En la zona de aproximación el ancho útil del canal es de 30cm.

$$\frac{0.005 \times 0.016}{0.02^{1/2}} = \frac{(0.3 \times h)^{3/2}}{(0.3 + 2 \times h)^{3/2}}$$

$$h = 0.025$$

$$R = \frac{0.3 \times 0.025}{0.3 + 2 \times 0.025}$$

$$R = 0.021 \text{ m}$$

$$\text{Velocidad del flujo en el canal de aproximación} = \frac{0.021^{2/3} \times 0.02^{1/2}}{0.016} = 0.67 \text{ m/s}$$

Velocidad adecuada para garantizar buenas condiciones de arrastre, evitando el depósito de materiales en dicho canal.

### **Pérdida de carga en la reja:**

RAS 2000, estipula una pérdida de carga máxima de 15cm. Para condiciones de reja limpia.

Para tal cálculo, la norma recomienda emplear la fórmula de Kirchner:

$$H = \frac{\beta \times \left(\frac{S}{b}\right)^{4/3} \times V^2}{19.6} \times \text{sen} \Theta$$

Para condiciones promedio:

$\Theta$  = Angulo de inclinación de la reja con la horizontal  $45^\circ$

$\beta = 2.42$  para barras de sección rectangular

S = separación libre entre barras

b = Ancho de barra

V = Velocidad del flujo en el canal de aproximación

$$H=2.42*0.67^2*\text{sen}45/19.6=0.04\text{m}$$

Para el caudal de proyecto de 5 LPS, en el canal de aproximación se cumple:

$$\frac{0.005 \times 0.016}{0.02^{1/2}} = \frac{0.3 \times h^3}{0.3 + 2 \times h^3}, \text{ altura del agua para el caudal de proyecto en el canal de aproximación} = 5,5\text{cm}$$

$$\text{Radio Hidraulico para 5 LPS} = \frac{0.3 \times 0.055}{0.3 + 2 \times 0.055} = 0.04\text{m}$$

Velocidad en el canal de aproximación para el caudal del proyecto

$$V = \frac{0.04^{2/3} \times 0.02^{1/2}}{0.016} = 1.03\text{m/s}$$

H= Pérdida de carga para reja limpia y caudal de proyecto

$$H=2.42*1.03^2*\text{sen}45/19.6=0.09\text{m}$$

Valor menor que 15cm., cumpliendo con lo estipulado por RAS 2000.

## ANEXO E

### DIMENSIONAMIENTO Y ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL UASB

El volumen del reactor puede ser determinado con base en la concentración del agua residual, mediante la siguiente expresión:

$$V_r = \frac{Q \times C}{B_v \times 1000}$$

Q = Caudal m<sup>3</sup>/día

C = Concentración de DQO soluble g/m<sup>3</sup>

B<sub>v</sub> = Tasa de carga orgánica aplicable en k/m<sup>3</sup>.día

Lettinga y Hulshoff sugieren aplicar tasas de carga orgánica con base en la DQO soluble de 2 a 4k/m<sup>3</sup>.día, para aguas residuales con temperaturas entre 15 y 20°C. Para una carga de 4k/m<sup>3</sup>.día, caudal promedio de 0.5 LPS, considerando que la DQO soluble es el 50% de la DQO total, se tiene una DQO soluble de 3383,9g/m<sup>3</sup>.

$$0.0005 \times 86400 \times 3383,9 / (1000 \times 4) = 36,55 \text{ m}^3$$

Para garantizar condiciones adecuadas de operación y mantenimiento se diseñarán 2 reactores que funcionarán simultáneamente, cada uno, con la mitad del caudal.

$$\text{Volumen de cada reactor} = 36,55 / 2 = 18,28 \text{ m}^3$$

Tiempo de detención Hidráulico de cada reactor para el caudal promedio:

$$\frac{18,28}{0.00025 \times 3600} = 20,3 \text{ horas}$$

La práctica con reactores UASB en aguas industriales, sugiere que la altura de los mismos oscile entre 4 y 7m.

