

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



VII CICLO DE COMPLEMENTACIÓN ACADÉMICA FIAI 2008

INFORME DE INGENIERÍA

**Tratamiento de Aguas Residuales en el Camal de
Ahuashiyacu**

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Presentado por el Bachiller:

MERLING GRONERTH SAAVEDRA

Tarapoto – Perú

2017

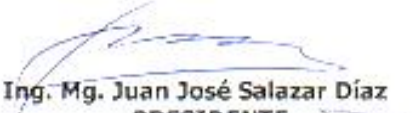


ACTA DE SUSTENTACIÓN DEL INFORME DE INGENIERÍA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL


En la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, en los ambientes de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial – Ciudad Universitaria, a las 16:50 horas del día **catorce de diciembre del año dos mil diecisiete**, se reunieron los miembros del jurado calificador integrado por:

Presidente : Ing. Mg. Juan José Salazar Díaz
Secretaria : Ing. Nelson García Garay
Miembro : Ing. M. Sc. Jaime Guillermo Guerrero Marina
Asesor : Ing. M. Sc. Enrique Terleira García

Para evaluar el informe de ingeniería titulado: "**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CAMAL DE AHUASHIYACU**", presentado por el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **MERLING GRONERTH SAAVEDRA**, desarrollado en el **VII Ciclo de Complementación Académica FIAI-2008**, para Titulación de Ingeniero Agroindustrial, los señores miembros del jurado, después de haber atendido la sustentación y evaluada las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica; luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo de BUENO, en fe de lo cual se firmó la presente acta, siendo las 17:20 horas del mismo día, con lo que se dio por concluido el acto de sustentación.


Ing. Mg. Juan José Salazar Díaz
PRESIDENTE


Ing. Nelson García Garay
SECRETARIO


Ing. M. Sc. Jaime Guillermo Guerrero Marina
MIEMBRO


Ing. M. Sc. Enrique Terleira García
ASESOR

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

| | | |
|----------------------|--------------------------|----------------------|
| Apellidos y nombres: | GRONETH SAAVEDRA MERLING | |
| Código de alumno : | 962397 | Teléfono: 945-212614 |
| Correo electrónico : | merling23@hotmail.com | DNI: 01162194 |

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

| | |
|-------------------------|---------------------------|
| Facultad de: | INGENIERIA AGROINDUSTRIAL |
| Escuela Profesional de: | INGENIERIA AGROINDUSTRIAL |

3. Tipo de trabajo de investigación

| | | | |
|------------------------------------|-----|--------------------------|-----|
| Tesis | () | Trabajo de investigación | (x) |
| Trabajo de suficiencia profesional | () | | |

4. Datos del Trabajo de investigación

| | |
|---------------------|---|
| Título : | TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CANTON DE ATUASHAYACU |
| Año de publicación: | 2017 |

5. Tipo de Acceso al documento

| | | | |
|-----------------------|-----|---------|-----|
| Acceso público * | (x) | Embargo | () |
| Acceso restringido ** | () | | |

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

| |
|--|
| |
| |

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma del Autor

8. Para ser llenado por la Biblioteca Central

Fecha de recepción del documento por el Sistema de Bibliotecas:

29 / 12 / 2017



Firma de Unidad de Biblioteca

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mi esposa **LORENA FASANANDO MORI** y a mis hijos **FABIO NICOLAY** y **JAMIL KALEB** quienes me dieron la fuerza y el motivo de seguir adelante y han estado conmigo en todo momento, brindándome su amor y cariño siempre.

A mis padres **CARLOS GRONERTH A.** y **ZADITH A. SAAVEDRA** por estar conmigo y apoyarme siempre en las decisiones que tomé en cada etapa de la vida que estuve a su lado. Formando en mí, valores y principios muy bien inculcados, los cuales que de una u otra manera contribuyeron para el logro de mis metas.

AGRADECIMIENTO

- Al Ing. Enrique Terleira García, docente de la Universidad Nacional de San Martín, por la asesoría brindada durante la ejecución del presente trabajo.
- A los docentes de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín; por las enseñanzas y orientaciones impartidas durante mi formación profesional.
- Finalmente, un agradecimiento a todas aquellas personas que colaboraron en forma directa e indirecta para la realización del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|---|-------------|
| INDICE GENERAL..... | v |
| INDICE DE CUADROS | vii |
| INDICE DE FIGURAS | viii |
| GLOSARIO DE TERMINOS..... | ix |
| RESUMEN | xii |
| SUMMARY | xiv |
| | |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA..... | 3 |
| 2.1. Gestión ambiental..... | 3 |
| 2.2. Gestión ambiental de residuos..... | 4 |
| 2.2.1. Gestión ambiental de residuos sólidos..... | 5 |
| 2.2.2. Gestión ambiental de residuos líquidos..... | 6 |
| 2.2.3. Gestión ambiental de residuos gaseosos..... | 6 |
| 2.3. Antecedentes de producción..... | 7 |
| 2.3.1. Materias primas..... | 7 |
| 2.3.2. Procesos de producción..... | 7 |
| 2.4. Características de los residuos y su impacto..... | 16 |
| 2.4.1. Fuentes y caracterización de los residuos líquidos..... | 16 |
| 2.4.2. Fuentes y caracterización de las emisiones atmosféricas..... | 19 |
| 2.4.3. Fuentes y caracterización de los residuos sólidos..... | 20 |
| 2.5. Prevención de la contaminación..... | 21 |
| 2.5.1. Mataderos y procesamiento de carnes..... | 21 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.6. | Métodos para el control de la contaminación. | 22 |
| 2.6.1. | Tecnologías de tratamiento de efluentes líquidos. | 22 |
| 2.6.2. | Tecnologías de tratamiento de emisiones atmosféricas..... | 44 |
| 2.6.3. | Tecnologías de tratamiento para residuos sólidos. | 45 |
| 2.7. | Seguridad y salud ocupacional. | 51 |
| 2.8. | Diagnóstico de la situación actual del camal de ahuashiyacu..... | 52 |
| III. | METODOLOGIA Y PROCEDIMIENTO..... | 55 |
| IV. | ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LA INFORMACIÓN..... | 56 |
| V. | PROPUESTA DE APLICACIÓN Y/O MEJORA..... | 60 |
| VI. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 65 |
| 6.1. | Conclusiones. | 65 |
| 6.2. | Recomendaciones. | 66 |
| VII. | BIBLIOGRAFIA. | 67 |
| VIII. | ANEXOS. | 71 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Cuadro 01. Opciones de manejo de residuos..... | 5 |
| Cuadro 02. Coordenadas de ubicación del camal de Ahuashiyacu. | 7 |
| Cuadro 03. Necesidades de agua por animal sacrificado y faenado. | 12 |
| Cuadro 04. Caracterización de residuos sólidos procedentes del proceso..... | 14 |
| Cuadro 05. Resultados de los efluentes del camal de Antonio Ante..... | 18 |
| Cuadro 06. Composición de las fracciones soluble e insoluble del agua residual de matadero..... | 19 |
| Cuadro 07: Eficiencia de remoción de los sistemas de tratamiento de efluentes provenientes de la industria procesadora de carne..... | 29 |
| Cuadro 08. Dimensiones de algunas lagunas de estabilización. | 30 |
| Cuadro 09. Funciones de las plantas en sistemas de tratamiento acuático..... | 40 |
| Cuadro 10. Contenido de nutrientes en agua del efluente y porcentaje de remoción. | 62 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 01. Diagrama de flujo de beneficio de ganado vacuno. | 10 |
| Figura 02. Diagrama de flujo del beneficio de cerdos. | 11 |
| Figura 03. Esquema del sistema de pre-tratamiento | 24 |
| Figura 04. Esquema del tratamiento primario | 25 |
| Figura 05. Sistema de agua superficial libre (SASL). | 38 |
| Figura 06. Sistemas de flujo bajo la superficie (SFBS). | 39 |
| Figura 07. Esquema del proceso de compostaje. | 47 |
| Figura 08. Pilas de residuos. | 48 |
| Figura 09. Compostaje en pilas. | 49 |
| Figura 10. Perfil de temperatura en una pila de compost. | 50 |
| Figura 11. Diagrama de flujo de tratamiento de efluente del camal de ahuashiyacu. | 54 |

GLOSARIO DE TERMINOS

AGUAS RESIDUALES: Líquidos cuya calidad original, se ha alterado a consecuencia de su uso.

BIODEGRADABLES: Dícese del producto industrial que una vez desechado es destruido por las bacterias u otros agentes biológicos.

CANAL: Es el cuerpo del animal faenado, intacto o dividido, abierto por la línea media de la columna vertebral; desangrado, desollado y eviscerado, sin partes, cabeza, médula espinal, genitales y en las hembras sin ubres.

COMPOST: Producto orgánico obtenido mediante el proceso de compostaje.

COMPOSTAJE: Tratamiento de residuos sólidos orgánicos por procesos de fermentación controlada, aeróbica, con el fin de obtener un producto estable, de características definidas y útil para la agricultura.

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno, es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la carga orgánica del agua, por acción biológica aeróbica (generalmente se refiere al oxígeno consumido en 5 días, DBO₅, y a una temperatura de 20 °C); se expresa en mg O₂/L.

Se refiere a la cantidad de oxígeno requerido por un grupo de bacterias para la descomposición de la materia orgánica contenida en aguas residuales o aguas contaminadas.

DESECHOS: Son subproductos residuales que sobran, provenientes de procesos naturales o actividades sociales, que para su propietario no tienen valor alguno.

DESOLLAR: Quitar la piel a un animal.

DISPOSICIÓN FINAL: Acción de depositar permanentemente los residuos sólidos en un lugar.

DQO: Demanda Química de Oxígeno, es la cantidad de dicromato potásico en medio ácido y en ebullición consumida por un agua. Indica la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación de los compuestos químicos presentes en el agua. El consumo de estos productos está relacionado con el contenido de materia orgánica e inorgánica de las aguas; se expresa en mg O₂/L.

Se refiere a la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición completa de la materia orgánica utilizando agentes químicos.

EFLUENTE: Flujo residual que puede contener sustancias peligrosas.

EFLUENTE CONTAMINADO: Toda descarga líquida que contenga cualquier forma de materia inorgánica y/u orgánica o energía, que no cumplan los límites establecidos en el reglamento.

EMISIÓN: Descarga directa o indirecta a la atmósfera de cualquier sustancia en cualquiera de sus estados físicos, o descarga de energía en cualquiera de sus formas.

EUTRIFICACIÓN: Es un proceso natural de envejecimiento de agua estancada o de corriente lenta con exceso de nutrientes y que acumula en el fondo materia vegetal en descomposición. Las plantas ocupan el lago hasta convertirlo en pantano y luego se seca.

EVISCERACIÓN: Es la remoción de los órganos respiratorios, pulmonar y digestivo de los animales.

FAENAMIENTO: Es todo proceso ejecutado desde la matanza de los animales hasta su ingreso a las cámaras frigoríficas o su expendio con destino al consumo o industrialización.

HOMOGENIZADOR: Hacer homogéneo, por medios físicos o químicos, un compuesto o mezcla de elementos diversos.

IMPACTO AMBIENTAL: Todo efecto que se manifieste en el conjunto de “valores” naturales, sociales y culturales existentes en un espacio y tiempo determinados y que pueden ser de carácter positivo o negativo.

MATADERO: Planta de faenamiento, todo local registrado y aprobado por la autoridad competente, utilizado para el sacrificio de animales destinados al consumo humano.

ORGÁNICOS: Dicho de una sustancia: Que tiene como componente constante el carbono, en combinación con otros elementos, principalmente hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.

RASTRO: Planta de sacrificio con capacidad de 28 cabezas de ganado mayor, o 56 de ganado menor o una combinación con relación 2 de ganado menor: 1 ganado

mayor, o bien 1000 aves domésticas o combinación en relación 35 aves. 1 ganado mayor.

RESIDUOS SÓLIDOS: Materiales generados en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuya calidad no permite usarlos nuevamente en el proceso que los generó, que pueden ser objeto de tratamiento y/o reciclaje.

RS: Residuos Sólidos.

SS: Sólidos en suspensión.

SST: Sólidos Suspendidos Totales. Es la suma de los sólidos no disueltos y los que pueden ser disueltos por sedimentación.

ST: Sólidos Totales.

SEDIMENTACIÓN: Dicho de un líquido: Depositar sedimento (Materia que, habiendo estado suspensa en un líquido, se posa en el fondo por su mayor gravedad). Dicho de las materias suspendidas en un líquido: Formar sedimento.

TOC: Carbono Orgánico Total, da una idea de la carga orgánica de las aguas residuales debido a los compuestos en base al carbono.

VECTOR: Cualquier material u organismo que pueda servir como vehículo transmisor de enfermedades a humanos o animales.

RESUMEN

Un programa de Gestión Ambiental pretende encontrar respuestas adecuadas a los problemas suscitados en la relación de la sociedad y la naturaleza. Para ello, emprende acciones tendientes a generar y rescatar conocimientos; monitorea las incidencias que genera sobre la población y los recursos del territorio; y sistematiza las experiencias para la construcción del modelo de desarrollo alternativo a que aspira la sociedad.

Un aspecto relevante en la gestión de los residuos consiste en conocer los impactos ambientales de las diferentes prácticas de gestión existentes. El aumento en la generación de residuos producida durante los últimos años, se supone que las actividades de producción y consumo están incrementando las cantidades de materiales que cada año se devuelven al medio ambiente, amenazando potencialmente la integridad de los recursos naturales. La naturaleza y dimensión de estos impactos depende de la cantidad y composición de los residuos, así como de los métodos adoptados para su manejo.

Los principales riesgos asociados a la actividad de los mataderos, como el camal de ahuashiyacu, derivan de un inadecuado manejo de sus efluentes líquidos y de sus residuos sólidos, los mismos que, por su procedencia, se caracterizan por tener una alta concentración de materia orgánica, la cual al ser descargada en un cuerpo hídrico provoca serios problemas, que se manifiestan en ausencia de oxígeno disuelto en las aguas, lo cual además de matar a animales que requieren de oxígeno para vivir, causan malos olores, derivando en la presencia de vectores y por ende atentando contra la salud de las personas que viven cerca de dicho cuerpo receptor.

Las principales fuentes generadoras de residuos líquidos en los mataderos son las aguas de lavado y las corrientes provenientes de los procesos de desangrado y evisceración. Estas aportan gran cantidad de la carga orgánica, teniendo los siguientes índices DBO_5 : 565.5 mg O_2/L ; DQO : 1660 mg O_2/L ; sólidos totales: 2281 mg/L y 6 de pH.

Para tratar los efluentes líquidos existen múltiples tratamientos, pudiéndose exponer un sistema de tratamiento que considere un pre-tratamiento, un tratamiento primario, en donde se puede utilizar un tanque homogeneizador, un sistema de flotación, un

tanque sedimentador y tecnologías de membranas, para remover sólidos suspendidos y grasas remanentes; sin embargo, un enfoque más sencillo es utilizar una laguna de estabilización abierta, cuyo funcionamiento es igual al del tanque séptico, pero obviamente es descubierto en la parte superior y un tratamiento secundario, cuyo objetivo es eliminar la materia orgánica biodegradable presente en los residuos líquidos, pudiendo ser un tratamiento anaeróbico, aeróbico o una combinación de ambas. También se puede tratar los residuos líquidos a través de humedales, exponiéndose el sistema de flujo superficial libre y de flujo bajo la superficie.

SUMMARY

Management environmental's program means to find out suitable answers to the existent problems in relationship of the society and the ambient. Therefore, it initiates inclined actions to generate and to retrieve knowledge; monitoring the incidences that are generated on population and territory's resources; and systematizing experiences in order to the construction of the alternative development model to that aspirate the society.

A relevant aspect in the wastes's management consists in knowing the environmental impacts of the different existent management practices. The increase in the wastes generation produced over the past years supposes that the production and consumption activities are incrementing the materials quantities than each year are drained the environment, threatening potentially the natural resources's integrity. Nature and dimension of these impacts depends on the quantity and composition of the wastes the same, as of the adopted methods for his operation.

The associated risks to the slaughterhouses activity, like the camal of ahuashiyacu, derive of an inadequate handling of his effluent liquids and solid wastes, the same than, for his precedence, it are characterized to have a high organic matter concentration, the same than when are discharged in a hydric body, provokes serious problems, like lack of oxygen once was dissolved in a hydric body, killing animals that require oxygen to live, cause bad smells, deriving in the presence vectors, in consequence, attempting against the health of the people that live close to receiving body.

The principal sources than generating liquid residues in the slaughterhouses are water of washing and flows than originating in processes of bled and evisceration. These contribute with great quantity of organic matter, and showing the following parameters DBO₅: 565.5 mg O₂/L; DQO: 1660 mg O₂/L; total solids: 2281 mg/L y 6 of pH.

To treat effluent liquids exist multiple treatments, displaying a treatment system that consider, a pre-treatment, a primary treatment, in where can be utilize a tank homogenizer, a system of floating, a tank decanter and membranes technologies, to remove solid suspended and residual fats. However, a more simple point of view is

utilize a uncovered stabilization lake, whose functioning is equal than of septic tank, but obviously, it is uncovered at the top; and a secondary treatment, whose objective is eliminate the biodegradable organic matter present in the liquid residues, may be an treatment anaerobic, treatment aerobic or a combination. Also, it can be treat liquid residues through humedals, showing the free superficial flow system and the under surface flow system.

I. INTRODUCCIÓN

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

La sociedad ha adquirido en las últimas décadas una mayor conciencia sobre el deterioro que algunas prácticas y tecnologías tradicionales han ocasionado al medio ambiente y a la calidad de vida. Como consecuencia de ello, la comunidad y los mercados exigen prácticas y procesos que protejan los recursos naturales y el medio ambiente y aseguren una oferta de bienes de consumo limpios para las presentes y futuras generaciones.

Las aguas residuales del camal poseen una alta concentración de materia orgánica, que, al ser descargada en un cuerpo hídrico, provoca serios problemas que se manifiestan en ausencia de oxígeno disuelto en las aguas, siendo causante de la desaparición de especies que requieren oxígeno en su hábitat. Esta situación puede llegar a convertir un cuerpo de agua, en una cloaca maloliente y en fuente de enfermedades.

En cuanto a residuos sólidos (especialmente orgánicos), al descomponerse al aire libre sin tratamiento y disposición final, emanan malos olores, provocando la presencia de vectores, de enfermedades, poniendo en riesgo la salud de la población. Sin embargo, la realidad socio-económica y de presupuesto de los camales, la mayoría de propiedad y administración municipal, no permiten acceder con facilidad a sistemas de manejo más adecuados, para tratar el tipo de residuos generados. Es importante entonces, generar alternativas, que además de ser eficaces en la reducción de impactos ambientales, sean económicas y sencillas de implementar y manejar, repercutiendo positivamente en los consumidores del producto y en las descargas tratadas al ambiente.

OBJETIVO GENERAL

- ❖ El presente trabajo tiene como objetivo plantear la gestión de residuos líquidos generados en el camal de Ahuashiyacu.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Determinar la gestión adecuada de las aguas residuales o efluentes de dicho camal.
- ❖ Plantear la manera de disminuir los efectos nocivos de las aguas residuales de dicho camal y de esta forma poder maximizar los efectos positivos a medida que se avance en el proceso de gestión de residuos.
- ❖ Proponer soluciones a la problemática de la disposición y uso inadecuado de los residuos líquidos generados en dicho camal.
- ❖ Establecer procedimientos para evitar la contaminación de las aguas del río Ahuashiyacu.
- ❖ Proponer métodos para disminuir los riesgos de salud de la población involucrada (agricultores y población de consumo) por el contacto con aguas contaminadas.
- ❖ Integración en el medio ambiente y minimización de los impactos ambientales que pueda producir.

