

# PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA Y VIABILIDAD DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO PARA EFLUENTES DEMATADEROS EN PEQUEÑAS LOCALIDADES

## Caso: Municipio de El Tambo (Colombia)

# CLEANER PRODUCTION AND FEASIBILITY OF BIOLOGICAL TREATMENT FOR SLAUGHTERHOUSES EFFLUENTS IN SMALL TOWNS

## Case: Municipality of Tambo (Colombia)

GUILLERMO CHAUX<sup>1</sup>, GLORIA L. ROJAS<sup>2</sup> Y LINA BOLAÑOS<sup>3</sup>

### PALABRAS CLAVES:

Efluentes de mataderos, subproductos, tratamiento biológico.

### KEY WORDS:

Slaughterhouse effluents, by-products, biological treatment

### RESUMEN

*Se evaluó la viabilidad de tratamiento biológico para el efluente del matadero del municipio de El Tambo (Cauca) y se propuso la implementación de procesos de producción más limpia (PML) en cuanto al uso del agua y algunos subproductos generados por esta central de sacrificio. Se llevaron a cabo jornadas de inspección sanitaria, aforos de caudal, cuantificación volumétrica de subproductos y análisis fisicoquímicos que incluyen: DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, nitrógeno total, fósforo total, grasas y aceites, temperatura y pH. Se registra un elevado consumo de agua: 200 litros/cerdo y 1880 litros/res (superiores a los promedios del matadero de Popayán-Cauca: 100 L/cerdo y 500 L/res); valores de parámetros de contaminación: 9024 mg/L DQO, 1829 mg/L DBO<sub>5</sub>, 1357 mg/L SST, 889 mg/L N, 26 mg/L P, 79 mg/L de grasas y aceites, pH de 7.6. Producción de 23 L/bovino de rumen y 28 L/bovino de sangre. El efluente es de difícil biodegradabilidad; sin embargo, el tratamiento biológico anaeróbico es viable mediante una eliminación previa de grasas y rumen, colectándolos por separado mediante un estricto tratamiento preliminar. Antes del diseño de la planta de tratamiento de agua residual deben implementarse procesos de PML, con el fin de reducir el gasto masivo de agua y buscar una adecuada disposición y buen uso de subproductos.*

---

Recibido para evaluación: Febrero 6 de 2009. Aprobado para publicación: Mayo 5 de 2009

1 Profesor Universidad del Cauca. Grupo de Investigación en Ingeniería Ambiental GIIA.  
2,3 Ingenieras Ambientales Universidad del Cauca. Ejercicio Particular

Correspondencia: Guillermo Chaux : e-mail:gchaux@unicauca.edu.co

## ABSTRACT

*Was evaluated the feasibility of biological treatment for the effluent from the slaughterhouse in the municipality of El Tambo (Cauca) and proposed the implementation of cleaner production processes (CPP) in the use of water and some byproducts generated by the plant for slaughter. Conducted workshops for health inspection, flow capacities, volumetric quantification and analysis of physico-chemical byproducts that include BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, total nitrogen, total phosphorus, fats and oils, temperature and pH. There are high water consumption: 200 liters/pork and 1800 liters/bovine (higher than the averages of the slaughterhouse of Popayán-Cauca: 100 L / pig and 500 L/bovine); values of pollution parameters: 9024 mg/L COD, 1829 mg/L BOD<sub>5</sub>, 1357 mg/L TSS, 889 mg/L N, 26 mg/L P, 79 mg/L oil and grease, pH 7.6. Production of 23 L/bovine ruminal content and 28 L/bovine of blood. The effluent is not readily biodegradable; however, the biological anaerobic treatment is viable means after removal of fat and rumen collected separately by a strict preliminary treatment. Before the design of the wastewater treatment plant CPP must be implemented to reduce the massive consumption of water and seek a proper and good use of available products.*

## INTRODUCCIÓN

Las centrales de sacrificio en Colombia enfrentan una seria problemática ambiental: el 99% de los mataderos 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 (1).

Los mataderos generan cantidades significativas de desechos líquidos, emitiendo olores muy desagradables. Todos los efluentes, contienen sangre, estiércol, pelos, huesos, grasas, proteínas y otros contaminantes solubles (2).

La composición de los efluentes de los mataderos depende del proceso de producción, de la separación en la descarga de materias como sangre, intestinos y desechos del suelo. En la Tabla 1 se presentan concentraciones típicas encontradas en efluentes de faena de vacunos y porcinos.

En promedio, el peso del ganado vacuno faenado

es de 250–400 k, dependiendo de la raza y la edad del animal, y puede llegar a alcanzar 600 k o más. En la faena, aproximadamente el 3% de este peso se obtiene en la forma de sangre (4). 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. 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 (5).

La normatividad colombiana exige un tratamiento de estos desechos antes de ser destinados a cuerpos de agua o a sistemas de alcantarillado. El Decreto

**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: (3)

1594 de 1984, establece en el artículo 84 que “los residuos líquidos provenientes de usuarios tales como hospitales, lavanderías, laboratorios, clínicas, mataderos, deberán ser sometidos a tratamiento especial” (6).