Altura adoptada para diseño: 4m

$$\text{Área superficial} = \frac{18,28}{4} = 4,57 \text{ m}^2$$

Para reactores con relación largo/Ancho de 2/1:

$$\text{Ancho} = \left( \frac{4,57}{2} \right)^{\frac{1}{2}} = 1,51 \text{ m}$$

$$\text{Largo} = 2 * 1,51 = 3,02 \text{ m}$$



Según RAS la velocidad del agua en la garganta de lodos sedimentados no debe exceder de 5 m/h

$$\text{Velocidad} = \frac{Q}{(1.51 * 2 * X)}$$

Siendo X el ancho de la garganta de retorno de lodos sedimentados:

$$X = \frac{Q}{3.02 * V}$$

Adoptando V= 4 m/h

$$X = \frac{0.00025 * 3600}{(3.02 * 4)} = 0.075 \text{ m}$$

Se adopta X= 0.08m

$$\text{Velocidad} = \frac{0.00025 * 3600}{(2 * 0.08 * 1.51)} = 3.73 \text{ m/h}$$

Según RAS el área superficial de las aberturas entre el colector de GAS debe estar entre el 15 y 20% del área superficial del reactor:

$$3M * 1.51 = 0.2 (1.51 * 3.02)$$

Donde M = Ancho de aberturas entre el colector de gas

$$M = \frac{0.2 * 3.02}{3} = 0.2$$

Se asume M = 0.2m

$$\% \text{ Area} = \frac{3 * 0.2 * 1.51}{(3.02 * 1.51)} = 19.9\% \text{ de acuerdo con RAS}$$

Según RAS la altura mínima del separador GLS, debe estar entre 1.5m y 2m.

$$\text{Ancho superior } S = \frac{(3.02 - 3 * 0.2)}{2} = 1.21 \text{ m}$$

### **Inclinación de las paredes del GLS:**

Para una altura de la parte inclinada H1 de 1.3m+0.2m bajo el nivel del agua=1.5m.

$$\Theta = \tan^{-1}(1.3/0.715) = 61^\circ \text{ de inclinación del separador con respecto a la horizontal.}$$

$$\text{Volumen total de cada reactor} = 1.51 * 3.02 * 4 = 18.24 \text{ m}^3$$

En reactores UASB para aguas residuales industriales el volumen de la zona de sedimentación debe estar entre el 15 y el 20% del volumen total del reactor.

Volumen de la parte inclinada =  $(1.21+0.08)*1.5*1.51*2/2 = 2.92\text{m}^3$

Colocando una altura adicional h de sección prismática, se tiene:

Volumen de la zona de sedimentación =  $2.92+1.21*2*0.2*1.51 = 3.65\text{m}^3$

% Volumen de sedimentación con respecto al volumen total =  $3.65/18.24 = 20\%$

### Recolección del efluente:

Se utilizará tubería de PVC con perforaciones en la parte superior con una sumergencia de 5cm.

Diámetro =  $1.25Q^{0.4}$

Dejando cada tubería con capacidad para desalojar el caudal promedio total, en caso de que por mantenimiento funcione un solo reactor, con una relación máxima de profundidades del 65%:

$Q = 0.0005 \text{ m}^3/\text{s}$

$\varnothing = 1.25 (0.0005)^{0.4} = 0.06\text{m}$

Se adopta un diámetro de 3". Paralelas a cada tubo se colocarán placas o láminas de fibra de vidrio o acero inoxidable sumergidas 30cm en el líquido.

En la parte superior de cada tubo se colocarán orificios de 1/2 de pulgada.

Area de orificios =  $\frac{\pi \times (0.0127)^2}{4} = 1.27 \text{e}^{-4} \text{ m}^2$

$Q = C_d \times A \times (2 \times g \times h)^{\frac{1}{2}}$

Para  $C_d = 0.70$

Caudal por orificio =  $0.70 \times 1.27 \text{e}^{-4} \times (2 \times 9.8 \times 0.05)^{1/2}$

Caudal por orificio = 0.088 l/s

Número de orificios =  $0.5/0.088 = 5.68 \approx 6$

Separación entre orificios =  $1.51/6 = 0.25\text{m} = 25\text{cm}$ .

Cada tubería llevará orificios superiores de 1/2 pulgada separados 25cm, centro a centro.