II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1. Gestión ambiental

La gestión ambiental es un proceso que está orientado a resolver, mitigar y/o prevenir los problemas de carácter ambiental, con el propósito de lograr un desarrollo sostenible, entendido éste como “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades” **(Negrão, 2002)**.

Un programa de Gestión Ambiental pretende encontrar respuestas adecuadas a los problemas suscitados en la relación de la sociedad y la naturaleza. Para ello, emprende acciones tendientes a generar y rescatar conocimientos; monitorear las incidencias que genera sobre la población y los recursos del territorio; y sistematizar las experiencias para la construcción del modelo de desarrollo alternativo a que aspira la sociedad **(Negrão, 2002)**.

Los esfuerzos por percibir y entender los problemas ambientales han hecho que el hombre también concientice cuál es el tipo de relación entre él y la naturaleza que determinará los problemas ambientales, su intensidad y calidad. Al admitirse que toda actividad humana, económica y sociocultural tiene lugar en un contexto biofísico y que interfiere en él, hace necesario transformar la calidad e intensidad de esas relaciones **(Negrão, 2002)**.

En este contexto, la gestión ambiental, entendida, de manera amplia como el “campo que busca equilibrar la demanda de recursos naturales de la tierra con la capacidad del ambiente, debe responder a esas demandas sobre una base sustentable”, surge como el elemento fundamental en la búsqueda de la sustentabilidad ambiental. Su principal objetivo es conciliar las actividades humanas y el medio ambiente, a través de instrumentos que estimulen y viabilicen esa tarea, presuponiendo la modificación del comportamiento del hombre en relación con la naturaleza, debido a la actual situación de degradación de la naturaleza **(Negrão, 2002)**.

Para que las empresas sean realmente eficaces en su comportamiento ambiental, las acciones deben ser conducidas dentro de un sistema de gestión estructurado e integrado a la actividad general de la industria. Ello con el objeto de ayudar al cumplimiento de sus metas ambientales y económicas basados en el mejoramiento continuo **(CNMA, 1998)**.

A nivel internacional, los estándares *ISO 14000* regulan la gestión ambiental dentro de la empresa, en lo que respecta a la implementación de un sistema de gestión ambiental y auditorías ambientales a la empresa, entre otros. En particular, la Norma *ISO 14001* "Sistemas de Gestión Ambiental", especifica los requisitos para un sistema de gestión ambiental. Esta norma se aplica a toda organización o empresa que desee:

- Mejorar la calidad de procesos y productos aumentando la eficiencia.
- Disminuir los costos, producto de un uso más eficiente de la energía y los recursos.
- Aumento de la competitividad.
- Acceso a nuevos mercados.
- Reducción de riesgos.
- Mejoramiento de las condiciones laborales y de salud ocupacional.
- Mejora de las relaciones con la comunidad, autoridades y otras empresas.

La implementación de sistemas de gestión ambiental, permitirá a la empresa anticiparse a las regulaciones ambientales más estrictas, permitiendo que el ajuste a la nueva realidad legislativa, se realice de manera gradual y mediante cambios en los procesos de producción, en vez de recurrir a grandes inversiones en plantas de tratamiento de residuos **(CNMA, 1998)**.

2.2. Gestión ambiental de residuos

La gestión ambiental de residuos, es la aplicación de las medidas más adecuadas, desde el punto de vista de salud, técnica, económica y ambiental, para minimizar, segregar, almacenar, transportar, tratar o disponer, todos los residuos que se generan en una actividad **(Haya, 2005)**.

Un aspecto relevante en la gestión de los residuos consiste en conocer los impactos ambientales de las diferentes prácticas de gestión existentes. El aumento en la generación de residuos producida durante los últimos años supone que las actividades de producción y consumo están incrementando las cantidades de materiales que cada año se devuelven al medio ambiente, amenazando potencialmente la integridad de los recursos naturales. La naturaleza y dimensión de estos impactos depende de la cantidad y composición de los residuos, así como de los métodos adoptados para su manejo (Haya, 2005).

2.2.1. Gestión ambiental de residuos sólidos

Es preciso mencionar, que la minimización del riesgo ambiental asociada a los residuos se fundamenta en la reducción de los mismos. Algunas de las opciones de manejo más recomendables en los camales para cada tipo de residuo se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 01. Opciones de manejo de residuos.

| | Compostaje | Biodigestión | Planta de rendimiento | Relleno sanitario | Incineración | Encalar y enterrar |
|---|------------|--------------|--------------------------|----------------------|--------------|-----------------------|
| Sangre | | X | X | | | |
| Heces | x | X | | | | |
| Residuos de alimentos | x | X | | | | |
| Contenido gástrico/ruminal | x | X | | | | |
| Grasa | x | X | x | | | |
| Cuernos, pezuñas y otros no comestibles | | | x | x | | |
| Órganos decomisados | | | | | x | x |
| Animales muertos | | | | | x | x |

Fuente: Bonilla, 2007.

En el caso de los camales de mayor tamaño, se adoptan opciones de manejo de biodigestión/producción de biogás. Para camales pequeños, las tecnologías más sofisticadas pueden ser inviables económicamente debido al bajo volumen de residuos generados. Para éstos se sugiere el compostaje (**Bonilla, 2007**).

2.2.2. Gestión ambiental de residuos líquidos

Los principales riesgos asociados a la actividad de mataderos, derivan de un inadecuado manejo de sus efluentes líquidos, los mismos que, por su procedencia, se caracterizan por tener una alta concentración de materia orgánica, la cual al ser descargada en un cuerpo hídrico provoca serios problemas que se manifiestan en ausencia de oxígeno disuelto en las aguas, lo cual además de matar a animales que requieren de oxígeno para vivir, causan malos olores, derivando en la presencia de vectores y por ende atentando contra la salud de las personas que viven cerca de dicho cuerpo receptor (**Balladares, 2003**).

La gestión de las aguas residuales debería ser considerada como una operación integrada dentro del proceso productivo, lo que implica analizar y plantear medidas preventivas antes que correctivas. Es decir, se deberá revisar el uso eficiente del agua, con el fin de minimizar los vertidos en cada operación para lo cual es necesario conocer bien la tecnología del proceso utilizado (**López y Casp, 2004**).

2.2.3. Gestión ambiental de residuos gaseosos

Con respecto a las emisiones gaseosas, por lo general los camales no presentan efectos ambientales significativos, a excepción de los problemas generados por olores; así tenemos la generación de vapores en el proceso de chamuscado (sacrificio porcino), que no son representativos, y casi siempre están por debajo de la norma.

Los olores, se generan en las operaciones de estabulación, almacenamiento de residuos o tratamiento de aguas residuales y pueden tener efectos medioambientales de importancia, sobre todo cuando los establecimientos industriales estén situados cerca de núcleos habitados. El principal problema consiste en su localización dispersa, pues existen varios focos productores dentro del proceso.

Las otras emisiones, que se pueden producir en esta industria se asocian a las calderas utilizadas para la obtención de vapor, aunque su importancia es menor (Mapfre Empresas, 2005).

2.3. Antecedentes de producción

2.3.1. Materias primas

Las principales materias primas utilizadas en los mataderos son los animales que serán faenados, siendo los más comunes los vacunos, cerdos, ovinos y aves.

Finalmente, en la recuperación de subproductos (manteca, sebo, aceites y productos proteicos), las materias primas provienen de los mataderos, siendo principalmente: grasa, huesos, cabezas, sangre y vísceras (CNMA, 1998).

2.3.2. Procesos de producción

La industria procesadora de carne incluye los mataderos, la manufactura de una gran variedad de productos de carne, como cecinas y productos cárneos envasados y el proceso de recuperación de descartes, tales como grasa, huesos, cabezas, sangre y vísceras (CNMA, 1998).

1) Camal o matadero de Ahuashiyacu

a. Ubicación geográfica.

Distrito: La Banda de Shilcayo.

Provincia: San Martín (ver anexo I).

En el siguiente cuadro se muestran las coordenadas de ubicación.

Cuadro 02. Coordenadas de ubicación del camal de Ahuashiyacu.

| Área (Ha) | Perímetro (m) | Coordenadas | | | | UTM-zona 18 WGA-1984 | |
|--------------|------------------|-------------|---------|---------|---------|-------------------------|------------------------|
| | | | V1 | V2 | V3 | | V4 |
| 3 | 723.00 | N | 9279718 | 9279728 | 9279702 | 9279604 | Altura: 333 m.s.n.m |
| | | E | 353482 | 353482 | 353416 | 353416 | |

Fuente: Camal de Ahuashiyacu

b. Marco legal

El plan de manejo de efluentes y residuos sólidos del Camal de Ahuashiyacu toma como referencia, entre otros, la siguiente normatividad:

Constitución política del Perú, año 1993; Ley general del ambiente, Ley N° 28611, 13 Octubre del 2005, (Modificado Decreto Legislativo N° 1055, 26 de junio del 2008); *Ley general de salud*, Ley N° 26842, 15 de julio de 1997; Ley orgánica de Municipalidades, Ley N° 27972, 27 de mayo del 2003; Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338, 30 de marzo del 2009; *Decreto Supremo 003-2010-MINAM*, 16 de marzo del 2010, Aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales; *Ley general de residuos sólidos*, Ley N° 27314, 24 de julio del 2004 (*D.S N° 057-2004-PCM*); Ley del Sistema Nacional de Evaluación el Impacto Ambiental. Ley N° 27446, 20 de abril del 2001. Decreto Legislativo N° 1078 que modifica la ley N° 27446, 28 de junio del 2008.

c. Proceso productivo

En los mataderos, los animales son faenados para separar las partes comestibles, a ser procesadas según la forma en que se consumirán. Los principales procesos involucrados para el ganado vacuno son:

- **Recepción:** Se recepciona el ganado en los corrales, este debe encerrarse con horas de antelación al sacrificio y así permitir reposar al animal y efectuar los exámenes ante - mortem.
- **Aturdimiento y Desangrado:** En este proceso, mediante un corte en las arterias del cuello, se provoca su muerte por desangrado.
- **Separación de partes y Desollado:** Luego de desangrar al animal, se le corta la cabeza y cuernos, posteriormente se procede a desollarlo con la precaución de no desgarrar músculos ni ocasionar cortes en el cuero.
- **Faenamiento y Evisceración:** Corte longitudinal en el pecho para extraer vísceras y demás órganos. Clasificación, inspección y lavado de vísceras, desinfección y enfriamiento.
- **División y lavado del canal:** Corte longitudinal, a lo largo de la columna del animal, en dos partes.

- **Lavado, inspección y pesaje:** Se lava, clasifica y pesa el animal.
- **Almacenamiento post-mortem:** La carne se almacena en un cuarto.

Los principales procesos involucrados para los cerdos son:

- **Recepción:** Se recepciona el cerdo en los corrales, se inspecciona y se permite reposar al animal.
- **Sacrificio y Desangrado:** En este proceso, mediante un corte, se provoca su muerte por desangrado.
- **Escaldado y Pelado:** El escaldado consiste en el baño de los cerdos sacrificados con agua caliente durante un tiempo de aprox. 3.5 minutos a una temperatura de 62 – 65 °C. Este proceso prepara la piel del cerdo para la extracción del pelo y facilita la separación de las pezuñas.
- **Separación de pezuñas:** Después del pelado, los cerdos se cuelgan, se le extraen las pezuñas y se retocan con cuchillos los restos de cerdas aún adheridas.
- **Evisceración:** El cerdo depilado pasa al área de eviscerado donde es abierto para la separación de las vísceras.
- **División y lavado del canal:** Corte para separar el esternón.
- **Lavado, inspección y pesaje:** Se lava, clasifica y pesa el animal.
- **Almacenamiento post-mortem:** La carne se almacena en un cuarto.
- El dictamen final y definitivo respecto de la aptitud para consumo de las carnes y subproductos, se hará de acuerdo a las normas que para tales efectos dicte en Ministerio de Salud.

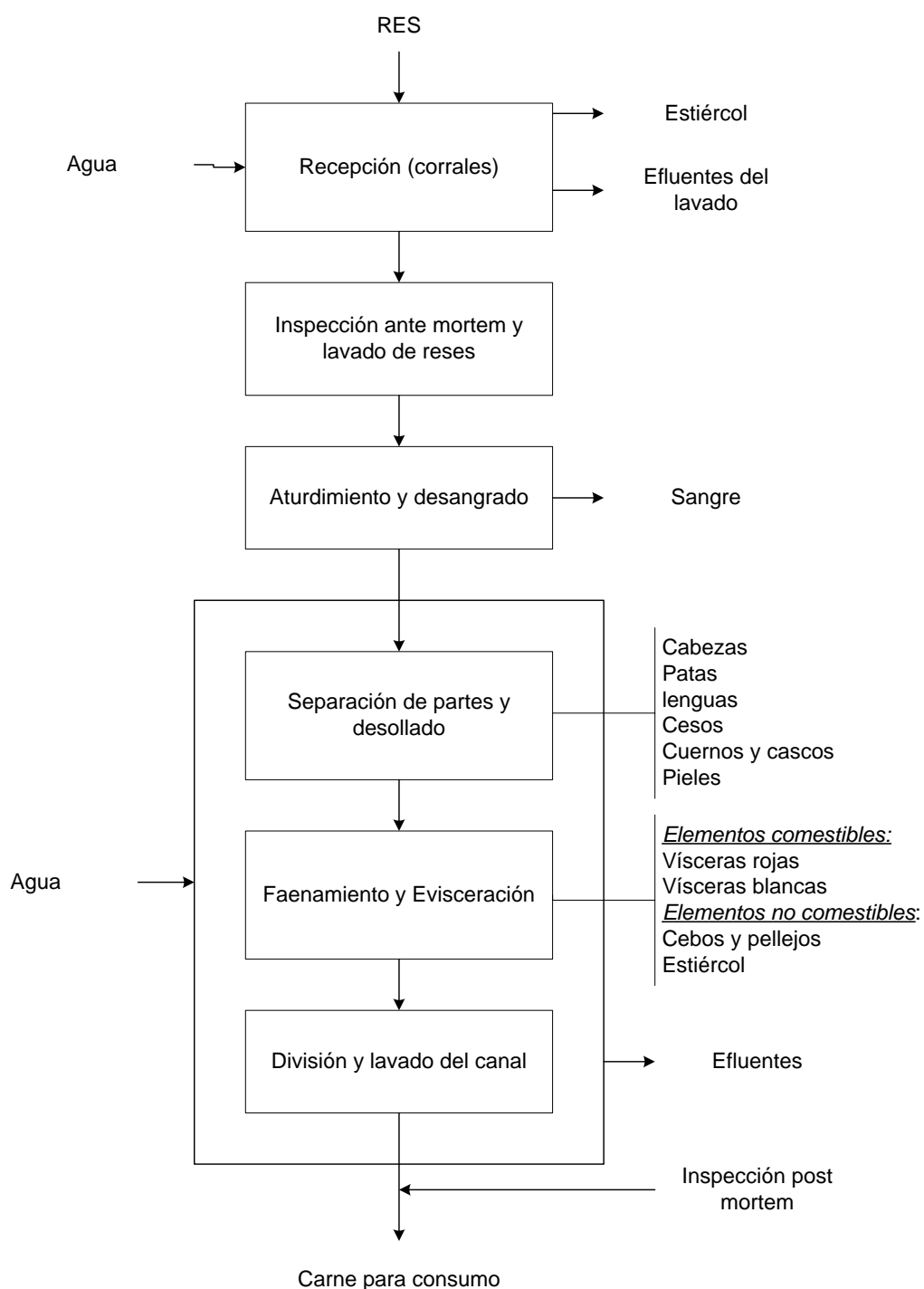


Figura 02. Diagrama de flujo de beneficio de ganado vacuno.

Fuente: Elaboración Propia

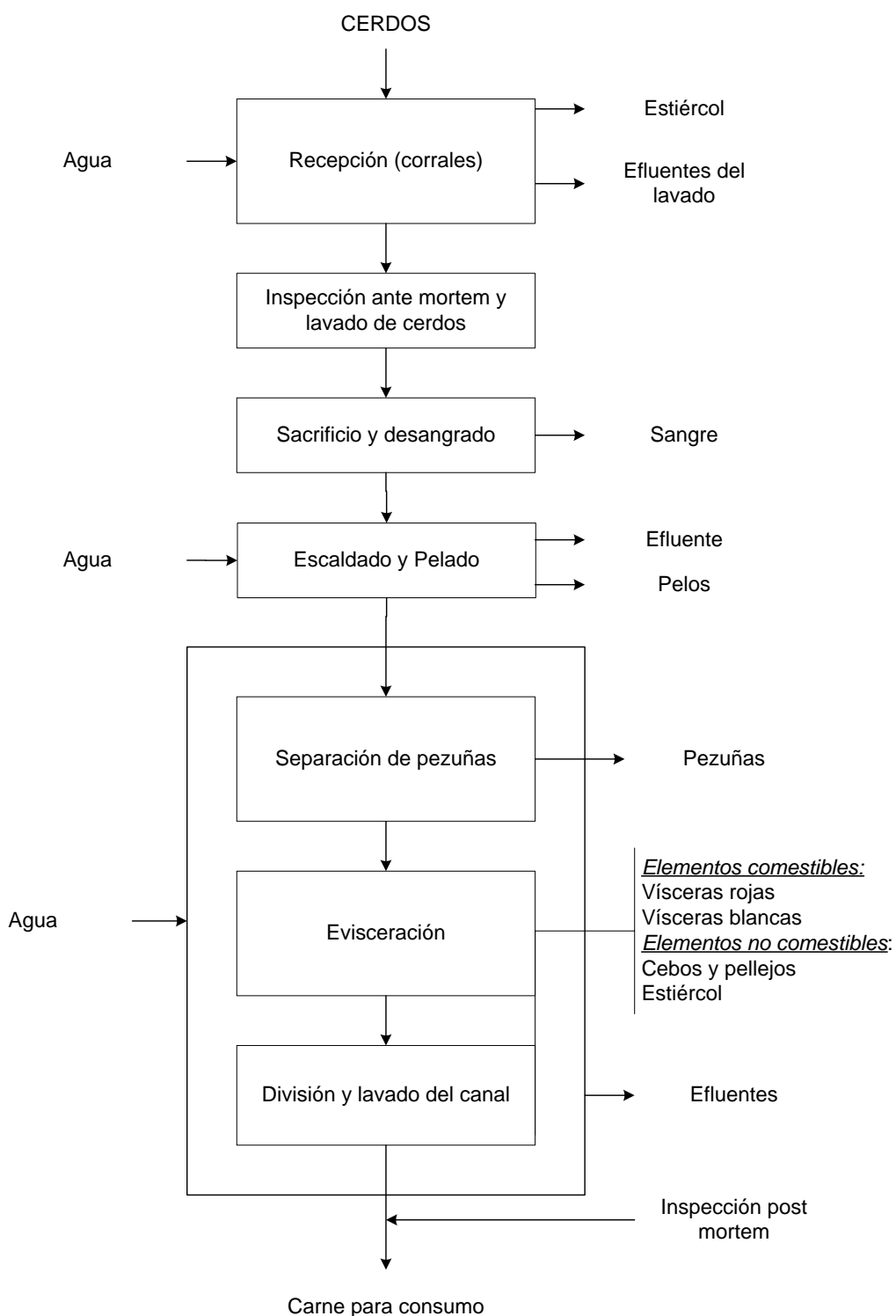


Figura 03. Diagrama de flujo del beneficio de cerdos.