Los métodos de tratamiento del agua residual en mataderos se pueden dividir en dos grupos: anaerobios y aerobios. Los tratamientos anaerobios permiten un alto grado de reducción de la DBO, producen una menor cantidad de lodos y permiten la obtención de biogás que puede ser reutilizado en el propio matadero; los tratamientos aerobios ayudan a la transformación del nitrógeno orgánico y amoniacal en nitrato y no generan fuertes olores como los anaerobios (7); sin embargo, los menores costos generados por los procesos anaerobios, hacen que estos sean una opción más adecuada para áreas de bajos ingresos económicos.

Según el Banco Mundial, una reducción de la contaminación del 20 al 30% puede ser conseguida sin necesidad de inversiones de capital y una reducción adicional del 20% o más puede alcanzarse con inversiones cuya tasa de retorno es de pocos meses, si se implementan mecanismos de PML (8). 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% (9).

El municipio de El Tambo (Colombia) tiene un matadero que actualmente no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, destinando sus efluentes al sistema de alcantarillado que las conduce a la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, 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. En este trabajo, además de realizar la cuantificación de subproductos y caracterización físico química de efluentes, se proponen dos alternativas de tratamiento biológico para los vertimientos y sistemas de PML que permitan mitigar efectos negativos derivados del proceso de sacrificio de vacunos y porcinos en pequeñas localidades.

## METODOLOGÍA

El Tambo, tiene una población aproximada de 6000 habitantes en la cabecera municipal. Se localiza a 1745 m.s.n.m. con temperatura promedio de 18 °C. El matadero dispone de un área construida de 780 m<sup>2</sup> y su operación está a cargo de la oficina de planeación del municipio. 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 2.

Cuenta con servicio de acueducto. Los procesos de sacrificio de reses y cerdos se realizan sobre el piso en áreas separadas destinando la mayor para la matanza de reses, allí se ubica una canaleta que recoge la totalidad de las aguas que se utilizan en el proceso de sacrificio. Las tuberías provenientes de las dos áreas confluyen en una sola que hace parte del alcantarillado municipal. Para caracterizar el efluente generado en las jornadas de sacrificio, proponer procesos de producción más limpia y alternativas de tratamiento para reducir los efectos causados por los vertimientos del matadero, se realizaron las siguientes actividades:

**Visitas.** Inicialmente se realizó una visita de reconocimiento con el fin de observar todas las etapas del

**Tabla 2.** Número promedio de reses y cerdos sacrificados por semana

Día	Reses	Cerdos
Miércoles	7	4
Viernes	4	4
Sábado	35	7
Total	46	15

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

**Aforos de caudal.** El aforo de caudales de aguas residuales se realizó a través del método volumétrico. Este proceso se llevó a cabo durante dos semanas, con una frecuencia de dos días (miércoles y sábado, respectivamente).

**Seguimiento de la calidad fisicoquímica del efluente.** La cuantificación de los parámetros fisicoquímicos se realizó en la Unidad de análisis industriales de la Universidad del Cauca de acuerdo con lo establecido en el Standard Methods 20Th edición (10). 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. Los parámetros medidos para esta caracterización fueron: DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, nitrógeno total, fósforo total, grasas y aceites, pH y temperatura. Para el análisis de los resultados se aplicó estadística descriptiva calculando promedios, desviación estándar, valor máximo y mínimo con intervalos de confianza del 95%.

**Selección de alternativas de tratamiento biológico.** Con los resultados de aforos de caudal y la caracterización fisicoquímica del efluente, se evaluó la viabilidad del tratamiento y se discutieron las posibles alternativas de tratamiento biológico, teniendo en cuenta que la mejor opción para tratar aguas residuales con altas cargas orgánicas en pequeñas localidades es el tratamiento anaeróbico.

**Identificación y evaluación de la cantidad de subproductos.** Para cuantificar la cantidad de subproductos generados por el matadero, se registraron los volúmenes de rumen y sangre que se recogieron en cada jornada. 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.

## RESULTADOS

**Aforos de caudal.** Los caudales horarios encontrados en el matadero municipal se especifican en la tabla 3.

En el proceso de lavado de vísceras y del salón de sacrificio de reses, el consumo promedio de agua por animal faenado es muy alto (Tabla 4), superando am-

**Tabla 3.** Caudales horarios en el matadero municipal por jornada de sacrificio

Hora	Promedio de agua gastado (L)		Caudal horario (L/s)	
	Miércoles	Sábado	Miércoles	Sábado
11 a 12 p.m.		299,64		0.0832
12 a 1 am		429,34		0.119
1 a 2 a.m.		434,54		0.121
2 a 3 am	334,07	763,63	0,09	0.212
3 a 4 a.m.	329,11	12665,07	0,09	3,52
4 a 5 a.m.	3000,14	28115,17	0,83	7,81
5 a 6 a.m.	8371,82	23451,35	2,33	6,51
6 a 7 a.m.	758,45	3905,89	0,21	1,08
Total	12793,59	70064,63		
Promedio		0,71	2,43	

pliamente los promedios de consumo registrados en el matadero de Popayán (Cauca), de 100 L/cerdo y 500 L/res (11), situación que refleja serias deficiencias de operación. La cantidad de rumen y la sangre recolectados superan los 20 L/cabeza (Tabla 5); sin embargo, se pueden aprovechar debido a su valor nutricional, pudiendo implementarse procesos de PML, que pueden traer beneficios en la disminución de los costos de construcción y operación de los posteriores sistemas de tratamiento de aguas residuales.

### ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DEL EFLUENTE DEL MATADERO

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Los valores de DBO<sub>5</sub> (1829±486.3 mg/L, 36 datos) y DQO (9024±945.5 mg/L, 24 datos) mantienen un rango alto, mayores de 1000 mg/L y 2000 mg/L, respectivamente (Figura 1), que son las concentraciones máximas permitidas para vertimientos en sistemas de alcantarillado (12), lo que indica la presencia de gran cantidad de contaminantes orgánicos, característicos del proceso matarife (la sangre por su parte aporta de 4000-5000 mg/l de DBO al agua residual) (13).

**Tabla 4.** Volumen total de agua gastado por animal en el matadero municipal

Día	Promedio de sacrificios		Promedio de agua gastado (m <sup>3</sup> /animal)		Promedio de agua gastado	
	M	S	M	S	(m <sup>3</sup> )	(L)
Res	8	34	1,67	1,93	1,88	1880
Cerdo	4	7	0,18	0,21	0,2	200

**Tabla 5.** Volumen promedio de sangre y rumen recolectados

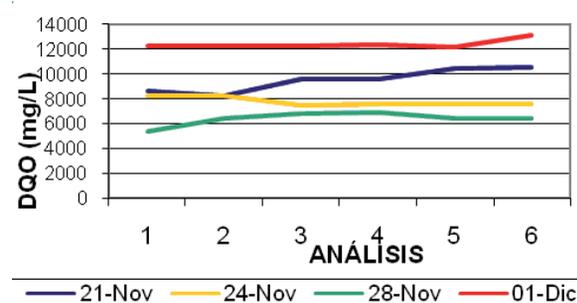
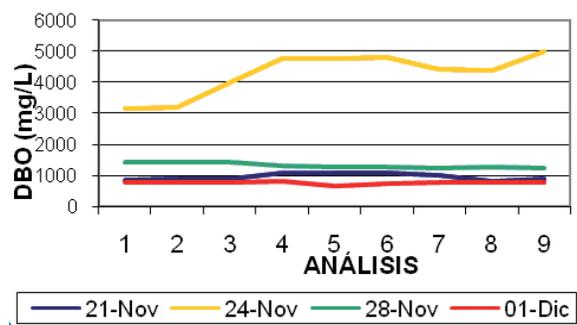
Subproducto	Volumen promedio de recolección por jornada de sacrificio (L/animal)		Volumen promedio de recolección por animal sacrificado (L/animal)
	Miércoles	Sábado	
Rumen	22,75	24,36	23,60
Sangre	25,03	31,23	28,13

La relación DBO/DQO definida como el factor de biodegradabilidad ( $F_b = DBO/0.65DQO$ ) en la mayoría de días de muestreo se encuentra comprendido entre los valores 0.1 y 0.4, 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 y adicionar un inóculo adecuado.

**pH y temperatura.** Los valores de pH encontrados en el efluente del matadero están en el rango de 7,4 a 8 unidades (Figura 2), presentando muy pocas variaciones ( $7.6 \pm 0.09$ , 16 datos). Estos valores no superan el rango establecido por el Decreto 1594 de 1984, para vertimientos en los sistemas de alcantarillado (5 a 9). Los valores de temperatura se encuentran en un rango de 19 a 20 °C.

**Sólidos Suspendidos Totales (SST).** En la figura 3 se puede apreciar que los valores de sólidos en todo el proceso de sacrificio son altos ( $1357 \pm 153$  mg/L, 16 datos), superando 750 mg/L, concentración máxima permitida para el control de carga en sistemas de

**Figura 1.** Variación de DBO<sub>5</sub> y DQO durante el periodo de muestreo



alcantarillado (14). Estos niveles se presentan 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.

**Aceites y grasas.** Los valores de aceites y grasas (Figura 3) en el efluente del matadero municipal son altos, ( $79 \pm 13.4$  mg/L, 16 datos), promedio cercano al máximo permitido (100 mg/L) para vertimientos en sistemas de alcantarillado (12). La presencia de

grasas y aceites aguas residuales de mataderos se debe a sus elevadas concentraciones en la sangre de los animales sacrificados. Estos compuestos deben retirarse debido a que complican el transporte de residuos por las tuberías, generan obstrucción en unidades de tratamiento biológico y olores desagradables en las aguas receptoras.

**Nitrógeno y fósforo.** Los niveles de nitrógeno total (Figura 4) son bastante altos, ( $889 \pm 73.9$ , 24 datos) alcanzando valores hasta de 1000 mg/L N, produciendo en un día de máximo sacrificio (sábado) una contaminación comparable a la que basados en este parámetro producirían las aguas residuales domésticas de una población de 5185 personas (15). Estas concentraciones 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) (16), lo que hace que el agua residual tenga niveles elevados de DQO pero no de DBO, ya que el rumen es de difícil biodegradabilidad. Los niveles de fósforo ( $26 \pm 4.48$ , 24 datos) (Figura 4), comparados