Lateralmente dichas tuberías se conectarán a tuberías de 3" que llevarán el agua residual hacia el tratamiento posterior.

### Sistema de distribución del afluente:

Para las cargas orgánicas manejadas cada punto de alimentación debe tener una cobertura de fondo entre 2 y 4 m<sup>2</sup>. Para un total de 6 puntos de entrada, 3 puntos por cada reactor:

Área por punto de Entrada  $1.51 \times (3.02/3) = 1.52\text{m}^2$

Se recomienda que la velocidad en cada punto de alimentación no supere los 0.20m/s.

Para velocidades por punto de entrada de 0.15 m/s

$$\text{Area} = \frac{Q}{V}$$

$$\text{Area} = \frac{0.00025/6}{0.15} = 2.78e^{-4} \text{ m}^2$$

Diámetro de cada punto de entrada =  $(4(\text{Área})/\pi)^{1/2} = 0.019\text{m}$

Se adopta un diámetro de 1 pulgada por cada punto de entrada.

En la cámara de ingreso, se hará una división de tal modo que se colocará un vertedero central para garantizar una distribución uniforme del caudal.

Longitud de cada cámara de ingreso: 0.75m

Longitud de cada vertedero = 0.75m

$$\text{Altura de lámina de agua para 0.25 LPS} = \left( \frac{0.00025}{1.84 \times 0.75} \right)^{2/3} = 3.2e^{-3} \text{m} \approx 3\text{mm}$$

### Hidráulica de tubos de ingreso:

Caudal máximo por tubo:  $0.5/6 = 0.08 \text{ LPS}$

Velocidad:  $Q/A = 0.08e^{-3}/5.07e^{-4} = 0.16\text{m/s}$

Diámetro de cada tubo: 0.0254m

Longitud máxima: 6.42m

Coeficientes de pérdidas menores:

Entrada y salida tubo: 1.5

2 codos de 90: 1.2

Suma de K menores: 2.7

Viscosidad cinemática:  $0.01024 \text{ cm}^2/\text{s}$

Densidad:  $997.3 \text{ Kg/m}^3$

Número de Reynolds:  $28 \times 2.54 / 0.01024 = 6945$

Aplicando Colebrook–White para las condiciones expuestas se tiene:

$F = \text{Coeficiente de fricción} = 0.034$

Pérdidas de carga en la tubería de alimentación:

- Por fricción:

$$h_f = \frac{f \times l \times v^2}{(2gd)}$$

$$h_f = \frac{0.034 \times 6.42 \times 0.16^2}{(2 \times 9.8 \times 0.0254)} = 0.011 \text{ m} = 11 \text{ mm}$$

- Locales =  $\Sigma k \times v^2 / 19.6$

$$\text{Locales} = 2.7 \times 0.16^2 / 19.6 = 0.004 \text{ m} = 4 \text{ mm}$$

- Pérdida por paso a través de la garganta de escurrimiento de lodos:

$$h = \frac{Q^2}{(Cd^2 \times A^2 \times 2g)}$$

$$Cd = 0.6$$

$$A = 1.51 \times 2 \times 0.08 = 0.24$$

$$h = \frac{0.00025^2}{0.6^2 \times 0.24^2 \times 2g} = 1.53e^{-7} \text{ m} \text{ Despreciable.}$$

Se puede asumir una pérdida teórica total de 2cm.

## ANEXO F

### DIMENSIONAMIENTO Y ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL FILTRO PERCOLADOR

Remoción en el UASB: 65%

Entrada al filtro percolador: DBO = 480mg/L

Salida del filtro percolador: DBO = 137.2mg/L.