Fuente: Elaboración Propia

d. Consumo de agua potable

El agua es un insumo indispensable en un matadero, ya que se requiere en el proceso de la faena, en los siguientes pasos:

- Bebida del ganado
- Limpieza o baño del ganado
- Escaldado de los cerdos
- Lavado de la superficie del animal, posterior al escaldado (cerdos)
- Remoción de la piel
- Lavado de las vísceras
- Lavado del canal
- Limpieza de cuchillos y equipo
- Limpieza de pisos y superficies de trabajo

En el camal no se tiene registros del consumo de agua potable, por tal motivo al no tener dichas estimaciones, se considerará los valores integrales proporcionados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (**FAO, 1994**).

Los volúmenes de agua consumidos por animal faenado a lo largo de todo el proceso se especifican en el siguiente cuadro y sobre la base de éstos datos y el número de animales faenados en el camal de Ahuashiyacu (20 ganados vacunos/día y 40 ganados porcinos/día, por 6 días laborados a la semana), se estimó el consumo mensual de agua potable en el camal de Ahuashiyacu.

Cuadro 03. Necesidades de agua por animal sacrificado y faenado.

| Especie | Volumen de agua requerida/animal (promedio) ^a | Volumen de agua requerida/día (promedio) | Volumen de agua requerida/mes (promedio) |
|---|--|--|--|
| Animales mayores (bovinos) | 1000 L | 20000 L | 480000 L |
| Porcinos | 450 L | 18000 L | 432000 L |
| Consumo total de agua 912000 L/mes | | | |

^a Fuente: FAO, 1994.

e. Residuos sólidos generados

Para realizar la caracterización de los residuos sólidos generados en el camal, se tomó como referencia el estudio realizado por Ruiz, 2010; y son mostrados en el cuadro 04 y sobre la base de estos datos y el número de animales faenados en el camal de Ahuashiyacu (20 ganado vacunos y 40 ganados porcinos/día, por 6 días laborados a la semana), se estimó la cantidad total de residuos sólido generado, en el proceso de la faena.

f. Control ambiental en el camal de Ahuashiyacu

El camal cuenta con un área exclusiva para el almacenamiento del estiércol, proveniente de los corrales y del proceso de la faena del ganado vacuno y porcino (ver anexo II).

Los desperdicios como grasas, pedazos de pieles, etc, son enviados a un lugar destinado para esto, a la interperie (ver anexo II).

Como medida de control ambiental para la disminución de impactos producidos por las descargas de los efluentes del proceso, el camal cuenta con un canal el cual recolecta todas las aguas residuales del camal, éstas pasan al tanque de sedimentación antes de ser descargadas a las 6 lagunas y posteriormente al río Ahuashiyacu (ver anexo II).

Las cabezas, patas, mondongo, son recolectados y entregados al dueño del animal. Las pieles son curtidas en un tanque (ver anexo II).

Cuadro 04. Caracterización de residuos sólidos procedentes del proceso.

| Etapa del proceso | Residuos sólidos generados | Ganado vacuno | | | Ganado porcino | | |
|-------------------------------|----------------------------------|------------------------|--------|--------|----------------|--------|---------------------|
| | | Peso residuos | | | Peso residuos | | |
| | | Kg/animal ^a | Kg/día | Kg/mes | Kg/animal | Kg/día | Kg/mes ^a |
| Recepción y manejo del ganado | Estiércol | 4.5 | 90 | 2160 | 1 | 40 | 240 |
| Desollado | Pedacería (Piel, músculo, grasa) | 3.0 | 60 | 1440 | 1 | 40 | 240 |
| Depilado | Pelo | -- | -- | -- | 1 | 40 | 240 |
| Evisceración | Tracto intestinal | 60 | 1200 | 28800 | 10 | 400 | 2400 |
| | Pedacería y órganos comestibles | 9 | 180 | 4320 | 3 | 120 | 720 |
| Lavado de vísceras | Contenido ruminal | 23 | 460 | 11040 | -- | -- | -- |
| Inspección post mortem | Estiércol | 6 | 120 | 2880 | 4 | 160 | 960 |
| | | 105.5 | 2110 | 50640 | 20 | 800 | 19200 |
| Total 69840 (Kg/mes) | | | | | | | |

^a Fuente: Ruiz, 2011.

2) Recuperación de subproductos

Generalmente, los desechos de los mataderos y de las otras plantas de procesamiento de carne se utilizan en la producción de alimento para animales. Sólo se excluyen como materias primas, los huesos y los intestinos.

Los desechos congelados se muelen y se mezclan con otros productos (granos, vitaminas, preservativos), para lograr un producto de las características nutritivas adecuadas. La mezcla se calienta (blanqueo) y se envasa en latas, que se esterilizan y luego se enfrían.

La sangre es un valioso subproducto, debido a su valor nutricional, ya que contiene aproximadamente un 10% de la proteína del animal. Generalmente, es recuperada mediante un proceso de centrifugación y secado, sin embargo la ultrafiltración se presenta como alternativa válida para dicho cometido. Mediante la aplicación de esta tecnología, se logran ahorros energéticos de hasta un 75% para el posterior secado del concentrado hasta un contenido en proteína del 70% - 75%.

La gelatina es una proteína coloidal con alta capacidad de coagulación, protectora y adhesiva. Se emplea en preparaciones alimentarias, farmacéuticas y productos fotográficos. Proviene de la piel, tendones y huesos de los animales y se prepara por extracción acuosa a elevadas temperaturas ácida o alcalina (superiores a 60 °C). Posteriormente, este extracto debe clarificarse (filtración), desmineralizarse (intercambio iónico) y concentrarse hasta un producto con el 90% de proteínas.

La heparina es un mucopolisacarido obtenido principalmente de la mucosa intestinal de bovinos y cerdos. A su vez, puede recuperarse de los pulmones, hígado y músculos del animal. Se emplea en intervenciones quirúrgicas como anticoagulante.

En el cerdo, la cantidad de mucosa varía entre los 600 y 1200 gr/cabeza, mientras que en el ganado bovinos alcanza un valor aproximado de 1,8 kg/cabeza **(CNMA, 1998)**.

2.4. Características de los residuos y su impacto.

Los mataderos, las plantas de procesamiento de carne y las actividades asociadas a la recuperación de subproductos generan gran cantidad de residuos líquidos y sólidos, pudiendo emitir olores muy desagradables **(CNMA, 1998)**.

2.4.1. Fuentes y caracterización de los residuos líquidos

Las principales fuentes generadoras de residuos líquidos en los mataderos son las aguas de lavado y las corrientes provenientes de los procesos de desangrado y evisceración. Estas aportan gran cantidad de la carga orgánica, estimándose conveniente la segregación de dichas corrientes y el consiguiente tratamiento individualizado. Estos efluentes contienen: sangre, estiércol, pelos, plumas, grasas, huesos, proteínas y otros contaminantes solubles **(CNMA, 1998)**.

Las aguas residuales de los mataderos son un problema, existiendo numerosos puntos en el proceso de sacrificio como focos importantes de contaminación. A continuación se determinan las aguas residuales generadas en cada una de las etapas del proceso de sacrificio **(López y Casp, 2004)**.

Recepción de animales y lavado de camiones: En esta etapa las aguas residuales contienen principalmente restos de productos de limpieza con restos orgánicos procedentes de la orina y deyecciones de los animales.

Estabulación: Durante la estabulación los animales orinan y defecan, confiriéndole al agua residual de esta sección un alto contenido en compuestos nitrogenados. Se estima un consumo de agua entre 5 y 15 L/m² para la limpieza de los establos.

Aturdido: Debido a las características de esta operación el animal va a producir una gran cantidad de orina, que conlleva una contaminación del agua con compuestos nitrogenados.

Sangrado: A pesar de que se disponga de métodos de recolección de sangre, siempre habrá pérdidas por goteo, que van a conferirle al agua una alta carga de materia orgánica. La sangre cruda del animal tiene una DBO₅ de 200000 mg/L. La eliminación de sangre del efluente es la medida correctora más importante para disminuir la contaminación de las aguas residuales de los mataderos.

El volumen total de sangre es aproximadamente 5.0 L. por ganado porcino y 30 L. por ganado vacuno. La sangre es el principal contaminante, aportando una DQO total de 375000 mg/L (Karl-Heinz *et al.*, 2005) y una elevada cantidad de nitrógeno, con una relación carbono/nitrógeno del orden de 3:4. Se estima que entre un 15% - 20% de la sangre va a parar a los vertidos finales (**CNMA, 1998**).

Escaldado (porcino): Las aguas residuales que se originan incluyen grasas, sólidos en suspensión, proteínas, sangre, excrementos y otros compuestos orgánicos.

Depilado (porcino): Las aguas residuales provienen del agua caliente que se emplea en la máquina depiladora. Esta agua lleva restos de pelos, incrementando por lo tanto la cantidad de materia orgánica.

Chamuscado (porcino): Es esta operación se van a generar aguas residuales con elevada carga orgánica (restos de pelos, escamas de piel, etc).

Eviscerado y lavado: Las aguas residuales proceden del lavado de las canales, arrastrando una elevada carga orgánica.

Triperías: Las aguas residuales proceden del lavado de estómagos e intestinos, arrastrando una gran cantidad de materia orgánica (restos del contenido digestivo, etc.) y grasas procedentes del raspado de la tripa al eliminar la capa de mucosa y serosa propia de los intestinos, así como el desengrasado de los estómagos. El agua del lavado de tripas posee una DBO₅ de 80000 mg/L.

Lavado: Las aguas residuales de esta operación son las más abundantes, y contienen sustancias orgánicas y grasas, así como restos de agentes detergentes y desinfectantes. El consumo estimado de agua para la limpieza de los locales de faenado es de 5 L/m² al día.

Proteínas y grasas son el principal componente de la carga orgánica presente en las aguas de lavado, encontrándose otras sustancias como la heparina y sales biliares. También contienen hidratos de carbono como glucosa y celulosa, y generalmente detergentes y desinfectantes. Cabe destacar que estas corrientes presentan un contenido de microorganismos patógenos importante. Se estima que entre el 25% - 55% del total de la carga contaminante medida en DBO₅, son arrastradas por las aguas de limpieza (**CNMA, 1998**).

En general, los efluentes tienen altas temperaturas y contienen elementos patógenos, además de altas concentraciones de compuestos orgánicos y nitrógeno. La relación promedio de DQO:DBO₅:N en un matadero es de 12:4:1. Esta información se usa para el diseño de sistemas de tratamiento **(CNMA, 1998)**.

El agua residual de mataderos presenta una relación DQO/DBO entre 1.5 – 2.0, por lo que son fácilmente biodegradables. Para la realización del proceso biológico además de la relación DQO/DBO se deberá tener en cuenta la temperatura y el pH del agua (6.5 – 8.5) con el fin de favorecer el desarrollo de los microorganismos **(López y Casp, 2004)**.

El camal Antonio Ante que procesa en promedio 220 ganados vacunos y 340 ganados porcinos mensualmente de cuyos efluentes se tomaron las 3 muestras (una hora luego de iniciada la jornada, a media jornada y final de la jornada), cuyos resultados se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 05. Resultados de los efluentes del camal de Antonio Ante.

| Parámetro | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---|-----------|-----------|-----------|
| pH | 7 | 7 | 6 |
| TOC (mg/L) | 125.8 | 185.4 | 312.6 |
| DBO ₅ (mg O ₂ /L) | 218.2 | 329.7 | 565.6 |
| DQO (mg O ₂ /L) | 390 | 634 | 1660 |
| Sólidos Totales Sedimentables (ml/L) | 8 | 19 | 50 |
| Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) | 369 | 614 | 990 |
| Sólidos Totales (mg/L) | 1341 | 1869 | 2281 |

Fuente: Ruiz, 2010.

Las aguas residuales de matadero tienen un contenido en materia orgánica comprendido entre 1.5 y 2.2 g DQO/L y nitrógeno en concentraciones que van de 120 a 180 mg/L. En su composición predominan las proteínas y las grasas (Cuadro 06). La fracción insoluble del agua residual (SS y coloides) forman el grueso de la DQO, siendo únicamente el 25% de la DQO materia soluble **(Sayed et al., 1987)**.

2.4.2. Fuentes y caracterización de las emisiones atmosféricas.

Las emisiones al aire no constituyen una preocupación ambiental importante en los mataderos. Las principales fuentes generadoras de emisiones atmosféricas dicen relación con la generación de olores molestos, provenientes de la descomposición de los residuos sólidos animales altamente putrefactibles y de los corrales.

Con el propósito de evitar la generación de estos olores, es necesario realizar un adecuado manejo de estos residuos (rumen, pezuñas, huesos, cuernos y estiércol), implementando una adecuada frecuencia de recolección de los residuos y almacenándolos en sitios ventilados, entre otras.

En el proceso productivo, deben tomarse medidas para reducir las emisiones de sustancias y vapores malolientes. Considerando que no siempre estas situaciones pueden mantenerse bajo control, es conveniente que estas plantas se ubiquen lejos de áreas residenciales (**CNMA, 1998**).

Cuadro 06. Composición de las fracciones soluble e insoluble del agua residual de matadero.

| Constituyente | % Fracción DQO |
|----------------------------------|-----------------------|
| <u>Fracción insoluble</u> | |
| Grasas | 67.5 |
| Proteínas | 18.4 |
| Indeterminado | 14.1 |
| <u>Fracción soluble</u> | |
| Grasas | 1.0 |
| Proteínas | 38.0 |
| AGV | 54.0 |
| Indeterminado | 7.0 |

Fuente: Sayed et al., 1987.

2.4.3. Fuentes y caracterización de los residuos sólidos

Casi el 100% de los residuos sólidos generados en mataderos son biodegradables **(Duque, 2008)**.

Las principales fuentes generadoras de residuos sólidos en los mataderos son los corrales, el proceso de descuerado y corte, y el proceso de evisceración. En los corrales, se generan importantes cantidades de estiércol mezclado con orines. Estimaciones indican que un bovino (450 - 635 kg) genera entre 38 y 53 kg/día de estiércol **(Duque, 2008)**.

Se ha estimado que para cerdos y bovinos respectivamente, se generan en matadero 2.0 – 3.5 Kg y 7.5 - 30 Kg de estiércol (en su mayoría líquido); 4 - 6 y 20 – 35 L de sangre; 9 y 66 kg de huesos y 0.4 – 1.6 y 40 – 80 kg de contenidos estomacales. Se trata de materiales ricos en proteínas y grasas, por lo tanto, con notable contenido de nitrógeno, pero también fósforo, potasio y calcio **(Duque, 2008)**.

Aproximadamente entre un 20% y un 50% del peso del animal no es apto para el consumo humano. La mayor parte de los desechos son putrefactibles y deben manejarse cuidadosamente para prevenir los malos olores y la transmisión de enfermedades. Todos estos desechos, con la excepción de las fecas generadas en el transporte, almacenamiento y matanza de los animales, pueden ser reutilizados, lo que permite reducir considerablemente la generación de residuos sólidos **(CNMA, 1998)**.

Después de la sangría, el animal es descuerado, proceso en el cual se generan los siguientes residuos sólidos: pezuñas, huesos y cuernos. Finalmente, en el proceso de evisceración es donde se genera la mayor cantidad de residuos sólidos. El principal residuo sólido producido en este proceso es el rumen o el contenido de los estómagos del ganado vacuno. Junto con la sangre, es la materia causante de mayor contaminación. Se caracteriza por contener lignocelulosa, mucosas y fermentos digestivos, además de presentar un elevado contenido de microorganismos patógenos. Una fuente esporádica de generación de residuos sólidos son los animales decomisados (no aptos para el consumo humano), los que son sometidos a un proceso de cocción y posteriormente enviados a relleno sanitario **(CNMA, 1998)**.

2.5. Prevención de la contaminación

2.5.1. Mataderos y procesamiento de carnes

Para reducir la contaminación en los procesos de producción, se recomiendan las siguientes medidas (**CNMA, 1998**):

- Reducir 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 descargas. Esto minimiza la carga de los residuos líquidos y los efectos negativos de algunos compuestos para el tratamiento biológico posterior.
- Minimizar el consumo de agua en los procesos de producción, utilizando agua a presión para el lavado de equipos y mejorando el lay-out del proceso productivo.
- Separar las aguas de enfriamiento de las aguas de proceso y lavado, recirculando el agua de enfriamiento.
- Controlar el uso de detergentes y desinfectantes en el lavado.
- Recuperar los sólidos, mediante la instalación de rejillas sobre las canaletas de recolección, reduciendo así su concentración en los efluentes líquidos. Lo mismo se puede efectuar para recolectar las grasas y reprocessarlas como subproducto.
- Recuperar y procesar la sangre en subproductos útiles. La sangre contaminada se envía a la planta recuperadora de subproductos.
- Evitar, dentro de lo posible, el transporte húmedo de desechos (bombeado) por ejemplo, intestinos, plumas, etc.
- Efectuar una pre-limpieza seca del equipamiento y de las áreas de producción antes de la limpieza húmeda, reduciendo la carga de contaminantes del agua.
- Remover, como residuo sólido, la mayor cantidad posible de estiércol de los corrales y el rumen de los intestinos.
- Implementar un buen sistema de recolección (en seco) almacenamiento, transporte y aplicación del estiércol.

- Siempre que el estiércol sea incorporado al suelo, debe quedar bajo una capa de tierra de a lo menos 20 cm, de manera de evitar que las larvas de moscas incubadas en el estiércol, puedan llegar a la superficie.
- Recuperación de aceites usados provenientes del mantenimiento de vehículos y equipos, para ser entregado a una empresa especializada en su refinación.
- Todas las fuentes de emisiones de olores deben estar aisladas y bien ventiladas. Deben usarse chimeneas lo suficientemente altas para diluir los olores, idealmente después de un tratamiento del aire de ventilación.

Para reducir las emisiones de sustancias olorosas, se pueden tomar las siguientes medidas **(CNMA, 1998)**:

- Mejorar la higiene operacional.
- Remover con frecuencia el material generador de malos olores.
- Guardar un mínimo de stock de materia prima y almacenarlo en un lugar frío, cerrado y bien ventilado.
- Acortar el tiempo de matanza.
- Control y reducción de los ruidos en la planta
- Pasteurizar la materia prima para detener el proceso biológico generador de olores.
- Tratar de operar en sistemas cerrados o bajo vacío.

2.6. Métodos para el control de la contaminación.

2.6.1. Tecnologías de tratamiento de efluentes líquidos.

1) Tratamiento propuesto por la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

Una planta de tratamiento para efluentes de mataderos, requiere ser diseñada para remover los niveles contaminantes de parámetros, tales como: DBO₅, aceites y grasas, sólidos suspendidos, DQO y microorganismos patógenos, entre otros; así mismo, la planta de tratamiento debe contar con una red para la recolección de aguas residuales, para: **(López y Casp, 2004)**.

- Drenaje de la sangre.
- Desagües de los corrales y del estiércol de las tripas.
- Desagües de las áreas de la matanza, los subproductos y su tratamiento.
- Desagüe de residuos domésticos.

Lo más recomendable es diseñar un sistema de tratamiento que considere un pre-tratamiento (rejas y trampas de grasas), un tratamiento primario (físico o físico-químico) y un tratamiento secundario (biológico). Sin embargo, la solución que cada planta adopte, podrá sufrir variaciones en función de las cargas contaminantes, concentración, programas de prevención existentes, etc. **(López y Casp, 2004)**.

A continuación, se describe brevemente los procesos de tratamientos que pueden utilizarse para la industria de la carne:

a. Pre-tratamiento

Es la primera operación a que se someten los residuos líquidos. Consiste en retener los sólidos y grasas que arrastra el agua y que podrían, por su tamaño y características, entorpecer el normal funcionamiento de las plantas de tratamiento **(López y Casp, 2004)**.