Figura 2. Variación de pH durante el periodo de muestreo

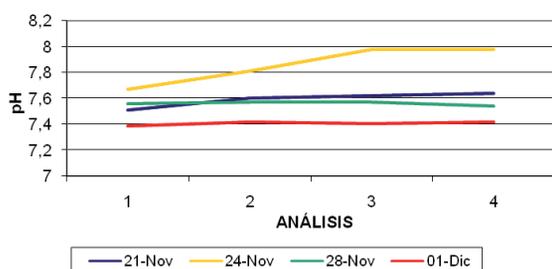


Figura 3. Variación de SST, grasas y aceites durante el periodo de muestreo

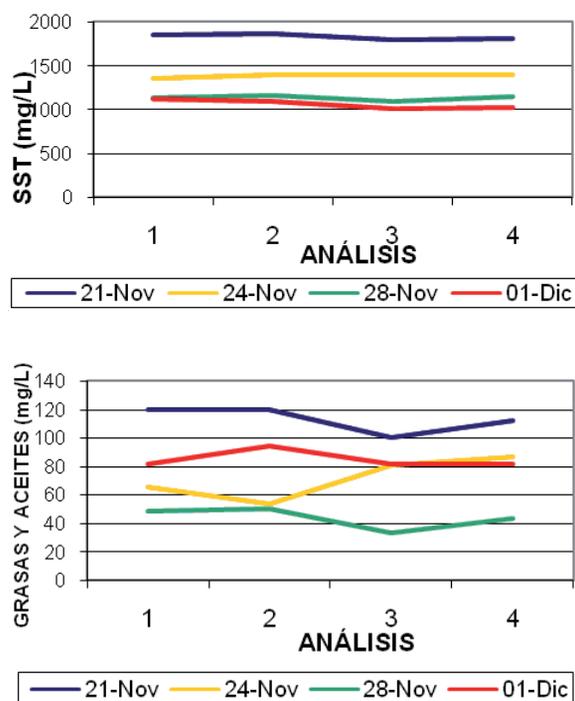
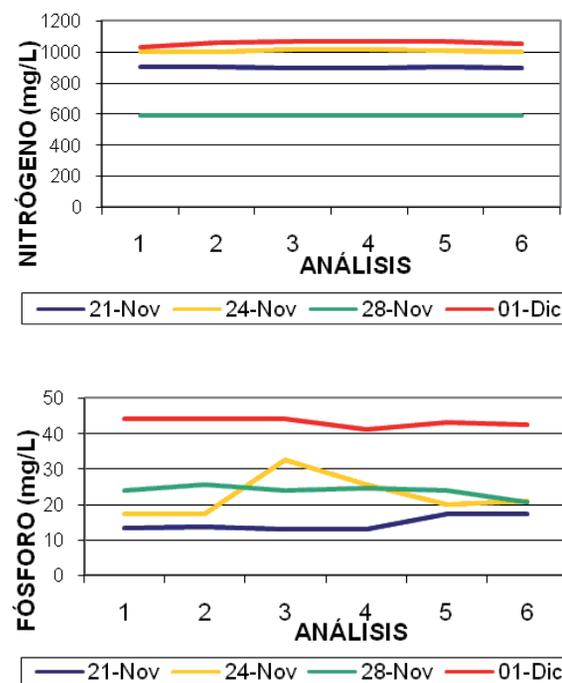


Figura 4. Variación de nitrógeno y fósforo total durante el periodo de muestreo.



con los niveles de nitrógeno son bajos [menores de 50 mg/L, que es la concentración máxima permitida para el control de carga en sistemas de alcantarillado (14)], debido a que el estiércol de bovino tiene valores trazas de fosfatos (17), al igual que el estiércol de porcino que es rico en nitrógeno y pobre en fósforo (18). Estas concentraciones se derivan 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.

## PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

**Aprovechamiento del recurso agua:** al observar los caudales del sistema (Tabla 3) se tiene que el matadero municipal consume un caudal máximo de 7.81 L/s, y un volumen máximo promedio de agua de 70064.6 L, lo que para efectos de diseño y construcción generaría altos costos en el tratamiento, obligando inicialmente a implementar procesos de PML tales como: recolección en seco de desechos sólidos y líquidos, implementación de un sistema de lavado de panzas en dos etapas (9), utilización de mangueras con boquillas aspersoras para el lavado del salón de sacrificio, fomentar la conciencia de los trabajadores y la educación de cómo reducir el consumo innecesario de agua. Con estas medidas se espera reducir el consumo de agua al menos en un 65% (lo que implica disminuir el gasto por res de 1880 a 650 L/cabeza, valor ligeramente mayor al reportado en el matadero de Popayán que registra un consumo aproximado inferior a 500 L/res (11) y obtener los volúmenes y caudales presentados en la Tabla 6, los cuales se utilizarán para cálculos de diseño.

**Aprovechamiento de sangre:** en el matadero actualmente se almacena parte de la sangre en recipientes con muy poca asepsia para la fabricación de alimentos para humanos y animales; sin embargo, sería importante recolectarla en su totalidad debido a que es el residuo más contaminante, para ello se pueden emprender las siguientes acciones: eliminar la descarga de la sangre hacia la tubería de alcantarillado, recolectarla a través de drenaje, reducir la pérdida de sangre en el área de degüelle y extracción, implementación de un tanque de

recolección y almacenamiento de sangre o evaluar la viabilidad de producir harina de la sangre (19).

**Aprovechamiento de rumen:** en el matadero municipal se recoge aproximadamente 70% del rumen con el fin de deshidratarlo y utilizarlo para nutrición animal. Pero el 30% restante se mezcla con el agua de lavado y se desecha, por lo que es importante mejorar el sistema de recolección en seco. Este subproducto puede ser utilizado para la producción de humus o compost acompañado de estiércol y del resto de subproductos para mejorar los niveles de nitrógeno, determinando las condiciones fisicoquímicas adecuadas y la cantidad de nutrientes que cada uno de ellos aporta para llevar a cabo el proceso de compostaje.