Filtro de una etapa:

$$E = \frac{480 - 137.2}{480} \times 100 = 71.42\%$$

Carga de DBO al filtro:

$$W = Q (\text{m}^3/\text{día}) * \text{DBO} (\text{Lb}/\text{m}^3)$$

$$W = (43.2 \text{m}^3/\text{día} \times 480 \text{g}/\text{m}^3) / 454 \text{gr} = 45.7 \text{Lb}/\text{día}$$

Numero de veces que el agua residual pasa por el filtro, considerando que no hay

recirculación (R = 0):

$$F = \frac{1 + R}{\left(1 + \frac{R}{10}\right)^2} = 1$$

Volumen neto del medio filtrante:

$$V = \frac{W (0.0561)^2}{F \left(\frac{100}{E} - 1\right)^2} \times 10^3 (\text{pies}^3)$$

$$V = \frac{45.7 (0.0561)^2}{1 \left(\frac{100}{71.4} - 1\right)^2} \times 10^3 = 896.4 \text{pies}^3 \approx 25.38 \text{m}^3$$

Como son dos unidades en paralelo

$$V_{c/u} = \frac{25.38}{2} = 12.7 \text{m}^3$$

Altura típica entre 1.8 y 3m, se adopta H = 2m

$$A_{sup c/u} = \frac{12.7}{2} = 6.4 \text{m}^2$$

Como generalmente son circulares, cada filtro percolador tendrá un diámetro de:

$$\phi = \sqrt{\frac{4 \times 6.4}{\pi}} = 2.8 \text{m}$$

## ANEXO G

### DIMENSIONAMIENTO Y ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL FAFA

DQO promedio del agua residual = 6767,7 mg/L

DQO efluente =  $0.2 \times 6767.7 = 1353.54$  mg/L

$$\text{Eficiencia de Remoción deseada} = \frac{6767.7 - 1353.54}{6767.7} \times 100 = 80\%$$

Para el cálculo del tiempo de retención Hidráulica, se puede utilizar la expresión sugerida por el RAS, original de Young y McArty:

$$\text{TRH} = \left[ \frac{S_k}{-E/100} \right]^{1/m}$$

TRH es el tiempo de retención hidráulico en horas

En medios sintéticos de uso regional, un valor adecuado para  $S_k$  es 1.0 y para  $m$  es 0.55, en aguas residuales industriales de concentración fuerte:

$$\text{TRH} = \left[ \frac{1}{-80/100} \right]^{1/0.55} = 18.7 \text{ horas.}$$

Se recomienda afectar dicho valor teórico por un factor de seguridad del 20%,  
 $\text{TRH}_{\text{requerido}} = 1.2 \times 18.7 = 22.44$  horas

$$\text{Volúmen de líquido} = 0.0005 \times 22.44 \times 3600 = 40.4 \text{ m}^3$$

Para un % de vacíos del 90%

$$\text{Volumen del reactor incluyendo el medio sintético} = \frac{40.4}{0.9} = 44.9 \text{ m}^3$$

Diseño: 2 unidades en paralelo para funcionamiento simultáneo.

$$\text{Volumen de cada unidad} = 44.9/2 = 22.44 \text{ m}^3$$

Carga orgánica promedio sobre cada reactor =

$$\frac{6767.7 \times 0.00025 \times 86400}{20.2 \times 1000} = 7.24 \text{ K DQO/m}^3 \cdot \text{día}$$

Para una altura de medio de 3m:

$$\text{Area de cada unidad} = \frac{22.44}{3} = 7.48\text{m}^2$$

Para una relación Largo/Ancho de 2/1

$$\text{Ancho} = \left( \frac{7.48}{2} \right)^{1/2} = 1.93 \text{ m.}$$

$$\text{Largo} = 2 \times 1.93 = 3.87\text{m.}$$

### Recolección del efluente:

$$\text{Diámetro} = \emptyset = 1.25Q^{0.4}$$

Dejando cada tubería con capacidad para desalojar el caudal promedio:

$$Q = 0.0005 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\emptyset = 1.25 \times (0.0005)^{0.4} = 0.06\text{m.}$$

Se adopta un diámetro de 3 pulgadas. Cada tubería se colocará a 5cm de profundidad. Paralelas a cada tubo se colocarán placas o láminas de fibra de vidrio o acero inoxidable sumergidas 30cm en el líquido.