- **Rejas:** Dispositivo con aberturas de tamaño uniforme, donde quedan retenidas las partículas gruesas del efluente. El paso libre entre barras es de 50 a 100 mm para los sólidos gruesos y de 12 a 20 mm para los sólidos finos. Los principales parámetros de diseño son: tipo de residuo a tratar, flujo de descarga, paso libre entre barras, volumen de sólidos retenidos y pérdida de carga. En cuanto a la elección del sistema de limpieza de las rejas, ésta debe efectuarse en función de la importancia de la planta de tratamiento, de la naturaleza del vertido a tratar, y por supuesto, de las disponibilidades económicas.
- **Trampas de grasas:** Consisten en un estanque rectangular, en el cual la sustancia grasa es empujada hacia la superficie y atrapada por una pantalla vertical.

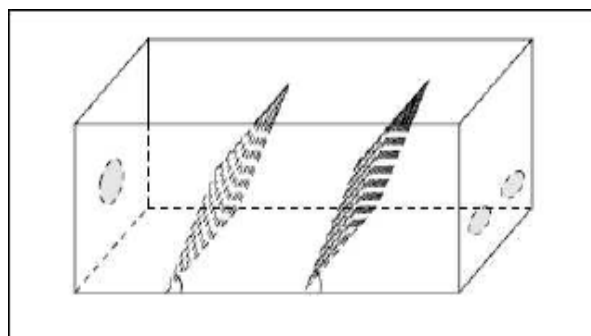


Figura 03. Esquema del sistema de pre-tratamiento (sistema de rejillas inclinadas).

Fuente: Silva y Samperi, 2004.

b. Tratamiento primario

Consiste en la remoción de una cantidad importante de los sólidos suspendidos, contenidos en las aguas residuales, mediante procesos físicos y/o químicos (**López y Casp, 2004**).

- **Estanque homogenizador:** Requiere de un estanque con aireador, que tenga una capacidad aproximada de un 60% del flujo diario, donde caudales punta, pH y temperaturas son homogeneizados, resultando un efluente de características uniformes.
- **Flotación:** Se utiliza para remover sólidos suspendidos y grasas remanentes; tiene mayor eficiencia que las rejas y las trampas. La eficiencia se puede aumentar agregando floculantes químicos (aluminio, sales de hierro, etc.). El lodo de la flotación tiene un alto contenido de proteínas y grasas y puede ser usado para alimento de animales, después de pasteurizarlo o ser procesado en una planta recuperadora.
- **Tanque sedimentador:** Unidad rectangular que ayuda a eliminar los sólidos suspendidos y las grasas que se encuentran en un efluente. En estas unidades, el agua residual es llevada a condiciones de reposo, lo que permite que haya una buena sedimentación de sólidos, permitiendo una buena digestión por microorganismos anaerobios especializados. Se requiere que estos microorganismos permanezcan durante algún tiempo en el interior de la fosa (**Silva y Samperi, 2004**).

Luego de un tiempo razonable, la fosa se deberá limpiar, sin eliminar completamente el lodo del fondo de la misma para permitir la generación posterior de la masa bacterial. Los principales parámetros de diseño son: caudal de diseño, volumen destinado para el almacenamiento de lodos y profundidad. La siguiente figura muestra un tanque séptico rectangular **(Silva y Samperi, 2004)**.

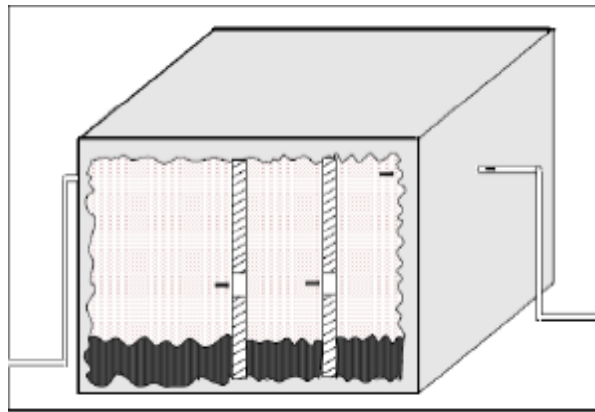


Figura 04. Esquema del tratamiento primario (tanque séptico de forma rectangular).

Fuente: Silva y Samperi, 2004.

Un tanque séptico tiene la ventaja de mantener las aguas residuales fuera de vista, conteniendo los olores, y previniendo las condiciones insalubres. Sin embargo, un enfoque más sencillo es utilizar una laguna de estabilización abierta, cuyo funcionamiento es igual que el del tanque séptico, pero obviamente es descubierto en la parte superior **(Silva y Samperi, 2004)**.

Las lagunas abiertas no producen los olores desagradables a menos que estas sean sobrecargadas o sean estancadas en su flujo; pueden crear un peligro para niños y deber ser rodeadas por una cerca para prevenir el acceso público. El mantenimiento adicional mínimo es requerido para cualquier tecnología **(Setty, 2007)**.

En la laguna de estabilización o tanque sedimentador, los sólidos son eliminados por procesos mecánicos naturales (los sólidos se depositan en el fondo). Una vez depositada, la materia orgánica es procesada por microbios y plantas, lo cual previene la acumulación de materiales en el fondo de la poza (**Setty, 2007**).

- **Tecnologías de membranas:** Se utilizan no solamente para eliminar parte de la materia orgánica de los efluentes generados en los mataderos, sino que también permite la recuperación de sustancias reaprovechables actualmente desechadas y la reutilización del agua. Sin embargo, es una tecnología demasiado costosa como método de tratamiento de efluentes y sólo será un proceso competitivo o complementario a los sistemas de tratamiento convencionales, cuando el terreno sea escaso y costoso, existan sustancias orgánicas valiosas recuperables en las corrientes o se precise recircular el agua en el proceso. Dependiendo del tamaño de partícula a filtrar, se puede utilizar la técnica de osmosis inversa, ultrafiltración, microfiltración y filtración (**CNMA, 1998**).

c. Tratamiento secundario

El propósito de un tratamiento biológico es la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en los residuos líquidos. Consiste en la oxidación biológica de los sólidos suspendidos remanentes y de los sólidos orgánicos disueltos, medida como una reducción en la DBO₅ del efluente (**López y Casp, 2004**).

Para escoger un sistema de tratamiento secundario, dependerá de un gran número de factores, entre los que podemos mencionar: requerimientos del efluente (estándares de descarga), sistema de pre-tratamiento escogido, la disponibilidad del terreno, regulaciones ambientales locales y factibilidad económica de una planta de proceso (**López y Casp, 2004**).

López et al., 2008; desarrollaron dos procesos, uno de tipo fisicoquímico de coagulación-floculación y otro de tipo biológico Anaerobio/Aerobio, siendo ambos técnicamente factibles para el tratamiento de agua residual de matadero. El primero de ellos alcanzó una eficiencia de remoción de DQO del

94,2% inicial, con una dosis óptima de 250 mg.l⁻¹ de Al₂(SO₄)₃·14H₂O más una dosis de 5 mg.l⁻¹ de un polímero aniónico, el ERJOPOL 2098-A, a pH = 4. Respecto al proceso biológico, la eficiencia de remoción cuando solo se aplica la etapa anaerobia fue de 60-80%; sin embargo, al aplicar el proceso global Anaerobio/Aerobio se alcanzó el 97% de remoción de materia orgánica medida como DQO. Las mejores condiciones para el tratamiento biológico fueron un tiempo de retención de 20h para el filtro anaerobio y 9h de aireación para el reactor aerobio en batch.

La relación DQO/DBO determina la biodegradabilidad de las aguas residuales, si la relación DQO/DBO es < 2, las aguas son fácilmente biodegradables pudiendo emplearse sistemas de lodos activos o de lechos bacterianos, mientras que si la DQO/DBO es > 4, el agua es poco biodegradable, y no se recomiendan los tratamientos biológicos.

➤ **Tratamiento anaeróbico:** Los efluentes provenientes de la industria de la carne pueden ser tratados en lagunas o reactores cerrados. Este tipo de tratamiento requiere poco espacio, tiene un bajo costo de operación y genera biogás, que puede ser reutilizado en el proceso productivo o comercializado. **Massé et al., 2000**, evaluó la factibilidad de usar reactores de digestión anaeróbica en batch para tratar los efluentes de un matadero. Los resultados preliminares indican que este proceso es muy efectivo en la reducción de olores y la polución potencial de las aguas servidas del matadero. El proceso removió el 98% del COD total y el 91 % de sólidos suspendidos. Obteniendo también biogás de calidad (0.54 - 0.67 L/g de sólidos volátiles) con un contenido de metano de 70 – 75 %.

El tratamiento anaerobio de las aguas residuales consta de dos etapas **(López y Casp, 2004):**

En la fermentación ácida, los compuestos orgánicos complejos de las aguas residuales (proteínas, grasas, etc.) se hidrolizan produciendo unidades moleculares menores, las cuales son sometidas a bioxidación, convirtiéndose principalmente en ácidos de cadena corta. Este proceso de fermentación ácida es producido por bacterias anaerobias facultativas.

En la fermentación metanogénica, microorganismos estrictamente anaerobios, convierten estos ácidos de cadena corta principalmente en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).

Debido a su naturaleza, el proceso anaerobio presenta las siguientes ventajas: por un lado no es necesaria una aireación con lo cual son menores los costos, la producción de biomasa es menos, y por otro lado el metano puede aprovecharse como combustible. Sin embargo, este proceso necesita un mayor tiempo de detención de las aguas residuales, se producen malos olores por la producción de H_2S , la temperatura necesaria para el desarrollo del proceso es superior a $20\text{ }^\circ\text{C}$, la sedimentación de los fangos es más difícil, y otros. Debido a estos factores, el uso de tratamiento biológico anaeróbico no es aconsejable en los mataderos ubicados en sitios templados o fríos **(López y Casp, 2004)**.

- **Tratamiento aeróbico:** Todos los métodos de tratamiento aeróbico existentes pueden ser aplicados a los efluentes de la industria de la carne: lodos activados, lagunas aireadas, filtros de goteo o contactores biológicos rotatorios **(CNMA, 1998)**.

Parte de la materia orgánica se encuentra disuelta en el agua, que no pudo ser separada por decantación en el proceso físico – químico; puede ser eliminada por procedimientos biológicos, en los cuales, la materia orgánica va a ser metabolizada por una serie de microorganismos. En el caso de los mataderos la mayor parte de la materia orgánica presente en las aguas residuales es de naturaleza carbonada, por lo que su metabolización se realiza por microorganismos aerobios heterótrofos **(López y Casp, 2004)**.

La aplicación de un tratamiento secundario debe tomar en cuenta la generación de olores. Dado su alto contenido de compuestos orgánicos y nitrógeno, el tratamiento de lodos activados de baja carga es lo más recomendado. Este sistema, aplicado en zanjas aireadas, permite la biodegradación del material orgánico en combinación con la nitrificación y posterior desnitrificación **(CNMA, 1998)**.

En el cuadro 07, se muestran valores de eficiencia de remoción según el sistema de tratamiento escogido, ellos muestran que los sistemas de tratamientos biológicos son los más adecuados en el caso de las plantas de procesamiento de la carne.

Cuadro 07: Eficiencia de remoción de los sistemas de tratamiento de efluentes provenientes de la industria procesadora de carne.

| Sistema de Tratamiento | Denominación Común | DBO₅ % | DQO % | TKN % | SST % | Aceites y Grasas % |
|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------------|
| Mecánico | Filtración | 5 – 15 | 5 – 15 | ----- | 25 – 40 | 5 - 10 |
| Mecánico + Físico | Flotación de Aceites | 30 – 45 | 30 – 45 | 5 – 15 | 80 – 85 | >90 |
| Mecánico + Físicoquímico | Floculación /Flotación | 70 – 80 | 70 – 80 | 50 – 60 | 90 – 95 | >95 |
| Mecánico + Físico + Bio. | Biológico | 95 – 99 | >90 | 85 – 97 | >95 | >95 |
| Mecánico + FísicoQco +Bio. | Biológico | 95 - 99 | >90 | 85 - 97 | >95 | >95 |

Fuente: CNMA, 1998.

d. Lagunas de estabilización (primario, secundario y terciario).

Se conoce con este término cualquier laguna o estanque o grupo de ellos, proyectado para llevar a cabo un tratamiento primario, secundario, remoción de patógenos y a veces nutrientes (tratamiento terciario).

Cuadro 08. Dimensiones de algunas lagunas de estabilización.

| Dimensiones | Lagunas de estabilización | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------|----------|------------|---------|------------|
| | Toro | La Unión | Roldanillo | Guacari | El Cerrito |
| Caudal de diseño (L/s) | 25.6 | 63 | 55 | 58.35 | 90 |
| LAGUNA ANAEROBIA | | | | | |
| Volumen (m ³) | 4468 | 5424 | 7621 | 7803 | |
| Profundidad (m) | 3.45 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | |
| Área superficial (m ²) | 1628.12 | 1980.25 | 2525.25 | 2230 | |
| Largo (m) | 40.35 | 44.5 | 55.5 | 49 | |
| Ancho (m) | 40.35 | 44.5 | 45.5 | 45.51 | |
| Relación largo/ancho | 1 | 1 | 1.2 | 1.08 | |
| Profundidad zona de mezcla (m) | | | | | 4.5 |
| Ancho zona de mezcla (m) | | | | | 29.2 |
| Largo zona de mezcla (m) | | | | | 14.5 |
| Profundidad zona de sedimentación (m) | | | | | 1.3 |
| Ancho zona de sedimentación (m) | | | | | 29.2 |
| Largo zona de sedimentación (m) | | | | | 30 |
| Borde libre (m) | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.6 | |
| Talud interior | 1=1.5 | 1=1.5 | 1=1.5 | 1=2.0 | |
| LAGUNA FACULTATIVA | | | | | |
| Volumen (m ³) | 5539 | 13594 | 11863.8 | 6557.25 | |
| Profundidad (m) | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.5 |
| Área superficial (m ²) | 3761.5 | 9096.3 | 6272 | 4545 | |
| Largo (m) | 88.73 | 134.8 | 112 | 101 | 177 |
| Ancho (m) | 43.37 | 67.48 | 56 | 45 | 59.3 |
| Relación largo/ancho | 2 | 2 | 2 | 2.24 | 3 |
| Borde libre (m) | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | |
| Talud interior | 1=1.5 | 1=1.5 | 1=1.5 | 1=2.0 | |
| Área total del lote (Ha) | 1.7 | 4.4 | 3.7 | 2 | 6.24 |

Fuente: Suarez, 2010.

Mara y Pearson 1998, estiman que los lodos tienen que ser removidos con una frecuencia de 5 a 10 años en las lagunas facultativas y de 2 a 5 años en las lagunas anaerobias, sin embargo, esto depende y varía de acuerdo a las características de las aguas residuales a tratar.

Existen diversos tipos de lagunas, dependiendo de sus características pueden ser:

- **Lagunas anaerobias.** Generalmente se usan como una primera depuración o pre-tratamiento. Se pueden considerar como un digestor, ya que se le aplican cantidades de materia orgánica o carga orgánica por unidad de volumen de manera tal que prevalezcan las condiciones anaerobias. Una desventaja de este tipo de lagunas es que pueden producir malos olores esporádicamente, principalmente debido a variaciones bruscas de temperatura, lo cual impide su ubicación en lugares cercanos (500 m) de zonas habitadas. Generalmente son estanques profundos de 3 a 5 metros de profundidad. Si el afluente tiene alto contenido de sulfatos, los olores pueden ser fuertes y se recomienda evitar el uso de lagunas anaerobias para el tratamiento de aguas residuales domésticas **(Brown, 2004)**.

En cuanto a las cargas volumétricas con las que operan las lagunas anaerobias convencionales, éstas oscilan entre 108 - 180 g DBO/m³.d. Autores como Mara y Pearson (1998), argumentan que las cargas deben estar por encima de 100 g DBO/m³.d para mantener las condiciones anaerobias y por debajo de 400 g DBO/m³.d para evitar malos olores causados por la conversión de sulfatos a sulfuro de hidrógeno; de acuerdo a lo expuesto, las cargas aplicadas a las lagunas anaerobias se consideran aceptables.

- **Lagunas facultativas.** Es una combinación de áreas en el mismo estanque con y sin oxígeno. Se diseñan con una profundidad entre 1.5 – 2.0 metros y una cantidad de materia orgánica o carga orgánica por unidad de volumen que permita el crecimiento de organismos aeróbicos y facultativos. Es el tipo de lagunas más usado por su flexibilidad, requieren menos terreno que las aerobias y no producen los olores de las anaerobias. Como en todos los procesos biológicos, un factor que afecta su eficiencia es la temperatura **(Brown, 2004)**.

En las lagunas facultativas, las cargas superficiales se encuentran entre los 300 y 800 kg DBO/ha.d; sin embargo, la literatura expone que cargas superficiales que excedan los 250 kg DBO/ha.d pueden ocasionar la aparición de malos olores; mientras que cargas que excedan los 400 kg DBO/ha.d llevan probablemente a la anaerobiosis y como resultado bajas eficiencias o desempeños (**Mendonça, 2000**). Esto último conlleva a suponer que una de las lagunas facultativas estudiadas podría estar presentando problemas operacionales causados por sus altas cargas, las cuales oscilan entre los 600 y 800 kg DBO/ha.d.

- **Lagunas aerobias.** Son lagunas que operan en presencia de aire. Son de poca profundidad, no más de 80 cm, lo que propicia la proliferación de algas, que suministran una buena parte del oxígeno necesario. No pueden ser utilizadas para aguas residuales crudas porque estas tienen un DBO₅ demasiado alto; requieren un pre-tratamiento primario. Se logran eficiencias de remoción del DBO₅ del 65 – 75 %. Su desventaja principal es la cantidad de terreno que requieren (**Brown, 2004**).
- **Lagunas de maduración.** Estas lagunas son usadas para efluentes de lagunas facultativas o aerobias con la principal finalidad de reducir coliformes fecales, huevos de helmintos y quistes de protozoarios. En ellas, la acción del sol y sus rayos ultravioleta es fundamental (**Brown, 2004**).

2) Tratamiento a través de humedales

Los humedales son medios semiterrestres con un elevado grado de humedad y una profusa vegetación, que reúnen ciertas características biológicas, físicas y químicas, que les confieren un elevado potencial autodepurador. Los humedales naturales pueden alcanzar gran complejidad, con un mosaico de lámina de agua, vegetación sumergida, vegetación flotante, vegetación emergente y zonas con nivel freático más o menos cercano a la superficie.

Los humedales ocupan el espacio que hay entre los medios húmedos y los medios, generalmente, secos y de que poseen características de ambos, por lo que no pueden ser clasificados categóricamente como acuáticos ni terrestres (**Hammer y Bastian, 1989**). Lo característico de un humedal es la presencia

de agua durante períodos lo bastante prolongados como para alterar los suelos, sus microorganismos y las comunidades de flora y fauna hasta el punto de que el suelo no actúa como en los hábitat acuáticos o terrestres. Las profundidades típicas de estas extensiones de tierras son menores a 0,60 m donde crecen plantas emergentes como juncos, *typha* «totorá», *duck weed* «lenteja de agua» que contribuye a la reducción de contaminantes a través de procesos aerobios de degradación.

a. Funciones de los humedales artificiales

Las actividades humanas han dado y siguen dando origen a varios tipos de humedales de interés para algunas especies vegetales y animales. Las graveras y otro tipo de excavaciones abandonadas, restauradas o poco alteradas, albergan distintos tipos de hábitats (**Hammer y Bastian, 1989**).

Un humedal artificial es un sistema de tratamiento de agua residual (estanque o cauce) poco profundo, construido por el hombre, en el que se han sembrado plantas acuáticas, y contado con los procesos naturales para tratar el agua residual. Los humedales construidos tienen ventajas respecto de los sistemas de tratamiento alternativos, debido a que requieren poca o ninguna energía para operar. Si hay suficiente tierra barata disponible cerca de la instalación de los humedales de cultivo acuático, puede ser una alternativa de costo efectivo. Los humedales proporcionan el hábitat para la vida silvestre, y son, estéticamente, agradables a la vista.