**Procesos complementarios de salud ocupacional:** el matadero debe garantizar un entrenamiento a todo el personal con el fin de que hagan buen uso de los sistemas de recolección y tratamiento, por ello se deben ejecutar las siguientes actividades: capacitación en técnicas y principios de un trabajo seguro, exigir cumplimiento en materia de seguridad e higiene ocupacional, adaptación de la jornada laboral (rotación) y mejoramiento de la organización, disposición de pisos ásperos y antideslizantes para facilitar la evacuación correcta del agua, protección de seguridad de máquinas o utensilios corto punzantes, lavar y desinfectar la vestimenta de matanza todos los días, disponer de baños para el aseo diario, señalización adecuada en la planta (9).

**Tabla 6.** 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)	
	Miércoles	Sábado	Miércoles	Sábado
11 a 12 p.m.		104,77		0,029
12 a 1 a.m.		150,12		0,042
1 a 2 a.m.		151,94		0,042
2 a 3 a.m.	116,81	267,00	0,03	0,074
3 a 4 a.m.	115,07	4428,35	0,03	1,23
4 a 5 a.m.	1049,00	9830,48	0,29	2,73
5 a 6 a.m.	2927,21	8199,77	0,81	2,28
6 a 7 a.m.	265,19	1365,70	0,07	0,379
Total	4473,28	24498,12		
Promedio			0,25	0,85

## POSIBLES ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS SELECCIONADOS

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 6). Este caudal correspondiente al día sábado, en el horario de 4 a 5 AM, y que alcanza un valor de 2,73 l/s. El diseño de la planta se realiza a 20 años conforme a los lineamientos del Reglamento Técnico del Sector de Agua potable y Saneamiento básico (RAS 2000), asumiendo una tasa de crecimiento anual del 3%, encontrando los caudales horarios de diseño que se especifican en la Tabla 7.

Tabla 7. Caudales horarios de diseño aplicando procesos de PML

Hora	Volumen de agua gastado (L)		Caudal horario promedio (L/s)	
	Miércoles	Sábado	Miércoles	Sábado
11 a 12 p.m.		189,22		0,05
12 a 1 a.m.		271,13		0,08
1 a 2 a.m.		274,41		0,08
2 a 3 a.m.	210,97	482,24	0,06	0,13
3 a 4 a.m.	207,84	7998,09	0,06	2,22
4 a 5 a.m.	1894,61	17754,94	0,53	<b>4,93</b>
5 a 6 a.m.	5286,87	14809,70	1,47	4,11
6 a 7 a.m.	478,97	2466,60	0,13	0,69
Total	8079,24	44246,33		
Promedio			0,45	1,54

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

### TRATAMIENTO PRELIMINAR

Debido al arrastre de sólidos grandes como pedazos de cuero, restos de vísceras, sangre coagulada, 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 y remover materiales que pueden interferir con los equipos. Esta fase consta de: rejas de desbaste, trampa de grasas, tamiz parabólico y tanque de homogeneización.

**Rejas de desbaste.** Permiten 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: 1 cm, ancho de barras: 1 cm, profundidad de la barra: 2.5 cm, ancho del canal de rejas: 0.3 m, altura del canal: 0.4 m, longitud de la reja: 0.56 m, inclinación de la reja: 45°, número de barras: 16, pendiente máxima del fondo del canal: 2%.

**Trampa de grasas.** Cámara pequeña en la cual la grasa flota en la superficie libre del agua y es retenida, mientras que el agua más clara subyacente es descargada. Se propone una trampa de grasas de limpieza manual. Para el caudal del proyecto de 5 LPS, RAS 2000 recomienda un tiempo de retención hidráulico de 3 minutos y un área de 0.25 m<sup>2</sup> por cada litro por segundo. Para las condiciones sugeridas se tiene: largo: 2.25 m, ancho: 0.60 m, profundidad: 1.20 m (0.90 m de sumergencia del tubo de salida, más 0.15 m con respecto al fondo y 0.15 m de borde libre). Estudios realizados en la trampa de grasas del matadero de Popayán (Cauca) 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 un lecho de secado de lodos (11).

**Tamiz.** Los tamices "Hidranet", de tipo parabólico fijo, están indicados para la separación de sólidos en sus-

pensión de aguas residuales de mataderos. Se trata de un tamiz autolimpiante, con estas dimensiones: ancho: 880 mm – diámetro tubería entrada: 101.6 mm – altura eje tubería entrada: 775 mm – diámetro tubería salida: 152.4 mm – altura eje tubería salida: 200 mm – Caudal: 25 m<sup>3</sup>/h – Luz de malla: 0,50 mm.

**Tanque homogeneizador.** Las variaciones tanto de caudal como de carga que presenta el efluente del matadero de El Tambo son continuas. La homogeneización de caudales es una medida empleada para superar los problemas de tipo operativo que causan estas variaciones y para reducir el tamaño y los costos de las unidades de tratamiento. La configuración del Homogeneizador 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 constante de sustrato a la población biológica presente en los tratamientos posteriores. Se proponen dos tanques de 18 m<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 características: altura útil : 2 m, ancho: 2.2 m, largo: 4,1 m. Bajo condiciones adecuadas de operación y regulando caudales de manera aproximada a través de una 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 de diseño de las unidades posteriores. Para la evacuación de lodos, se dotará cada tanque de tolvas con tuberías efluentes hacia el sistema de desagüe que conduce a lechos de secado de lodos.

## ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO 1

Después de varios fracasos en la década del 80, el reactor UASB (Reactor anaeróbico de manto de lodos de flujo ascendente) se ha posicionado en América Latina como una tecnología adecuada para el tratamiento anaeróbico de aguas residuales de mataderos, registrando remociones de más del 65% de la DQO mediante el reactor

individual y de más del 90% mediante el sistema completo de tratamiento, con resultados similares para aguas residuales domésticas (20). Dado que el reactor requiere tratamiento complementario, se proyecta adicional a éste un filtro percolador seguido de un sedimentador secundario con lámina retenedora de flotantes y grasas residuales del proceso al final del mismo.

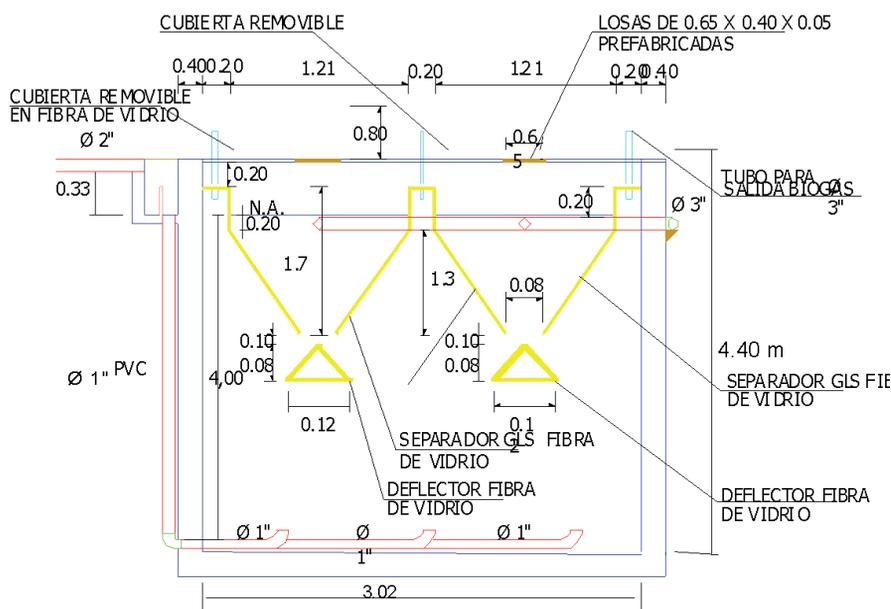
## UASB

El reactor UASB 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 (12). Bajo las condiciones climáticas de “El Tambo”, se espera que en condiciones críticas los tratamientos preliminar y primario remuevan promedios del orden del 25% de materia orgánica, de tal modo que al reactor anaeróbico ingrese una DQO de 6767,7 mg/L y una DBO de 1371,6 mg/L. Con el fin de garantizar condiciones adecuadas de operación y mantenimiento se proponen dos reactores que funcionarán simultáneamente, cada uno con la mitad del caudal, de tal modo que cada reactor tendrá un volumen de 18.28 m<sup>3</sup>, de acuerdo a la norma RAS 2000. Para estas condiciones y en niveles adecuados de operación se espera una remoción satisfactoria de materia orgánica y sólidos suspendidos, con las características, que se detallan en la Figura 5: altura: 4 m, ancho: 1.51 m, largo: 3.02 m.

## FILTRO PERCOLADOR

En este reactor 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. A la entrada del UASB

Figura 5. Reactor UASB



se tiene una DBO de 1371,6 mg/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 480 mg/L. Sin embargo, requiere removerse el 90% de la DBO total, por ello la DBO a la salida del filtro percolador debe ser de 137.2 mg/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 25.38 m<sup>3</sup>; sin embargo, se colocarán dos unidades en paralelo, cada una con un volumen de 12.7 m<sup>3</sup>. Se adopta una altura de 2 m de lecho para cada filtro, cada uno con un diámetro de 2.8 m (Figura 6).

## ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO 2

CEPIS (2004) (21) reporta la utilización de reactores anaeróbicos de flujo ascendente (FAFA) en mataderos de pequeñas poblaciones de Colombia y Centro-América con altas eficiencias en la remoción de sólidos y materia orgánica.

## REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE

El filtro anaerobio (FAFA) está constituido por un tanque 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 con tiempos de retención hidráulica cortos, permitiendo así el tratamiento de aguas residuales a temperatura ambiente. (12).

El FAFA utilizará medio sintético, común para uso en aguas residuales industriales de concentración fuerte. El volumen del reactor incluyendo un porcentaje de vacíos del 90% y el medio sintético será de 44.9 m<sup>3</sup>, sin embargo para facilitar el mantenimiento, se proponen dos unidades en paralelo para funcionamiento simultáneo de tal forma que cada unidad reciba una carga orgánica promedio de 7.24 k DQO/m<sup>3</sup>.día y tenga volumen de 22.44 m<sup>3</sup> (Figura 7) con las siguientes especificaciones: altura del medio: 3 m., ancho del reactor: 1.93 m y largo del reactor: 3.87 m.