En la parte superior de cada tubo se colocarán orificios de ½ de pulgada.

$$\text{Área de orificios} = \frac{3.1416 \times 0.0127^2}{4} = 1.27\text{e-}4 \text{ m}^2$$

$$Q = C_d \times A \times \sqrt{2 \times g \times h}$$

$$\text{Para } C_d = 0.70$$

$$\begin{aligned} \text{Caudal por orificio} &= 0.70 \times 1.27\text{e-}4 \times (2 \times 9.8 \times 0.05)^{1/2} \\ &= 8.8\text{e-}5 \text{ m}^3/\text{s} = 0.088 \text{ L/s} \end{aligned}$$

$$\text{Número de orificios} = \frac{0.5}{0.088} = 6 \approx 3$$

$$\text{Separación entre orificios} = \frac{3.87}{6} = 0.6\text{m}$$

Cada tubería llevará orificios superiores de ½ de pulgada separados 0.6m, centro a centro, paralelas a las tuberías se deben colocar placas que penetren 30cm por debajo de los tubos de recolección, preferiblemente en fibra de vidrio o acero inoxidable.

### Distribución del afluente:

Para lograr una cobertura uniforme de los puntos de entrada sobre el fondo del reactor, en cada filtro se utilizará una tubería principal de 3" formando una flauta de distribución con orificios de 1/2"

### Análisis hidráulico del fondo del reactor:

Área de perforaciones de 1/2":

$$\text{Individual } A = \frac{\pi \times 0.0127^2}{4} = 1.27e^{-4} \text{ m}^2$$

Colocando una perforación cada 40 cms

Número de perforaciones= 3.87/0.4=10

Caudal por perforación= 0.25/10=0.025 LPS

Velocidad por perforación= 0.025e-3/1.27e-4=0.2m/s

Pérdida de carga en perforaciones:

$$h = \frac{Q^2}{Cd^2 \times A^2 \times 2g}$$
$$h = \frac{(0.025e^{-3})^2}{(0.6^2 \times (1.27e^{-4})^2 \times 2g)} = 0.006m = 6 \text{ mm}$$

Perforaciones falso fondo:

Para una placa de fondo con espacios libres rectangulares de 3cm x 1.93m, separados por losetas cada 10cm

Número de perforaciones = 3.87 / 0.13 = 29.77

Caudal por perforación = 0.25 / 30 = 0.008 LPS

Área de cada perforación = 0.03 x 1.93 = 0.058 m<sup>2</sup>

$$h = \frac{(0.008e^{-3})^2}{(0.6^2 \times 0.058^2 \times 2g)} = 2.7e^{-9}m \text{ Despreciable.}$$



### Análisis hidráulico de las tuberías principales de ingreso:

$$\text{Caudal máximo por tubo: } \frac{0.5}{2} = 0.25 \text{ LPS}$$

$$\text{Velocidad: } \frac{Q}{A} = \frac{0.25 \times 10^{-3}}{0.00456} = 0.05 \text{ m/s}$$

Diámetro de cada tubo: 0.0762 m.

Longitud máxima: 8.17 m

Coefficientes de pérdidas menores:

Entrada a tubo: 1.0

1 codos de 90 = 0.6

Suma de K menores: 1.6

Viscosidad cinemática: 0.01024 cm<sup>2</sup>/s

Densidad = 997.3 Kg/m<sup>3</sup>

$$\text{Número de Reynolds} = \frac{5 \times 7.62}{0.01024} = 3720$$

Regimen de flujo laminar:

F = Coeficiente de fricción = 0.0172

Pérdidas de carga en la tubería de alimentación:

Por fricción:

$$h_f = \frac{f \times l \times v^2}{2gd}$$

$$h_f = \frac{0.0172 \times 8.17 \times 0.05^2}{2 \times 9.8 \times 0.0762} = 2.35 \times 10^{-4} \text{ m} = 0.2 \text{ mm}$$

$$\text{Locales} = \frac{\sum k \times v^2}{19.6}$$

$$\text{Locales} = \frac{1.6 \times 0.05^2}{19.6} = 2.04 \times 10^{-4} \text{ m} = 0.2 \text{ mm}$$

**Análisis hidráulico del medio soporte:**

$$V_{asc} = 0.00025 \times 60 / (1.93 \times 3.87) = 0.03 \text{ m/min}$$

$$\text{Altura del medio} = 3\text{m}$$

$$\text{Pérdida total} = 0.03 \times 3/3 = 0.03\text{m} = 3\text{mm.}$$

- **Pérdida de carga total (mm) = 10mm**, se pueden adoptar 2cm por tratarse de agua residual doméstica.