➤ **Proceso de remoción físico.** Los humedales son capaces de proporcionar una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes asociado con material particulado. El agua superficial se mueve muy lentamente a través de los humedales, debido al flujo laminar característico y la resistencia proporcionada por las raíces y las plantas flotantes. La sedimentación de los sólidos suspendidos se promueve por la baja velocidad de flujo y por el hecho de que el flujo es con frecuencia laminar en los humedales. Las esteras de plantas en los humedales pueden servir como trampas de sedimentos, pero su rol primario es la remoción de sólidos suspendidos para limitar la resuspensión de material particulado.

La eficiencia de remoción de sólidos suspendidos es proporcional a la velocidad de particulado fijo y la longitud del humedal. Para propósitos prácticos, la sedimentación es usualmente considerada como un proceso irreversible, resultando en acumulación de sólidos y contaminantes asociados sobre la superficie del suelo del humedal. Sin embargo, la resuspensión de sedimento puede resultar en la exportación de sólidos suspendidos y reducir algo más bajo la eficiencia de remoción. Algo de resuspensión podría ocurrir durante periodos de velocidad de flujo alta en el humedal. Pero comúnmente la resuspensión es el resultado de la turbulencia de la dirección del viento, bioturbación (perturbación por animales y humanos) y desprendimiento de gas. El desprendimiento de gas resulta a partir de gases como el oxígeno, a partir de la fotosíntesis del agua, metano y dióxido de carbono, producido por los microorganismos en el sedimento durante la descomposición de la materia orgánica **(Benefield y Randall, 1980)**.

- **Proceso de remoción biológico.** La remoción biológica es quizá el camino más importante para la remoción de contaminantes en los humedales. Extensamente reconocido para la remoción de contaminantes en los humedales es la captación de la planta. Los contaminantes que son también formas de nutrientes esenciales para las plantas, tales como nitrato, amonio y fosfato, son tomados fácilmente por las plantas del humedal. Sin embargo, muchas especies de plantas del humedal son capaces de captar, e incluso acumular significativamente metales tóxicos, como cadmio y plomo. La velocidad de remoción de contaminante por las plantas varía extensamente, dependiendo de la velocidad de crecimiento de la planta y de la concentración del contaminante en tejido de planta. Las plantas leñosas, es decir, árboles y arbustos, proporcionan un almacenamiento a largo plazo de contaminantes, comparado con las plantas herbáceas. Sin embargo, la velocidad de captación de la contaminante unidad de área de tierra es, a menudo, mucho más alta para las plantas herbáceas, o los macrophytas, tales como cattail. Las algas pueden también proporcionar una cantidad significativa de nutrientes captados, pero son más susceptibles a los efectos

tóxicos de metales pesados. El almacenaje de alimentos en algas es relativamente a corto plazo, debido al rápido ciclo de rotación (corto ciclo de vida) de algas. Las bacterias y otros microorganismos en el suelo también proveen, captan y almacenan nutrientes a corto plazo, y algunos otros contaminantes.

En los humedales, el material de la planta muerta, conocido como detritus o basura, se acumula en la superficie del suelo. Algunos de los nutrientes, metales u otros elementos eliminados previamente del agua por captación de la planta son pérdidas del detritus de la planta por la lixiviación y descomposición, y reciclados nuevamente dentro del agua y del suelo. La lixiviación de contaminantes solubles en agua puede ocurrir rápidamente en la muerte de la planta o del tejido de planta, mientras que una pérdida más gradual de contaminantes ocurre durante la descomposición del detritus por las bacterias y otros organismos.

En la mayoría de los humedales, hay una acumulación significativa del detritus de la planta, porque la velocidad de descomposición disminuye substancialmente bajo condiciones anaerobias que prevalecen, generalmente, en suelo del humedal. Si, sobre un período extenso de tiempo, la velocidad de descomposición de la materia orgánica es más baja que la velocidad de deposición de la materia orgánica en el suelo, la formación de turba ocurre en el humedal. De esta manera, algunos de los contaminantes captados originalmente por las plantas se pueden atrapar y almacenar como turba. La turba se puede acumular a grandes profundidades en los humedales, y puede proporcionar el almacenamiento de larga duración para los contaminantes. Sin embargo, la turba es también susceptible a la descomposición si el humedal se drena. Cuando sucede eso, los contaminantes incorporados en la turba se pueden liberar y/o reciclar o limpiar con un chorro de agua del humedal. Aunque los microorganismos pueden proporcionar una cantidad medible de contaminante captado y almacenado en sus procesos metabólicos, que desempeñan el papel más significativo en la remoción de compuestos orgánicos. Los descompuestos microbianos, sobre todo bacterias del suelo, utilizan el carbono (C) de la

materia orgánica como fuente de energía, convirtiéndola a gases de bióxido de carbono (CO_2) o metano (CH_4). Esto proporciona un mecanismo biológico importante para la remoción de una amplia variedad de compuestos orgánicos, incluyendo éstos encontrados en aguas residuales municipales, aguas residuales de procesamiento de alimentos, plaguicidas y productos de petróleo. La eficiencia y la velocidad de degradación orgánica de C por los microorganismos es altamente variable para los diversos tipos de compuestos orgánicos. El metabolismo microbiano también produce la remoción de nitrógeno inorgánico, es decir, nitrato y amonio, en los humedales. Bacterias especializadas (*Pseudomonas sp.*) transforman metabólicamente el nitrato en gas nitrógeno (N_2), un proceso conocido como desnitrificación. El N_2 se pierde posteriormente a la atmósfera (**Benfield y Randall, 1980**).

- **Proceso de remoción químico.** El proceso químico más importante de la remoción de suelos del humedal es la absorción, que da lugar a la retención a corto plazo o a la inmovilización a largo plazo de varias clases de contaminantes. La absorción es un término ampliamente definido para la transferencia de los iones (moléculas con cargas positivas o negativas) a partir de la fase de la solución (agua) a la fase sólida (suelo). La absorción describe realmente un grupo de procesos, que incluye reacciones de adsorción y de precipitación. La adsorción se refiere a la unión de iones a las partículas del suelo, por intercambio catiónico o absorción química. El intercambio catiónico implica la unión física de los cationes (iones positivamente cargados) a las superficies de las partículas de la arcilla y de la materia orgánica en el suelo. Esto es una unión mucho más débil que la unión química, por lo tanto, los cationes no se inmovilizan permanentemente en el suelo. Muchos componentes de las aguas residuales y de escurrimiento existen como cationes, incluyendo el amonio (NH_4^+) y la mayoría de trazas de metales, tales como cobre (Cu^{+2}). La capacidad de los suelos para la retención de cationes, expresada como capacidad de intercambio catiónico (CEC), aumenta generalmente con el aumento de contenido de la arcilla y de la materia orgánica. La absorción química representa una forma más

fuerte y más permanente de vinculación que el intercambio catiónico. Un número de metales y de compuestos orgánicos se puede inmovilizar en el suelo vía la absorción química de las arcillas, y los óxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al), y materia orgánica. El fosfato también puede unirse con la arcilla y los óxidos de Fe y Al a través de la absorción química. El fosfato puede también precipitarse con los óxidos de hierro y aluminio para formar un nuevo mineral compuesto (fosfatos de Fe y Al), que son potencialmente muy estables en el suelo, produciendo el almacenamiento de fósforo a largo plazo. Otra reacción importante de precipitación que ocurre en los suelos del humedal es la formación de sulfuros de metales. Tales compuestos son altamente insolubles y representan los medios eficaces para inmovilizar muchos metales tóxicos en humedales. La volatilización, que implica la difusión de un compuesto disuelto desde el agua en la atmósfera, es otro mecanismo potencial de la remoción del contaminante en los humedales. La volatilización del amoníaco (NH_3) puede dar lugar a la remoción significativa de nitrógeno, si el pH del agua es alto (mayor que 8,5). Sin embargo, a pH más bajo cerca de 8,5, el nitrógeno del amoníaco existe casi exclusivamente en forma ionizada (amonio, NH_4^+), que no es volátil. Muchos tipos de compuestos orgánicos son volátiles, y se pierden fácilmente a la atmósfera desde los humedales y de otras aguas superficiales. Aunque la volatilización puede remover con eficacia ciertos contaminantes del agua, puede demostrar ser indeseable en algunos casos, debido al potencial para contaminar el aire con los mismos contaminantes. **(Benefield y Randall, 1980).**

b. Tipos de humedales

La mayoría de humedales naturales son sistemas de flujo libre superficial en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera. Un humedal artificial de flujo bajo la superficie está diseñado específicamente para el tratamiento de algún tipo de agua residual, o su fase final de tratamiento, ya que se puede obtener un aumento en la eficiencia sobre humedales construidos con flujo superficial, además de estar lejos del contacto humano, tener disminución de olores desagradables, y disminución en la proliferación de mosquitos **(Setty, 2007).**

- **Sistema de agua superficial libre (SASL).** Estos sistemas consisten típicamente de estanques o canales, con alguna clase de barrera subterránea para prevenir la filtración, suelo u otro medio conveniente a fin de soportar la vegetación emergente, y agua en una profundidad relativamente baja (0,1 a 0,6 m) que atraviesa la unidad.

La profundidad baja del agua, la velocidad baja del flujo, y la presencia de tallos de planta y basura regulan el flujo del agua. Se aplica agua residual pretratada para estos sistemas, y el tratamiento ocurre cuando el flujo de agua atraviesa lentamente el tallo y la raíz de la vegetación emergente (ver figura 05).

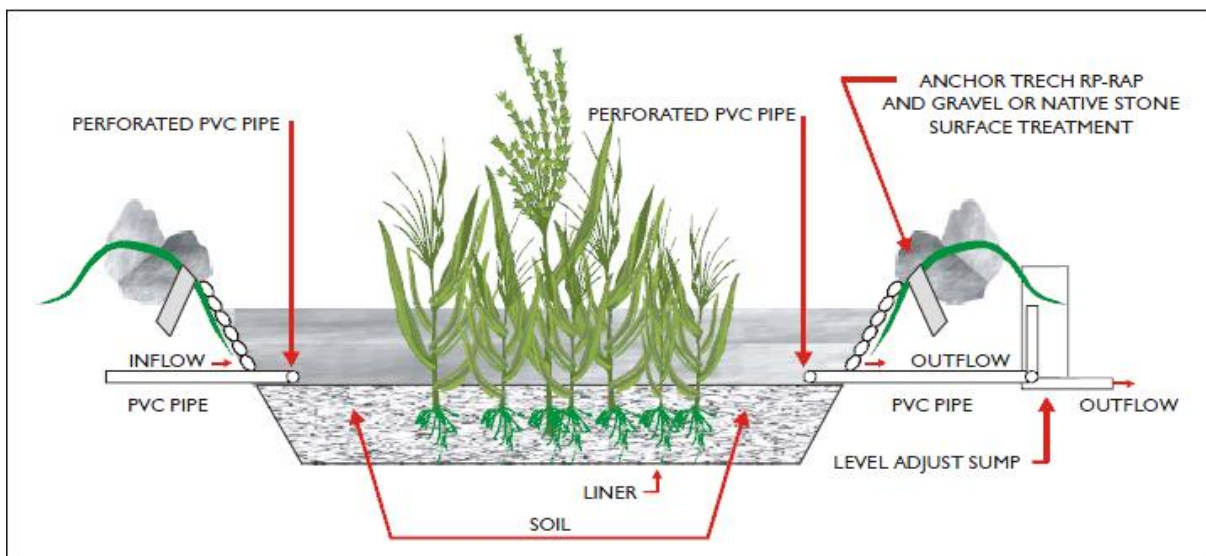


Figura 05. Sistema de agua superficial libre (SASL).

- **Sistemas de flujo bajo la superficie (SFBS).** Estos sistemas son similares a los filtros horizontales por goteo en las plantas de tratamiento convencionales. Se caracterizan por el crecimiento de plantas emergentes usando el suelo, grava o piedras como sustrato de crecimiento en el lecho del canal. Dentro del lecho los microbios facultativos atacan al medio y las raíces de las plantas, contactando de este modo el agua residual que fluye horizontalmente a través del lecho; mientras que el sobrante baja a la superficie del medio (**Kadlec et al., 1993**). Estos sistemas de flujo bajo superficie son diseñados con el propósito de obtener niveles de tratamiento

secundarios, son llamados «la zona de raíces» o «filtros de piedras de junco y caña» desarrollado en Alemania Oriental (ver Figura 06).

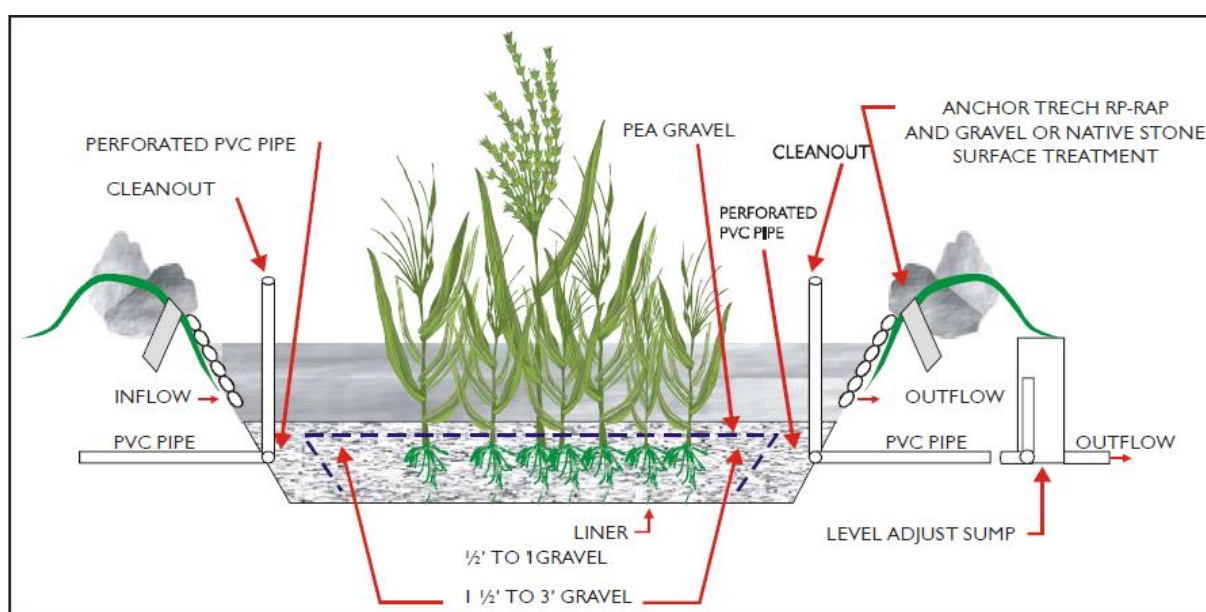
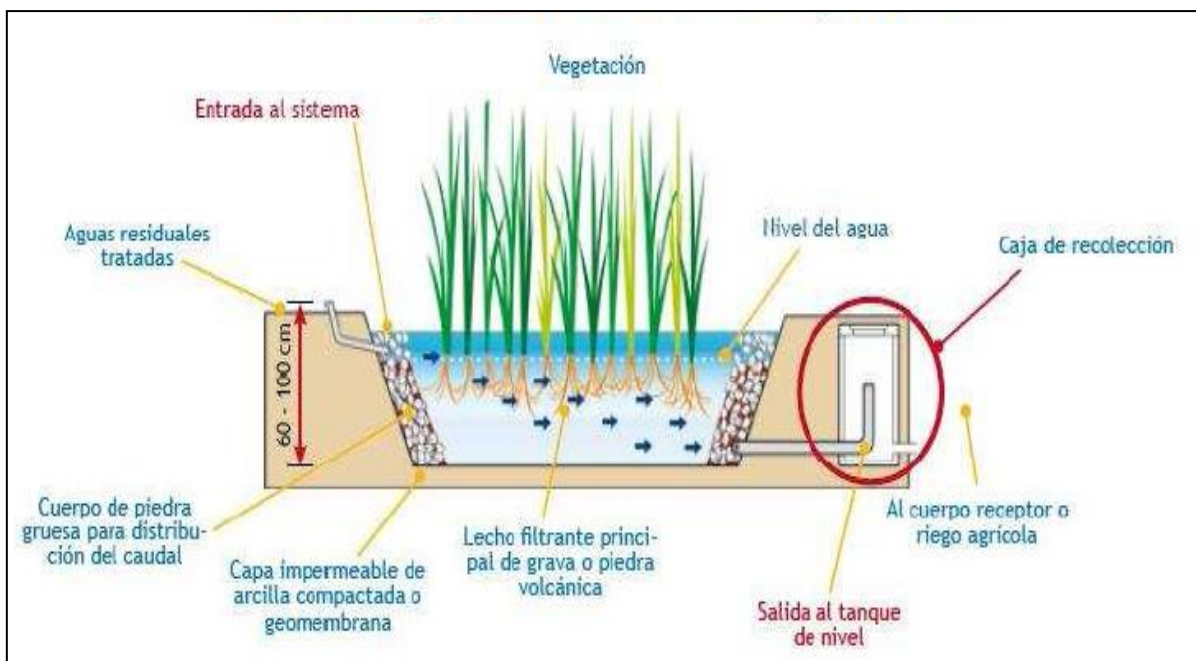


Figura 06. Sistemas de flujo bajo la superficie (SFBS).

- **Plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales.** Los sistemas de plantas acuáticas están en los estanques poco profundos como plantas acuáticas flotantes o sumergidas. Los sistemas más completamente estudiados son aquellos que usan la lenteja de agua. Estos sistemas

incluyen dos tipos basado en tipos de plantas dominantes. El primer tipo usa plantas flotantes y se distingue por la habilidad de estas plantas para derivar el dióxido carbono y las necesidades de oxígeno de la atmósfera directamente. Las plantas reciben sus nutrientes minerales desde el agua. El segundo tipo de sistema consiste en plantas sumergidas, se distingue por la habilidad de estas plantas para absorber oxígeno, dióxido de carbono, y minerales de la columna de agua. Las plantas sumergidas se inhiben fácilmente por la turbiedad alta en el agua porque sus partes fotosintéticas están debajo del agua.

Cuadro 09. Funciones de las plantas en sistemas de tratamiento acuático.

| | |
|--|---|
| Raíces y/o tallos en la columna de agua. | 1. Superficies sobre la cual la bacteria crece. |
| Tallos y/o hojas sobre | 2. Medio de filtración y adsorción de sólidos. 1. Atenúan la luz del sol y así previenen el crecimiento de algas. 2. Reducen los efectos del viento en el agua. Es decir, transferencia de gases entre la atmósfera y el agua. 3. Importante en la transferencia de gases para y desde las partes sumergidas de la planta. |

c. Descripción del proceso de depuración de aguas en un humedal subsuperficial

El agua fluye por la grava de soporte de las plantas del humedal, la eliminación de contaminante ocurre por procesos físicos (sedimentación y filtración), procesos químicos (la precipitación y adsorción), y procesos biológicos (metabolismo bacteriano) (**Setty, 2007**).

- **Papel de la vegetación y del sedimento.** Un humedal con flujo subsuperficial, puede considerarse como un reactor biológico tipo “proceso biopelícula sumergida”. El agua ingresa por uno de los extremos, y se reparte, atravesando la zona de grava sembrada. En el otro extremo, el agua es recogida en el fondo. El nivel máximo se regula de manera que no aflore la lámina de agua y se mantenga unos centímetros por debajo de la grava, haciendo visitable el humedal e impidiendo la proliferación de moscas y mosquitos **(Lahora, 2005)**.

Un tipo especial de macrófitas son los helófitos, plantas capaces de arraigar en suelos anegados o encharcados, con una parte sumergida y otra área emergente. Los helófitos más usados en depuración son aneas (*Typha*), carrizos (*Phragmites*), juncos (*Juncus*), Scirpus, Carex, etc. **(Lahora, 2005)**.