Figura 6. Filtro Percolador

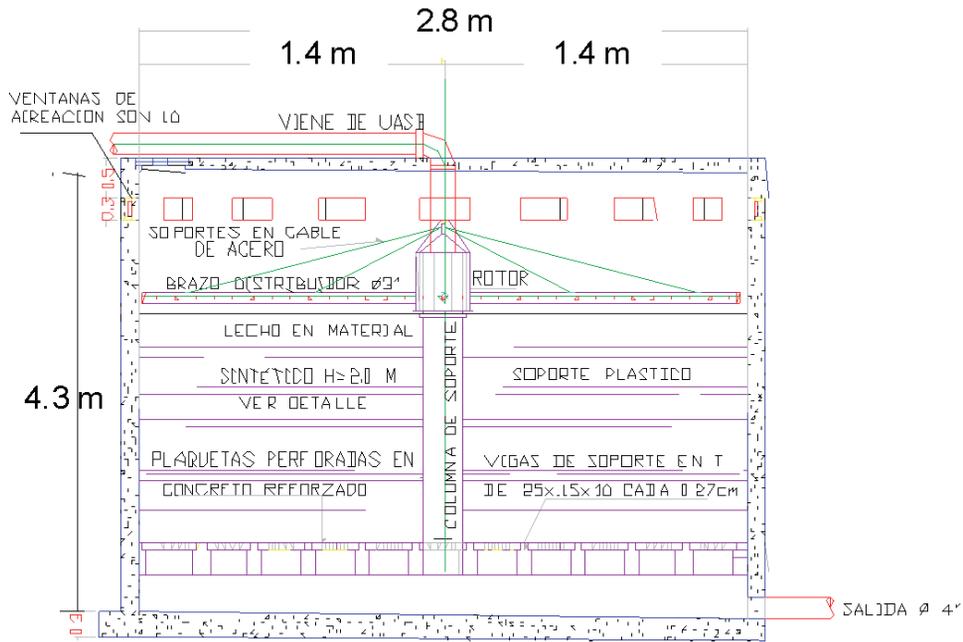
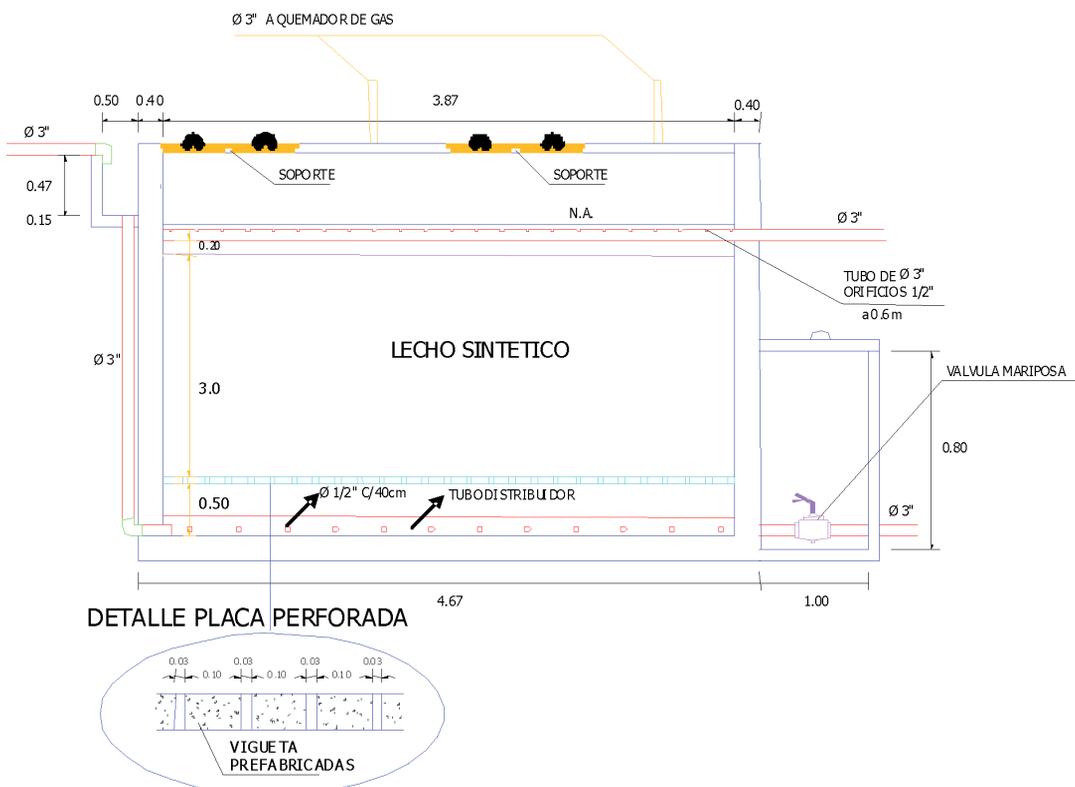


Figura 7. FAFA



## CONCLUSIONES

La evaluación de las características físico químicas del efluente proveniente del proceso de sacrificio de reses y porcinos en el municipio de El Tambo, muestra que se trata de un líquido con altos niveles de contaminación que no es adecuado para ser vertido directamente al alcantarillado o a un cuerpo receptor.

El factor de biodegradabilidad que involucra los valores de DBO y DQO, indica que el efluente del matadero de El Tambo no es fácilmente biodegradable, debido a la presencia de altas concentraciones de grasas y rumen (lignina), compuestos de difícil degradación por parte de microorganismos.