Los helófitos son capaces de transportar oxígeno desde los tallos y hojas hacia sus raíces y rizomas, pero en los humedales de flujo subsuperficial la cantidad de oxígeno aportada es muy pequeña en comparación con la demanda de las aguas residuales, por lo que los procesos de eliminación de materia orgánica son básicamente anaerobios, no ocurriendo, por tanto nitrificación-desnitrificación. Hasta hoy se creía que gran parte del poder depurador de los humedales se debía a los helófitos, sin embargo, recientes estudios que comparan con el rendimiento de humedales plantados y no plantados, parecen indicar que se ha sobreestimado la capacidad de transporte de oxígeno de los helófitos hacia las zonas sumergidas **(Lahora, 2005)**.

Otros estudios, realizados en condiciones de laboratorio, indican que el oxígeno transportado por los helófitos puede ser utilizado por los microorganismos que crecen sobre ellos en forma de biopelícula. En las capas de esta biopelícula más próximas a los rizomas se dan procesos aerobios, mientras que en las más alejadas, al no difundir el oxígeno, los procesos serían anaerobios, esta situación si permitiría el proceso de nitrificación-desnitrificación **(Lahora, 2005)**.

Los helófitos tienen un efecto termorregulador sobre el sistema, aminorando la insolación en verano y actuando como aislantes en invierno, con un efecto positivo sobre los procesos biológicos (**Lahora, 2005**).

El sedimento orgánico es un elemento fundamental en el proceso de depuración por humedales, ya que sirve de sustrato para el crecimiento de multitud de microorganismos, incluyendo los responsables de la nitrificación y desnitrificación; presenta, además, una elevada capacidad de cambio. Así mismo, juega un papel fundamental en la dinámica del fósforo, cuyo principal mecanismo de eliminación es, junto con la asimilación por los seres vivos, su adsorción a las arcillas y la precipitación y formación de complejos con Al, Fe y Ca, presentes en los sedimentos (**Lahora, 2005**).

- **Eliminación de DBO₅**. La eliminación de la DBO₅ particulada ocurre rápidamente por sedimentación y filtración de partículas de los espacios entre la grava y las raíces. La DBO₅ soluble es eliminada por los microorganismos que crecen en la superficie de la grava, raíces y rizomas de las plantas. La degradación de la materia orgánica es aerobia en micrositos de la superficie de las raíces de las plantas, pero en el resto del lecho sumergido ocurre por vías anaerobias: fermentación y sulfato reducción. Estos procesos son muy dependientes de la temperatura, por lo que se observan variaciones estacionales en la DBO₅ del efluente. Se puede obtener una DBO₅ por debajo de 25 mg O₂/L, aunque no es posible bajar de una DBO₅ de 7 – 10 mg O₂/L, que parece proceder de residuos orgánicos del propio sistema, y no del agua residual original (**Lahora, 2005**).

Estudios realizados por la EPA (**U.S. Environmental Protection Agency, 2000**), indican que la DBO₅ es eliminada rápidamente a la entrada del humedal, siendo suficiente un tiempo de retención de aproximadamente 2 días. Este aspecto es decisivo para el diseño del humedal, en particular para la relación longitud – ancho, generalmente se recomienda 10:1, sin embargo, no se ha encontrado ninguna relación entre el aspecto del humedal y su capacidad de eliminación de DBO₅ ya que humedales con relaciones de 2:1 hasta 17:1, tenían el mismo rendimiento en % de DBO₅ eliminada.

En humedales de flujo subsuperficial, la carga superficial (kg/ha/día) debe ser manejada con prudencia, ya que la carga afluyente es reducida rápidamente a la entrada del humedal y no puede ser repartida uniformemente en toda la superficie, al contrario de lo que sucede en otro tipo de sistemas (**Lahora, 2005**).

- **Eliminación de sólidos en suspensión.** Los sólidos en suspensión son eliminados de una manera muy efectiva en los humedales, ocurriendo en los primeros 5 m de distancia desde la entrada y consiguiendo siempre valores de salida inferiores a 20 mg/L.

Una parte de los sólidos en suspensión están formados por materia orgánica, algas o microorganismos, que son degradados hasta productos gaseosos, por lo que los procesos de colmatación de los humedales suelen ser largos.

Como en el caso de la DBO_5 el rendimiento es independiente del tiempo de retención, siendo suficiente 1 día para alcanzar el máximo rendimiento, que es también independiente de la relación de aspecto.

- **Eliminación de nitrógeno.** El nitrógeno afluyente a los humedales se encuentra básicamente como nitrógeno orgánico o amoniacal, con escasas cantidades de nitratos. Los procesos de descomposición y mineralización convierten este nitrógeno en amonio.

Por lo general los procesos en el interior del humedal son anaerobios, ya que no existe suficiente oxígeno para la nitrificación y posterior desnitrificación, por lo que no existen reducciones importantes de nitrógeno en los humedales de flujo subsuperficial.

La desnitrificación puede estar también limitada por la falta de una fuente de carbono para el proceso, ya que por 1 g de N son necesarios aprox. 3 g de DBO_5 (**Lahora, 2005**). En el caso de las aguas residuales del camal, éste no es un problema ya que son ricas en materia orgánica, es decir son una buena fuente de carbono necesaria para la desnitrificación.

La cosecha frecuente de la vegetación incrementa el rendimiento en eliminación de N, sin embargo, esta operación aumenta los costos de mantenimiento.

- **Eliminación de fósforo.** La cantidad de P en el efluente es prácticamente igual que en afluente, en la mayoría de los casos. La cantidad de P asimilado por la vegetación o fijada al sedimento es pequeña en relación a la aportada por el agua residual. Por tanto, los humedales no son un método muy efectivo para la eliminación de P, lo que no es un problema para el caso de las aguas residuales del camal ya que no son ricas en este elemento (Lahora, 2005).

2.6.2. Tecnologías de tratamiento de emisiones atmosféricas

1) Control de la contaminación atmosférica

La emisión de malos olores se evita mediante la aplicación de una serie de medidas de manejo de residuos sólidos y mejoramientos del proceso productivos. El tratamiento final o dilución del aire de ventilación puede ser necesario, recomendándose los siguientes métodos:

- **Lavadores de gases:** Estos lavadores consisten en una torre rellena, en la cual el líquido de lavado fluye hacia abajo y el aire contaminado asciende, siendo absorbido en éste. El líquido puede ser reciclado y finalmente tiene que ser tratado como un efluente líquido.
- **Filtro de compósitos:** En los filtros de compósitos o biofiltros, los compuestos que dan olor son biodegradados aeróbicamente. Estos compuestos son transferidos al agua en el material del compósito y en seguida, son biodegradados por microorganismos en el agua.

Otros tratamientos para eliminar los olores son la incineración en calderas, adsorción en carbón activado y adsorción en filtros de arcillas.

2.6.3. Tecnologías de tratamiento para residuos sólidos

1) Control de la contaminación por residuos sólidos

En el proceso de la faena en el camal, prácticamente todos los residuos sólidos generados son recuperables.

Sin embargo, los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de sus residuos líquidos y el estiércol generado en los corrales requieren de un tratamiento y/o una disposición final adecuada.

El exceso de lodos resultante del tratamiento a los efluentes puede ser tratado (mezclado y dispuesto) junto con el estiércol de los corrales. Sin embargo, lo más recomendable es deshidratarlo mediante un filtro de prensa y disponerlo como un mejorador de suelos.

Respecto del estiércol, la aplicación directa como mejorador de suelos, es el método preferido de utilización. Cuando esto no es posible, entre otros motivos, por la generación de estiércol en exceso, lejanía de los terrenos a tratar, olores, etc., lo más recomendable es realizar un proceso de tratamiento **(CNMA, 1998)**.

Los tratamientos del estiércol pueden ser físicos, químicos y biológicos:

- **Físicos:** Este tratamiento comprende las etapas de sedimentación del estiércol, centrifugación, filtrado, secado posterior y finalmente la incineración.
- **Químico:** Los productos químicos como el cloruro férrico, cal y polímeros orgánicos aumentan la eficiencia de sedimentación y la filtración. Adicionalmente, el ajuste de pH mediante cal elimina los microorganismos y disminuye los olores. Sin embargo, la aplicación de cal elimina bruscamente el amoníaco del estiércol, debiendo realizarse en lugares bien ventilados.
- **Biológicos:** Estos tratamientos incluyen lagunas anaeróbicas, digestores anaeróbicos, lagunas aeróbicas y compositos. Lo más recomendable en este tipo de tratamiento es utilizar las lagunas anaeróbicas y los digestores.

2) Compostaje

a. Concepto

“El compost, es el producto que se obtiene del proceso de compostaje, y constituye un grado medio de descomposición de la materia orgánica, que ya es en sí un buen abono” **(Gómez, 2006)**.

El compost, es obtenido de manera natural por descomposición aeróbica de residuos orgánicos, por medio de la reproducción masiva de bacterias aerobias termófilas que están presentes en forma natural en cualquier lugar (posteriormente, la fermentación la continúan otras especies de bacterias, hongos y actinomicetos). Normalmente, se trata de evitar la putrefacción de los residuos orgánicos por exceso de agua, que impide la aireación – oxigenación y crea condiciones biológicas anaeróbicas malolientes **(Gómez, 2006)**.

b. Propiedades del compost

- Mejora de las propiedades físicas del suelo. La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua.
- Mejora de las propiedades químicas del suelo. Aumenta el contenido en macronutrientes N, P, K y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico, es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos.
- Mejora la actividad biológica del suelo. Actúa como soporte y alimento de los microorganismos, los que contribuyen a su mineralización.

c. Descripción del proceso

El compostaje, es un proceso dinámico, biológico, aerobio y en consecuencia termófilo, que para desarrollarse necesita: materia orgánica, población microbiana inicial y condiciones óptimas para que ésta se adapte a multiplicidad de funciones y actividades sinérgicas del proceso de compostaje. En la figura siguiente se presenta un esquema simplificado del proceso de compostaje **(Moreno, 2008)**.

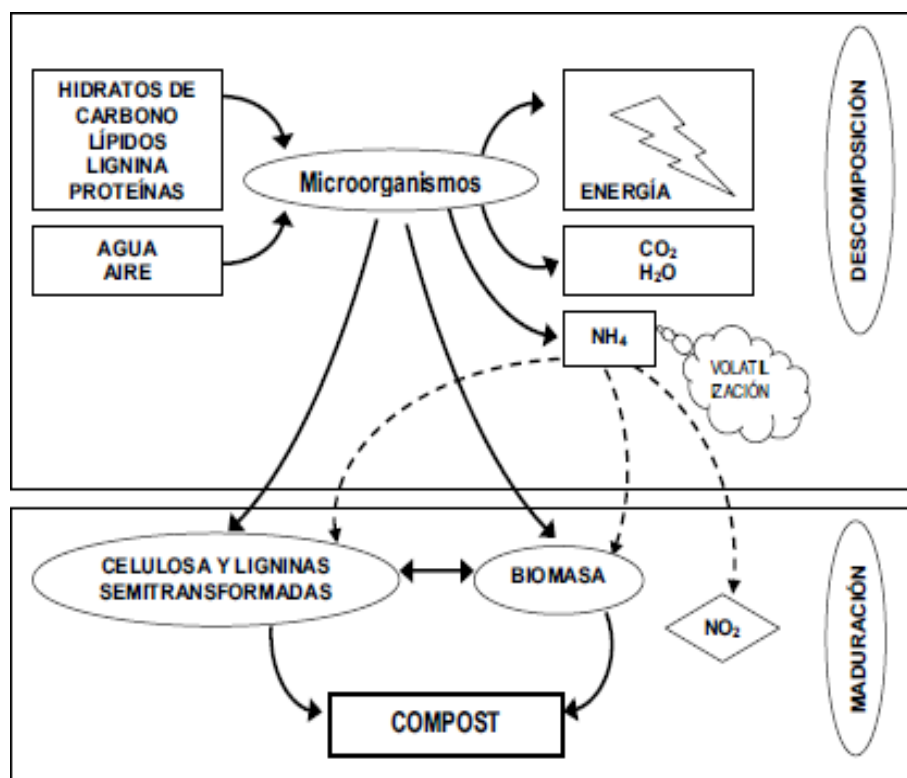


Figura 07. Esquema del proceso de compostaje.

Fuente: Moreno, 2008.

Los residuos del matadero deberán acumularse en pilas alternando capas de contenido gástrico/ruminal y heces con capas de grasa, alcanzando una altura de hasta 1.5 m, como se muestra en la siguiente figura. La composta puede colocarse directamente sobre el suelo y se recomienda poner una capa de asiento de paja, pasto, ramas, etc., para proporcionar una adecuada ventilación. Los pedazos de órganos deben de ser menores a 8 cm. Para alcanzar mejores resultados se recomienda mezclar éstos pedazos con tierra y colocarlos al centro de la pila en donde la temperatura es mayor. Las temperaturas altas dentro de la composta ayudan a mantener fuera a ratas, perros y otros vectores. El contenido gástrico/ruminal provee humedad suficiente para que comience la actividad bacteriana, por lo que no se requiere agua al inicio (**Moreno, 2008**).



Figura 08. Pilas de residuos.

Fuente: Moreno, 2008.

Se necesita aireación y humedad adecuada desde el inicio hasta el final para alcanzar condiciones óptimas de las bacterias. Conforme transcurre el tiempo la pila de composta reducirá su tamaño debido al encogimiento de la materia descompuesta. También es necesario revolver la composta para obtener un material uniforme. Se aconseja hacer el primer volteo en la semana 3 y posteriormente cada semana. El tiempo total requerido depende de factores como el tipo de materiales, el tamaño de la pila, la temperatura ambiente, etc. **(Moreno, 2008).**

d. Fases

- **Pre tratamiento:** Luego de la recolección de los residuos sólidos (RS) del camal, no será necesaria una pre calificación, debido a la uniformidad de estos residuos, pues no existe el riesgo de encontrar material inorgánico mezclado, que mermaría la calidad del producto final, sin embargo, se deben desmenuzar los trozos más grandes que podrían detener el proceso de biodegradación **(Silva, 2004).**

El desmenuzamiento de los desechos incrementa la superficie específica y, en consecuencia, la capacidad de retener aire y agua para facilitar el proceso de biodegradación realizado por los microorganismos. La rapidez de formación del compost es inversamente proporcional al tamaño de los materiales. La herramienta a utilizarse para desmenuzar los residuos puede ser un hacha **(Silva, 2004).**

- **Mezcla:** Es importante que la relación C/N (carbono/nitrógeno) esté equilibrada, ya que una relación elevada retrasa la velocidad de humificación y un exceso de nitrógeno ocasiona fermentaciones no deseables. La tasa adecuada C/N no debe pasar 35:1 o ser menor de 15:1. Se recomienda una tasa C/N de 30:1 (**Silva, 2004**).

Debido a que los residuos de matadero son pobres en C y ricos en N, resulta del todo imprescindible mezclarlos con materiales ricos en C, éstos pueden ser hojas y ramas que se los puede obtener de la poda y limpieza del mismo terreno del camal. Este material de mezcla se denomina normalmente “material de soporte” (**Silva, 2004**).

Una vez homogenizada la mezcla, el material se colocará en pilas triangulares. El tamaño de las pilas es muy importante para el proceso de compostaje. No debe superar un máximo, y tampoco debe quedarse bajo un volumen mínimo. Para asegurar la proliferación de los microorganismos que realizan el compostaje, se necesita una “masa crítica” mínima de 50 – 100 kg del material a compostar. Se formarán filas con los montones de basura; una fila correspondiente al material de una semana (**Silva, 2004**). El sistema se muestra en la figura siguiente.

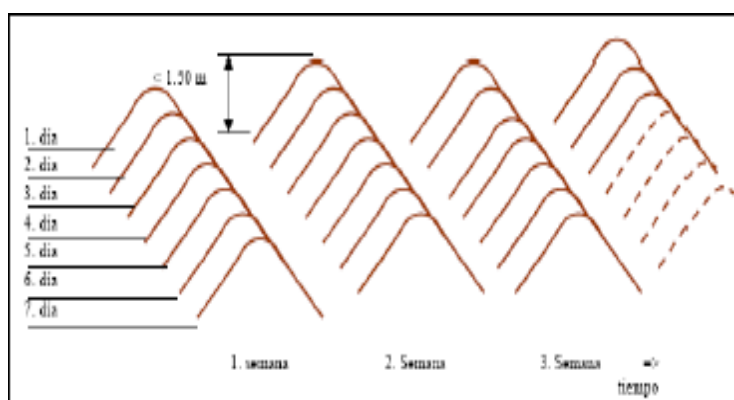


Figura 09. Compostaje en pilas.

Fuente: Silva, 2004.

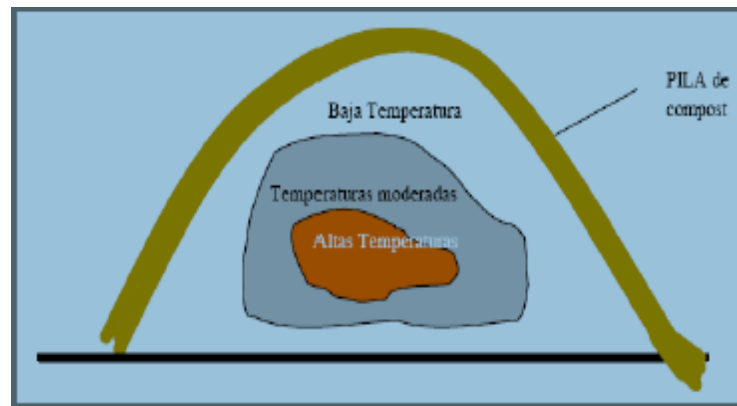


Figura 10. Perfil de temperatura en una pila de compost.

Fuente: Silva, 2004.

- **Pre fermentación:** Es la primera fase del proceso de compostaje, que comienza bajo el impacto de bacterias mesófilas. En esta fase, la temperatura del material aumenta rápidamente y el proceso de biodegradación empieza. La temperatura puede subir hasta 75 °C. Esto es equivalente al grado 1 de madurez. La pre fermentación se realiza durante los primeros días del compostaje (**Röben, 2002**).
- **Fermentación principal:** La temperatura sigue manteniéndose en un nivel relativamente alto por causa del calor producido por la actividad microbiológica. En esta fase, la biodegradación se realiza por bacterias termófilas (grado 2 – 3 de madurez). La fase principal del compostaje puede durar entre 4 y 8 semanas en plantas manuales como la propuesta. La velocidad del proceso de compostaje alcanza a su nivel más alto durante las dos primeras fases. Paralelamente, las emisiones y la necesidad de aireación y humedecimiento también se encuentran sobre su nivel más alto. Por esta causa, el control del proceso es especialmente importante durante este tiempo. En pequeñas plantas sin mecanización, es recomendable cubrir el material con pasto o material similar para impedir emisiones (**Röben, 2002**).
- **Maduración e higienización:** Es la última fase del proceso de compostaje. El proceso de biodegradación se desarrolla más despacio y las emisiones también disminuyen. En general, no existe la necesidad de aireación o

humedecimiento en esta fase. Sin embargo, es ventajoso continuar la mezcla/revuelta y el movimiento del material para obtener un producto homogéneo e higiénico. Al fin de la última fase, el compost tiene el grado 4 o 5 de madurez. Aproximadamente 50 % del material original se pierde durante la fermentación por causa de la evaporación y digestión microbiológica (**Röben, 2002**).

- **Condicionamiento del producto:** En el caso del compost del camal no será necesaria la separación de materiales foráneos (plástico, vidrio, metal) debido a que los residuos procesados provienen directo de la fuente y no están mezclados con otro tipo de desechos. Sin embargo, con la ayuda de un tamiz, es necesario separar la fracción gruesa, es decir aquel material que no ha sido degradado totalmente, el cual se destinará como material de soporte conjuntamente con la fracción vegetal.

El compost puede utilizarse cuando el material presenta color oscuro; en este momento ya no se distinguen los materiales inicialmente utilizados. El compost tiene un olor a tierra húmeda, suave textura, humedad y temperatura estables (**Silva, 2004**).

La duración total del proceso será de 6 meses. Después de este periodo, el compost será maduro y no contendrá ingredientes fitotóxicos, bacterias patógenas y otros materiales nocivos. Si se cosecha el compost antes del periodo de 6 meses, no se puede garantizar que el producto esté totalmente higienizado.

Es importante considerar todos los aspectos del proceso, para lograr una alta eficiencia del mismo, evitando consecuencias negativas como malos olores, pérdidas de nitrógeno, producción de lixiviados y otros (**Gómez, 2006**).

2.7. Seguridad y salud ocupacional

Los problemas más importantes de salud y seguridad ocupacional, tanto en la industria de la carne como en la industria de subproductos se detallan a continuación:

- Problemas musculares y óseos, por levantamiento de materiales pesados, como animales muertos.
- Infecciones en la piel de tipo bacteriano, que penetran por rasguños o heridas expuestas.
- Otro tipo de infecciones, causadas por contacto con animales, estiércol o carne. Son relativamente escasas, pero serias; por ejemplo, brucelosis, antrax y tuberculosis.
- Sordera, por exposición excesiva a ruidos de máquinas (sierras), animales y sistemas de ventilación.
- Agotamiento físico, producido por exposición excesiva a temperaturas, humedad y olores desagradables, las cuales pueden causar incomfortabilidad, sudación, temblor, calambres, etc.

Las medidas para mejorar la salud ocupacional y las condiciones de trabajo son las siguientes:

- Entrenamiento y capacitación a los trabajadores.
- Mecanización del trabajo manual pesado.
- Inmunización periódica de los trabajadores.
- Traslado a aquellos trabajadores que presentan problemas a la piel o alergias.
- Evitar contacto con sustancias biológicas, cuando la piel de un trabajador está dañada.
- Distribución de ropa de protección (guantes, máscaras, botas), tapones para los oídos, etc.
- Limpieza, desinfección y esterilización del material y equipos.
- Facilidad para mantener una buena higiene y lavado de los trabajadores.
- Reducción del nivel de ruidos.
- Adaptación de la jornada de trabajo.

Los accidentes son similares en cantidad a los de otras industrias alimentarias, pero muy serios. La mayoría ocurren en la abertura del animal. Estos son principalmente cortes con cuchillos (**CNMA, 1998**).

2.8. Diagnóstico de la situación actual del camal de ahuashiyacu.

La Problemática de los camales o mataderos no se circunscribe netamente al área ambiental, la misma va desde una inadecuada ubicación del local hasta una incorrecta metodología de faneamiento, lo cual puede generar efectos nocivos en la salud de la población, cuyos efectos puede ser directos o indirectos; siendo los directos, aquellos que influyen directamente por el consumo de carnes contaminadas, y lo indirectos los que impactan en la población a través del medio ambiente, en el caso de los residuos sólidos y líquidos. Dentro de este contexto el camal de ahuashiyacu ha hido mejorando a la fecha, el manejo de dichos residuos; ya que, en la actualidad ya no cuenta con lagunas de oxidación, sino, cuenta con proceso de tratamiento de aguas residuales en donde hace el uso de un Biodigestor y de un tanque séptico cerrado, evitando de esta forma la emanación de malos olores al medio ambiente, teniendo en cuenta también, que a la fecha todavía no mantiene registros de los efluentes generados ni de los residuos sólidos, donde se indique el caudal del efluente, tratamiento aplicado, análisis de laboratorio y disposición final; además, de no llevar un control del consumo de agua ya que dicho elemento que consumen para los diversos procesos, es extraído del sub suelo, de una profundidad de 25m.

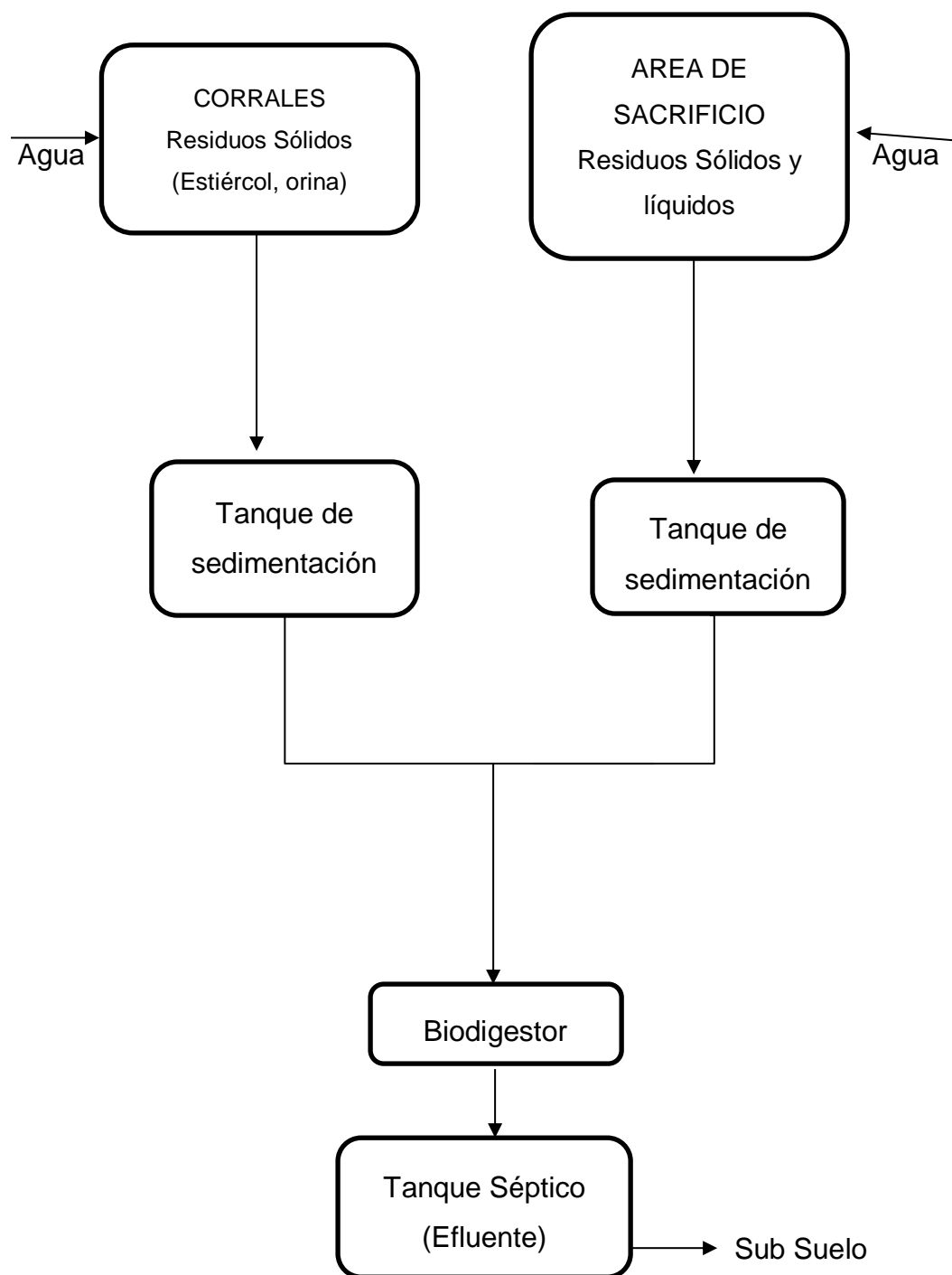


Figura 11. Diagrama de Flujo Tratamiento de Efluente del camal de ahwashiyacu

Fuente. Elaboración Propia

III. METODOLOGIA Y PROCEDIMIENTO.

Las actividades desarrolladas para la realización del presente estudio, fueron las siguientes:

- Recolección de la información primaria “in situ” y análisis de los documentos existentes.
- Recolección de información secundaria: legislación ambiental aplicable y vigente, bibliografía e indicadores referenciales.
- Entrevista con el personal técnico, administrativo y operativo.
- Visitas in situ de las áreas administrativas y de producción.
- Revisión de diagramas de flujo, reporte de análisis, planos, etc.
- Verificación del cumplimiento de la normativa ambiental vigente.
- Sistematización de la información.
- Elaboración del informe final.

La primera parte de la investigación bibliográfica, está basado en aspectos de información básica sobre gestión ambiental y su vinculación con los estándares *ISO 14000*, gestión ambiental de residuos.

En la segunda parte, se analizó, las características de los residuos y los impactos ambientales que se dan en el beneficio de animales (ganado vacuno y porcino), la normativa vigente que toma como referencia.

Finalmente, se analizó los diversos métodos para el control de la contaminación, presentando tratamientos para efluentes líquidos como para residuos sólidos.

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LA INFORMACIÓN

El impacto que causan a las aguas superficiales la descarga de las aguas residuales de los mataderos sin tratar, es destructivo; debido a la alta concentración de contaminantes orgánicos que presentan estos efluentes, al respecto **Castañeda et al., 2007**, nos indica que cada litro de agua residual proveniente de un matadero equivale a la contaminación aportada por 60 personas. Muñoz, 2005, nos menciona que los principales contaminantes de las aguas residuales de los rastros y mataderos o camales se originan de las heces, orina, sangre, pelusa, residuos de la carne y grasas, alimentos no digeridos por los intestinos, las tripas de los animales sacrificados; puesto que todos éstos residuos actúan negativamente; acabando con el oxígeno disuelto, aumentando notablemente la turbidez y además favoreciendo la excesiva carga de materia orgánica provocando un crecimiento acelerado de algas y otras plantas verdes. La alta cantidad de materia orgánica que generan estos desechos en los cuerpos de agua, tiene como consecuencia que la fauna de éstos muere y los ríos se convierten en cloacas abiertas: definitivamente esto degrada el medio ambiente. Es por eso que actualmente se considera a este sector de la agroindustria uno de los más nocivos al medio ambiente. Ríos cercanos a la planta de matanza y campos baldíos son lugares predilectos para depositar estos desechos, esto atrae inevitablemente la presencia de vectores de enfermedades (ratas, zancudos, perros, moscas, etc.) y se convierten en focos de infección.

Es una práctica que atenta contra la salud humana y degrada el medio ambiente, al respecto **Estrucplan, 2003**, menciona que muchas veces, la sangre, vísceras no comestibles y contenidos ruminales e intestinales son desechado directamente en los ríos o dejados incluso al aire libre para que perros y aves de carroña degraden estos desechos; en el camal de Ahuashiyacu, los residuos intestinales, los cuernos, grasas son desechados al aire libre en un lugar destinado para este fin.

Teniendo en cuenta el tema del proceso productivo cuyos factores principales en el origen de los desperdicios y emisiones son: el personal, el manejo de materias primas y productos, tecnologías y procedimientos usados; sobre la base de estos factores, existen numerosas opciones que pueden ser agrupadas de distinta forma y

que apuntan hacia la producción más limpia y por lo tanto la reducción de desperdicios. Las buenas prácticas en el proceso productivo se basan en la puesta en marcha de una serie de procedimientos destinados a mejorar y optimizar éstos procesos y a promover la participación del personal. Las buenas prácticas operativas son un conjunto ordenado de propuestas eco eficientes que no representan un gran esfuerzo para la empresa, sencillas y de pequeñas inversiones, y que se puedan llevar a cabo en la empresa para reducir su impacto ambiental; estas actividades se dan con el objetivo de eliminar desperdicios o uso excesivo de insumos y tiempo, minimizando los residuos. **Guerrero y Ramírez, 2004**, mencionan que con la implementación de medidas de manejo preventivo en el vertido de residuos orgánicos como sangre y rumen se logran remociones iniciales de alrededor del 85% en promedio para los parámetros DBO₅, 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.

La recuperación y separación de los residuos de manera integral en el camal es esencial. En primer lugar, para valorarlos como un subproducto y poderlos utilizar en otras actividades, como la elaboración de harinas y alimentos, compostaje o incluso, generación de energía. Posteriormente, al separar los residuos, se facilita el tratamiento de las aguas residuales, para cumplir con la legislación ambiental vigente y con ello evitar la contaminación de cuerpos hídricos y la afectación a sus potenciales usos. La limpieza inicial en seco de los corrales pueden reducir las cargas de aguas negras. Algunas plantas utilizan parte de la sangre para incorporarla a su harina de carne y venden o regalan la restante. Esto reducirá sustancialmente la demanda de oxígeno y colorantes de las aguas residuales descargadas en el alcantarillado. Una eliminación por separado del estiércol de las tripas reduce la cantidad de sólidos sedimentables en las aguas residuales que entran en las alcantarillas **(Muñoz, 2005)**.

Existen numerosos tratamientos para reducir el volumen y/o toxicidad de los desechos, los efluentes y las emisiones relacionados con la producción de carne de vacuno, pudiendo mencionar al: Tratamiento físico o primario; como se mencionó anteriormente, muchos de estos subproductos pueden ser utilizados para la elaboración de harinas para alimentación animal, generación de energía alternativa, elaboración de fertilizantes, etc. La sangre debe ser recolectada y degradada. Sin

embargo, aún hay gran cantidad de sólidos (carne, piel y otros) que se producen en el proceso de la faena. Estos deben de ser separados físicamente con rejillas o tamices antes de proceder al lavado de las instalaciones. La diferencia entre estos conceptos y otras prácticas ambientales como control de la contaminación al “final del tubo” es el enfoque de “anticipar y prevenir” versus “reaccionar y tratar”. Tratamiento secundario o biológico; este método es muy barato para la descontaminación de las aguas, este segundo paso bien puede ser en lagunas de oxidación de aguas servidas. Teniendo un tiempo de retención prudente, esto con el objetivo de darle el periodo necesario para que las aguas sean depuradas. Cuando termine el proceso de descontaminación, ésta puede ser vertida. Estos sistemas de descontaminación productiva de aguas servidas son mucho más económicos que una planta depuradora de aguas. Para este tipo de sistemas se requiere un área bastante grande para establecer los estanques de oxidación o donde se realizará el tratamiento biológico. La relación DQO/DBO determina la biodegradabilidad de las aguas residuales, si la relación DQO/DBO es < 2 , las aguas son fácilmente biodegradables pudiendo emplearse sistemas de lodos activos o de lechos bacterianos o cualquier otro tratamiento, mientras que si la DQO/DBO es > 4 , el agua es poco biodegradable, y no se recomiendan los tratamientos biológicos.

La mayoría de daños o efectos pueden ser minimizados o evitados inclusive. Sin embargo, el alto costo de la depuración de los desechos y los dispositivos e instalaciones que minimizan estos efectos son sumamente costosos. **Spoerl, 2003**, nos presenta un ejemplo, la empresa colombiana Carnes y Derivados de Occidente, que beneficia cerca de 350 reses y 250 cerdos diarios posee una planta depuradora de aguas que costó 385 mil dólares. En ese contexto, la tecnología de digestión anaeróbica se muestra como una herramienta importante para una gestión sustentable del flujo de residuos pecuarios. Al mismo tiempo que proporciona una reducción y una estabilización de la carga orgánica, permite la valoración energética de los residuos mediante la generación y conversión de un combustible gaseoso (biogás).

Las nuevas tendencias comprenden sistemas regenerativos, lodos activados, instalaciones biológicas con digestión, instalaciones biológicas convencionales, procesos naturales y eliminación de lodos. En las más recientes investigaciones, se tiene el tratamiento de aguas residuales para mataderos mediante reactores anaeróbicos de lecho empacado, tratamiento de aguas residuales de frigorífico mediante ensayos de flotación con aire a presión, eliminación biológica de carbono y nitrógeno en aguas residuales de matadero mediante bioreactores UASB, EGSB y fangos activos, tratamiento anaerobio de efluentes con alto contenido de material particulado lignocelulósico (efluente de matadero) y comportamiento de una descarga de agua residual de matadero mediante el tratamiento anaeróbico UASB_ filtro anaeróbico. Es una tecnología que por sus especificaciones técnicas y por sus elevados costos de inversión, tiene una utilización generalmente limitada a proyectos de media/grande dimensión.

Con los elementos de referencia anteriores, y teniendo en cuenta que los sistemas combinados anaerobios y aerobios son los ideales, se justifica y recomienda para el tratamiento de las aguas residuales del matadero de una población pequeña desde el punto de vista técnico: tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario.

V. PROPUESTA DE APLICACIÓN Y/O MEJORA

5.1. Gestión de residuos en el camal de Ahuashiyacu

Para mejorar la parte de gestión de residuos en el camal de Ahuashiyacu, se debe proporcionar un desarrollo sostenible y sustentable a través del fortalecimiento de las capacidades técnicas al personal del camal, para lo cual se debe, implementar y tener mecanismos permanentes de intercambio de información, armonizar criterios técnicos y desarrollo de directrices claras para cada una de las etapas de la gestión integral de residuos.

Para gestionar de manera adecuada los residuos en el camal, se tiene que tener en cuenta La Constitución política del Perú; Ley general del ambiente; *Ley general de salud*; *Ley general de residuos*; además de la Ley de Recursos Hídricos; el *Decreto Supremo 003-2010-MINAM*, donde indican los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales y *la Ley del Sistema Nacional de Evaluación el Impacto Ambiental*, sobre la conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad, que no están incluidas en su plan de manejo de residuos del camal de Ahuashiyacu.

Para lograr lo mencionado anteriormente, se debe de establecer un sistema de Monitoreo, control y seguimiento estándar a nivel del matadero que permita medir los impactos ambientales. Esta meta está orientada a lograr una institucionalización del tema, es decir, que las autoridades competentes o la asociación del camal de Ahuashiyacu creen los mecanismos de control y seguimiento, claros, sobre las normas y regulaciones establecidas con el fin de poder medir los impactos generados sobre el ambiente, las acciones y líneas estratégicas implementadas.

Para gestionar de forma adecuada los residuos generados a partir del proceso de faneamiento en el camal de ahuashiyacu, los cuales son arrastrados por el agua de lavado, se debe de hacer el uso de un Biodigestor y tanque séptico cerrado; esto, debido a los malos olores que afectan a la población que a la fecha radican en esta zona, teniendo en cuenta que dicha mezcla posee una gran cantidad de materia orgánica que deben ser separados desde su origen, durante un proceso de tratamiento, en donde se trata de que la materia orgánica se descomponga por

separados en compuesto simples mediante la acción de bacterias anaerobias de tal forma que se obtenga como resultado un componente líquido y otro sólido en forma de lodo. El residuo líquido es aplicado al sub suelo tratando de que todo el compuesto orgánico contenido en él, sea asimilado por el suelo y los vegetales de la zona. Aun así, es conveniente destacar que el sistema representa una solución adecuada y sencilla para que en el corto plazo sea atenuado de alguna forma el gran impacto que provoca en el medio ambiente el lanzamiento de residuos sólidos no tratados.

5.2. Minimizar los efectos nocivos de los residuos del camal

Se debe racionalizar el uso de materias primas y agua, esto fundamental para reducir el uso de la misma en el beneficiado del ganado, siendo esta la estrategia más importante para disminuir la contaminación. En el proceso de la faena, se identificaron problemas como la falta de presión en el chorro de agua, por la falta de boquillas para mejorar la presión, esto con el fin de consumir menos agua en el proceso en el camal de Ahuashiyacu. Esta reducción también debe ser sustancial en la limpieza de corrales, lavado de zonas de aturdimiento, desangrado y en todas las áreas de la planta.