El tratamiento biológico es viable mediante una eliminación previa de grasas y rumen,

colectándolos por separado mediante un estricto tratamiento preliminar. 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. El arranque del tratamiento requiere 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. Los reactores UASB, seguidos de filtros percoladores, o en su defecto filtros anaeróbicos de flujo ascendente constituyen alternativas viables que han demostrado ser eficientes en otras poblaciones del país y en Centro- América.

Antes del diseño de la planta de tratamiento de agua residual deben implementarse procesos de PML, con el fin de reducir el gasto masivo de agua. Su aplicación puede generar ahorros en los costos de construcción y operación de los sistemas de tratamiento de aguas.

## AGRADECIMIENTOS

A los funcionarios del matadero municipal de El Tambo y al grupo de investigación en Ingeniería Ambiental de la

Universidad del Cauca, por su colaboración y positiva crítica en el desarrollo de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] GUERRERO, Jhoniers y RAMÍREZ, Ignacio. Manejo ambiental de residuos en mataderos de pequeños municipios. Scientia et Technica. Volumen No 26. Universidad Tecnológica de Pereira. Diciembre de 2004. pp. 199 - 204.
- [2] INTEC CHILE. Fondo de Desarrollo e Innovación. Documento de difusión: Opciones de gestión ambiental sector mataderos, Santiago, 1998. pp. 9-13.
- [3] AQUALIMPIA. Descontaminación de aguas residuales de mataderos. 2007. [Texto de Internet]. Disponible en: <http://www.aqualimpia.com/Mataderos.htm>. Revisado el 9 de Marzo de 2009.
- [4] COWI, UNEP y EPA. Datos técnicos del rubro matadero/frigorífico. Dinamarca, 2000. [Sitio en Internet]. Disponible en: <http://www.ministeriopublico.gov.py/menu/varios/delitosecologicos/archivos/delitosecologicos/anexos/anexo8.pdf>. Visitado el 26 de Enero de 2009. pp. 91-92.
- [5] FAO. Estructura y funcionamiento de mataderos medianos en países en desarrollo. Documento No 14: tratamiento de los desechos y eliminación de las aguas residuales, 2005. [Texto de Internet] Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/004>
- [6] COLOMBIA. Ministerio de Agricultura. Decreto 1594 de 1984, Junio 26, por el cual se reglamenta la Ley 9 de 1979 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Bogotá: El ministerio; 1984.
- [7] MOLINET, Víctor y PIGEM, Rodrigo. Tratamiento de aguas residuales en mataderos. En: Ambient, curso 2003-2004. Sección de Ingeniería sanitaria y ambiental. ETS de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Cataluña, 2004. pp. 21-25.
- [8] MONROY, Néstor et al. Introducción a la producción más limpia. Volumen 1. Universidad de los Andes: Santa Fe de Bogotá, 2003. p 389.
- [9] SILVA, Harold y SAMPERI, José. Guía básica de

- manejo ambiental de rastros municipales enfoque Centro América. Centro de Producción más Limpia. Nicaragua, 2004. pp.1-4
- [10] APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, Washington DC., 1998.
- [11] CHAUX, Guillermo; CALDERÓN, Jhon y ZAMBRANO, Napoleón. Estudio del funcionamiento hidráulico de las unidades y equipos de bombeo del matadero de Popayán. Convenio 053 Universidad del Cauca- Acueducto de Popayán S.A., 2005. Pp. 17-24
- [12] ROMERO, Jairo. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Santa fe de Bogota: Editorial Escuela colombiana de ingeniería, Bogotá. 2000. p 1248.
- [13] SHIMAMOTO, Arturo. Industria matarife/frigorífica. Eco signos virtual. Año 3, Número 3, 1998. [Texto de Internet]. Disponible en: <http://www.salvador.edu.ar/vrid/publicaciones/ecsv3-3c.htm>. Revisado el 10 de Marzo de 2009.
- [14] ACUACAR. Reglamento de vertidos: Anexo técnico del control de vertimientos a la red de alcantarillado. Cartagena de Indias, 2004. pp. 1-13
- [15] COLOMBIA: MAVDT. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico: RAS. Título E: Tratamiento de aguas residuales. Bogotá, 2000. pp. E-26
- [16] SAWYER, Clair. Química para ingeniería ambiental. Mc Graw Hill, Bogota: 2001. pp. 715
- [17] RODRÍGUEZ, Isaac. Producción de compost con estiércol bovino o bosta de vaca con arroz (*oryza sativa*) cocido como medio de cultivo. Mundo Pecuario, Vol. III, No 1, 2007. Pp.11-13
- [18] SEGRELLES, José. La producción ganadera intensiva y el deterioro ambiental. En: XII Congreso Nacional de Geografía, Valencia, 1991. pp. 1-8
- [19] GUERRERO, Jhoniers y MONSALVE, Jaime. El compostaje como una estrategia de producción más limpia en los centros de beneficio animal del departamento de Risaralda. Scientia et Technica. Año XII, No 32, Diciembre de 2006. UTP. pp. 469-474.
- [20] CONIL, Philip. "La tecnología anaerobia UASB en el tratamiento de la aguas residuales domésticas: 10 años de desarrollo y maduración en América Latina, Cali, 2001. 26 p.
- [21] CEPIS. Rellenos sanitarios y tratamiento de residuos líquidos de mataderos municipales. 2004. [Texto de Internet]. URL: <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/resisoli/rellenos/capit6.html>. Visitado 4 de Marzo de 2009.