Se deben sustituir sustancias más peligrosas por menos peligrosas, eliminando o reduciendo el uso de sustancias peligrosas en el proceso productivo y esto mejorará la eficiencia de las operaciones, protegeremos la salud pública, fortaleceremos la economía y conservaremos el medio ambiente.

5.3. Tratamiento de las aguas residuales del camal

Las aguas residuales de los mataderos son particularmente adecuadas para el tratamiento anaeróbico. Lo que puede ser tratado en las lagunas artificiales de estabilización que tiene el camal, tal como lo proponen **Suarez, 2010, Brown, 2004, Mara y Pearson, 1998 y Mendonça, 2000.**

También las aguas residuales de los mataderos se podrían tratar en un reactor anaeróbico, por ejemplo, efluentes, conteniendo entre 6908 y 11500 mg/L de total fueron tratadas en el reactor anaeróbico de secuencia en batch (ASBR) operado a 30 °C. El DQO total fue reducido de 90 – 96 %. El DQO soluble fue reducido por encima del 95 %. Los reactores produjeron biogás conteniendo 75 % de metano, y

aproximadamente el 90,5 % del DQO removido fueron transformados a metano (**Massé y Mase, 2000**). Lo que nos indica que el tratamiento anaeróbico es muy eficiente para el tratamiento de los efluentes de los camales.

El agua residual de matadero contribuye a incrementar la cantidad de nitrógeno y fósforo en el efluente, lo que tiene implicaciones serias ya que un tratamiento biológico, no la remueve totalmente y puede llegar a causar eutricación. Por este motivo se busca un tratamiento terciario, que puede llevarse a cabo con hidrófitas acuáticas como una alternativa. Algunas hidrófitas acuáticas, por su capacidad para absorber algunos metales pesados y otros elementos, en medios con alta carga orgánica, permiten purificar en alto grado las aguas contaminadas (**Benda y kouba 1991**). Aunque la vegetación en un humedal es un factor significativo, las plantas (macrófitas) más recomendables son los helófitos. Habría que buscar plantas que se desarrollan de manera natural en esta zona donde se ubica el camal de Ahuashiyacu, puesto que presentaría las condiciones climáticas favorables para su crecimiento. Resultados reportados por Romero et al., 2011, nos muestra que el tratamiento con hidrófitas sirvió para mejorar la calidad del agua.

Cuadro 10. Contenido de nutrientes en agua del efluente y porcentaje de remoción.

| Nutrientes | Agua del efluente sin tratar | Agua del efluente tratada con hidrófitas | | | | | |
|--------------|------------------------------|--|----|-------------------------------|-----|----------------------------|----|
| | Efluente (mg/L) | <i>Lemma gibba</i> | | <i>Myriophyllum aquaticum</i> | | <i>Eichornia crassipes</i> | |
| | | mg/L | % | mg/L | % | mg/L | % |
| Amonio | 230 | 3.5 | 98 | 0.0 | 100 | 3.6 | 98 |
| Ortofosfatos | 21.5 | 21.5 | 0 | 8 | 63 | 21.5 | 0 |
| Nitratos | 11 | 7.5 | 32 | 2 | 82 | 11 | 0 |

Fuente: Romero et al., 2011.

5.4. Tratamiento final de las aguas residuales para su reuso en la agricultura

Se propone esto para el tratamiento final de las aguas residuales que serían usadas en la agricultura. En el Reino unido y en Italia, el ácido paracetico (PAA) recientemente ha llegado a ser aceptado como desinfectante para el tratamiento de las aguas servidas antes de reusarse en la agricultura. Falsanisi et al., 2006; evaluó las aguas residuales municipales para su reuso en la agricultura bajo diferentes condiciones experimentales. Las pruebas en batch fueron llevadas a cabo usando efluentes convenidos primario y secundario, tomando muestras de la planta de tratamiento de aguas servidas municipales de la ciudad de Toronto, Canadá. La dosis de PAA fluctuaron desde 1.5 – 8.5 mg/L y desde 21 – 40 mg/L para los efluentes convenidos secundario y primario respectivamente. La eficacia de la desinfección del PAA fue evaluada teniendo como organismo indicador la reducción de coliformes totales y E. coli. Las pruebas de desinfección revelaron que el PAA fue especialmente efectivo para la desinfección de E. coli. Para el efluente secundario, una dosis de 4 mg/L y 10 min de tiempo de contacto fueron requeridos para lograr 100 ufc E. coli/100 mL en el agua de reuso para la agricultura. Para el efluente primario, dosis mucho más altas y más tiempo de contacto (31 mg/L y 40 min, respectivamente) se necesitaron para alcanzar el mismo límite. Por todo lo expuesto anteriormente se tendría que analizar esta posibilidad de desinfección.

5.5. Tratamiento de los residuos sólidos del camal

Guerrero y Ramírez, 2004, mencionan que con la implementación de medidas de manejo preventivo en el vertido de residuos orgánicos como sangre y rumen se logran remociones iniciales de alrededor del 85% en promedio para los parámetros DBO₅, 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.

La recuperación y separación de los residuos de manera integral en el camal es esencial. Se debe recolectar las heces, la sangre para que no formen parte de los efluentes del camal, se debe valorar los residuos como un subproducto, para poder utilizarlos en otras actividades, como la elaboración de harinas y alimentos,

compostaje o incluso, generación de energía. Posteriormente, al separar los residuos, se facilita el tratamiento de las aguas residuales, para cumplir con la legislación ambiental vigente y con ello evitar la contaminación de cuerpos hídricos y la afectación a sus potenciales usos.

La limpieza inicial en seco de los corrales puede reducir las cargas de aguas negras. Esto reducirá sustancialmente la demanda de oxígeno y colorantes de las aguas residuales descargadas en el alcantarillado. Una eliminación por separado del estiércol de las tripas reduce la cantidad de sólidos sedimentables en las aguas residuales que ingresan en las alcantarillas **(Muñoz, 2005)**.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. Conclusiones

El manejo inadecuado de los residuos sólidos genera impactos presentes y futuros a los problemas ambientales y de saneamiento; hoy debemos agregar los pasivos ambientales que generamos por la contaminación a ríos, quebradas, suelo y aire que tienen altos costos de descontaminación; por lo tanto, para la adecuada gestión de residuos sólidos y aguas residuales:

1. Se plantea incluir dentro de su política Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338; el *Decreto Supremo 003-2010-MINAM*; Ley del Sistema Nacional de Evaluación el Impacto Ambiental. Ley N° 27446, sobre la conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad.

La actual promulgación de normas de emisión de residuos industriales líquidos obliga a los mataderos a ajustar sus emisiones a los máximos permisibles. Esto las forzaría a aplicar nuevos y más eficientes tratamientos de control, una vez agotadas las posibilidades de los tratamientos de prevención. En función de la composición de sus descargas, se definirán los sistemas de tratamiento y recuperación de sustancias más idóneos.

2. Con la aplicación del recojo de residuos sólidos (estiércol) en seco en el área de los corrales y en el lavado de tripas; además de tener implementado un tanque sedimentador en camal de Ahuashiyacu, estaría aplicando una adecuada gestión de residuos generados en el proceso de la faena del camal.
3. Con el uso de las lagunas artificiales como tratamiento de las aguas residuales, se estaría reduciendo una carga orgánica al ambiente, ayudando así a la conservación de la calidad del recurso hídrico.
4. El camal de Ahuashiyacu no mantiene registros de los efluentes generados ni de los residuos sólidos, donde se indique el caudal del efluente, tratamiento aplicado, análisis de laboratorio y disposición final.
5. Con la aplicación del sistema de compostaje se estaría evitando el desecho de residuos al relleno sanitario del camal, dándole más vida útil al mismo y por ende reduciendo la ocupación y contaminación del suelo.

6. Tanto el sistema de compostaje como la laguna de oxidación, no alteran el proceso normal de operación del camal, por lo que no habrá necesidad de modificar las actividades del mismo. Es una tecnología simple de operar y mantener.
7. La falta de recursos económicos no debe ser una excusa para una producción sustentable de productos cárnicos, pues la organización, planificación e implementación de medidas preventivas simples y poco costosas, que permiten abordar el problema de forma eficiente.

6.2. Recomendaciones

1. Replantear y actualizar el plan de manejo ambiental del camal, que ayudará a prevenir, eliminar, controlar, mitigar y/o compensar los impactos ambientales negativos generados en el proceso de producción y de esta forma constituirse como una empresa cuya producción no afecte la salud poblacional, buen vivir y conservación del ambiente.
2. Se debería usar y/o estudiar el uso de material impermeabilizante en la construcción de las lagunas artificiales, debido a que no se conoce el tipo de suelo en donde se ubica el camal y la pérdida potencial de agua por infiltración lo que contaminaría el agua subterránea debajo de las lagunas.
3. Del compostaje se podría aprovechar el lixiviado, elaborando biol que es un abono líquido muy apreciado por sus componentes nutricionales.
4. Para minimizar la generación de residuos sólidos del camal de Ahuashiyacu, se recomienda la elaboración de sub-productos como: concentrados para animales, harinas; la bilis puede ser recolectada y ser vendida a la industria farmacéutica.
5. Con respecto a las operaciones de mantenimiento de las lagunas artificiales en el camal de Ahuashiyacu, es recomendable realizar un monitoreo y seguimiento del mismo para obtener una eficiencia máxima de operación teniendo en cuenta parámetros (pH, DQO, SS y DBO) importantes a controlar.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. BALLADARES A. M. (2002). Rellenos sanitarios y tratamiento de residuos líquidos de mataderos. Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (BVSDE).
<http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/resisoli/rellenos/capi6.html>
2. BENDA F y KOUBA J. (1991). Chemical speciation and bioavailability of cu (II). Stuy of ionic copper (II) and Bis (glycynate) copper (II) accumulation by Lemma Species. Bull. Environ. Contam. Toxicol. Pp 466 – 472.
3. BONILLA M. (2007). Guía para el Manejo de los Residuos en Rastros y Mataderos Municipales. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS).
www.cofepris.gob.mx/work/sites/cfp/resources/.../3/GUIA4.PDF
4. BROWN D. (2004) Guía para el manejo de excretas y aguas residuales municipales. PROARCA/SIGMA. Centroamérica. Pp 1 – 95.
5. CASTAÑEDA B y MARCO C. (2007). Tratamiento y aprovechamiento de los efluentes generados en la industria cárnica. Asociación para investigación en tecnologías apropiadas S. C. Pp 1 – 10.
6. CNMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente). (1998). Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Industria procesadora de la carne. Santiago – Chile.
7. CONIEL P. (2003). Seis años de operación de un sistema integrado de tratamiento de efluentes y desechos de matadero de ganado y cerdos: El caso de la empresa “carnes” y derivados de occidente” en Cali. Colombia.
<http://www.biotec.net/mataderos.html>
8. DUQUE P. y CHINCHAY L. (2008). Caracterización de Residuos Sólidos, Efluentes Residuales y Evaluación de impactos Ambientales en tres mataderos de ganado en la provincia de Loja-Ecuador. Asociación Ecuatoriana de ingeniería Sanitaria y Ambiental AEISA.

9. ESTRUCPLAN. (2003). Impactos ambientales y actividades productivas: Mataderos. Ridavia. Argentina.
<http://www.estrucplan.com.ar/producciones/>
10. Falsanisi D., et al (2006). Kinetics of PAA demand and its implications on disinfection of wastewaters. *Water Qual. Res. Journal*. Vol 41. Nº 4. Pp 398 – 409.
11. GUERRERO J. y RAMÍREZ I. (2004). Manejo ambiental de residuos en mataderos de pequeños municipios. *Scientia et Technica* Año X. Nº 26. Pp 199 – 204.
12. GÓMEZ S. E. (2006). Biodegradación de Asfaltenos del Prestige mediante la Aplicación de las Técnicas de compostaje – vermicompostaje.
<http://es.wikipedia.org/wiki/compost>
13. HAYA C. (2005). Guía para la Gestión de Residuos. Hospital Regional Universitario Carlos Haya.
<http://www.carloshaya.net/denfermeria/media/docu/guia%20residuos.pdf>
14. KARL-HEINZ R, et al. (2005). *Environmental Biotechnology. Concepts and Applications. Industrial - Wastewater Sources and Treatment Strategies*. Environmental Biotechnology. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. Pp 49-77.
15. LAHORA A. (2005). Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales. La Edar de los Gallardos Almería. Gestión de Aguas del Levante Almeriense. S.A. (GALASA).
16. LOMELÍ G. y TAMAYO R. (2006). Deterioro ambiental. Sección: Contaminación por detergentes. Eutroficación.
http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas
17. LÓPEZ A., DE LA BARRERA J., VALLEJO R. y BARAHONA C. (2008). Estudio comparativo entre un proceso fisicoquímico y uno biológico para tratar agua residual de rastro. *Interciencia*. Vol. 33. Nº 7. Pp 490 – 495.

18. LÓPEZ V. R. y CASP A. (2004). Tecnología de Mataderos. Madrid. Ediciones Mundi-prensa.
19. MAPFRE Empresas. (2005). Minimización del riesgo medioambiental en los mataderos. Centro de documentación FUNDACIÓN MAPFRE.
www.mapfre.com/documentacion/publico/.../imagen.cmd?...1
20. MARA D. y PEARSON H. (1998). Design manual for waste stabillization ponds in mediterranean countries. Lagoon Technology International. Leeds. England.
21. MASSÉ D.I. y MASSE L. (2000). Treatment of slaughterhouse wastewater in anaerobic sequencing batch reactors. Canadian Agricultural Engineering. Vol. 42. N° 3. Pp 131 – 137.
22. MASSÉ D., MASSE L. y BOURGEOIS N. (2000). Anaerobic processing of slaughterhouse wastewater in a SBR. Agriculture and Agri-Food Canadá. Quebec. Canadá. Pp 375 – 387.
23. MENDOÇA S. (2000). Sistemas de lagunas de estabilización, como utilizar las aguas residuales tratadas en sistemas de regadío. Editorial McGraw-Hill. Bogota. Colombia.
24. MORENO J. (2008). Compostaje. Madrid. Ediciones Mundi-prensa.
25. Muñoz D. (2005). Sistemas de tratamiento de aguas residuales de matadero: Para una población menor de 200 habitantes. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad del Cauca. Colombia. Pp 87 – 98.
26. NEGRÃO C. R. (2002). Gestión Ambiental. Unesco.
www.unesco.org.uy/geo/campinaspdf/3gestión.pdf
27. PROARCA/SIGMA (2004). Manual de buenas prácticas operativas de producción más limpia para la industria de mataderos. Centro de producción más limpia de Nicaragua. Nicaragua. Pp 1 – 86.
28. RÖBEN E. (2002). Manual de compostaje para municipios.

- 29.** ROMERO L., RAMÍREZ F., ÁLVAREZ C. y MIRANDA M. (2011). Uso de hidrófitas y un sistema anaerobio para el tratamiento de agua residual de rastro. Instituto Politécnico Nacional. Redalyc. México. Pp 157 – 167.
<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=62117054010>
- 30.** RUIZ S. (2010). Plan de gestión de residuos del camal del Cantón Antonio Ante. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Escuela Politécnica Nacional. Quito. Ecuador. Pp 1 – 157.
- 31.** SAYED S., CAMPEN V. y LETTINGA G. (1987). Anaerobic treatment of slaughterhouse waste using a granular sludge UASB reactor. Biological Wastes. Pp 11 – 28.
- 32.** SETTY K. (2007). Manual de Construcción: Humedales construidos para el tratamiento de aguas negras. Bren School of Environmental Science and Management. University of California.
www.bren.ucsb.edu/.../Diseno_Humedal_AguasNegras.pdf
- 33.** SILVA L. y LÓPEZ P. (2004). Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. Escuela de Ingeniería de los Recursos naturales y del Ambiente (EIDENAR). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. A. A. Cali. Colombia.
[http://www.ingenieroambiental.com\(4014/compostaje.pdf](http://www.ingenieroambiental.com(4014/compostaje.pdf)
- 34.** SUAREZ C. (2010). Tratamiento de aguas residuales municipales en el Valle del Cauca. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle. Santiago de Cali. Pp 1 – 102.

VIII. ANEXOS.

Anexo I. Foto satelital del camal de Ahuashiyacu.

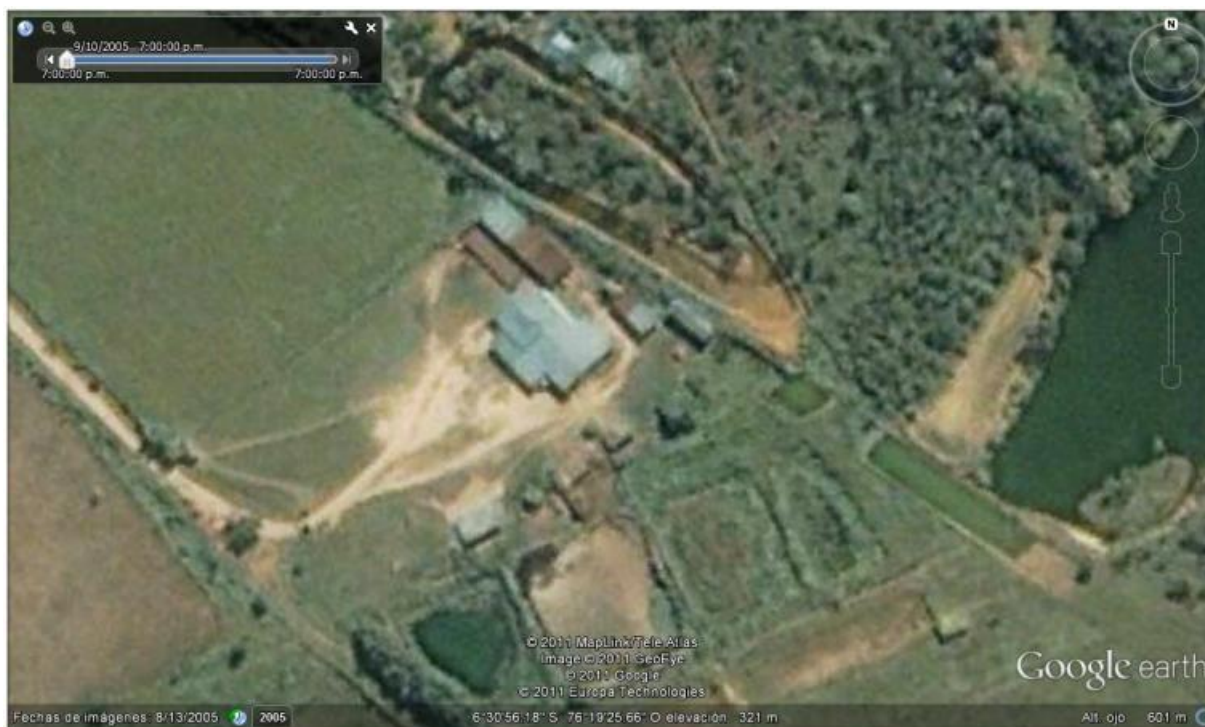


Foto 01. Foto satelital del camal Ahuashiyacu.

Anexo II. Fotos diversas del camal de Ahuashiyacu.



Foto 02. Tanque de agua que abastece al camal.



Foto 03. Espacio que sirve como depósito de residuos sólidos.



Foto 04. Lagunas de estabilización del camal de Ahuashiyacu.



Foto 05. Residuos líquidos generados (sangre) en el camal de Ahuashiyacu.

Foto 06. Residuos sólidos diversos (grasa, pedazos de pieles, etc).





Foto 07. Residuos sólidos (estiércol) generados en el camal de Ahuashiyacu.



Foto 08. Lavado de las vísceras en el camal.



Foto 09. Lugar de la curtiembre de las pieles.



Foto 10. Tanques de sedimentación en el camal de Ahuashiyacu,