

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS DEL CAMAL  
DEL CANTÓN ANTONIO ANTE**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR**

**SASKIA DEYANIRA RUIZ DÁVILA**

[sasdeya@hotmail.com](mailto:sasdeya@hotmail.com)

**DIRECTOR: Prof. MSc. Ing. CÉSAR NARVÁEZ**

[cnarvaez@uio.satnet.net](mailto:cnarvaez@uio.satnet.net)

**Quito, enero 2011**

## DECLARACIÓN

Yo, Saskia Deyanira Ruiz Dávila, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Saskia Deyanira Ruiz Dávila**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Saskia Deyanira Ruiz Dávila, alumna de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional, bajo mi supervisión.

---

**Msc. Ing. César Narváez**  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres.

A todos mis profesores y de manera especial a mi Director de Tesis.

## CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIV
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	XV
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
PRESENTACIÓN.....	XX
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 IMPORTANCIA.....	3
CAPÍTULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 GESTIÓN AMBIENTAL.....	4
2.2 LEGISLACIÓN AMBIENTAL APLICABLE AL PROYECTO.....	5
2.3 GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS.....	9
2.4 GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS DE CAMALES EN ECUADOR.....	9
2.4.1 DEFINICIÓN DE CAMAL O MATADERO.....	9

2.4.2 CAMALES EN ECUADOR.....	10
2.4.3 GESTIÓN DE RESIDUOS.....	10
2.5 GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS DE CAMALES .....	12
2.5.1 GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	12
2.5.2 GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS LÍQUIDOS.....	21
2.5.3 GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS GASEOSOS.....	41
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	43
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	43
3.1.1 GENERALIDADES DEL CAMAL DE ANTONIO ANTE.....	43
3.1.2 PROCESO DE FAENAMIENTO DE GANADO BOVINO.....	46
3.1.3 PROCESO DE FAENAMIENTO DE GANADO PORCINO.....	54
3.2 CAMPAÑA DE MUESTREO DE EFLUENTES Y RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO .....	59
3.3 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL CAMAL DE ANTONIO ANTE .....	62
3.3.1 RESIDUOS SÓLIDOS.....	66
3.3.2 RESIDUOS LÍQUIDOS.....	68
3.3.3 RESIDUOS GASEOSOS.....	71
3.4 RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.....	72
CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE ACCIÓN.....	78
4.1 VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE COMPOSTAJE PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL CAMAL DE ANTONIO ANTE .....	78
4.1.1 TÉCNICA.....	80
4.1.2 AMBIENTAL.....	90
4.1.3 ECONÓMICA.....	92
4.2 VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PANTANO ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL CAMAL DE ANTONIO ANTE .....	96
4.2.1 TÉCNICA.....	97
4.2.2 AMBIENTAL.....	115

4.2.3 ECONÓMICA.....	116
4.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	117
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
5.1 CONCLUSIONES.....	120
5.2 RECOMENDACIONES .....	121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124
ANEXOS.....	129

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. LEGISLACIÓN AMBIENTAL APLICABLE AL PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS DEL CAMAL DEL CANTÓN ANTONIO ANTE.....	5
CUADRO 2. OPCIONES DE MANEJO DE RESIDUOS.....	13
CUADRO 3. PROMEDIO DE ANIMALES FAENADOS DIARIA, SEMANAL Y MENSUALMENTE.....	44
CUADRO 4. RESULTADOS MUESTREO DE LOS EFLUENTES DEL CAMAL DE ANTONIO ANTE.....	60
CUADRO 5. NECESIDADES DE AGUA POR ANIMAL SACRIFICADO Y FAENADO.....	64
CUADRO 6. CÁLCULO DEL CONSUMO MENSUAL DE AGUA POTABLE EN EL CAMAL DE ANTONIO ANTE.....	65
CUADRO 7. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS PROCEDENTES DEL PROCESO.....	67
CUADRO 8. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN EL PROCESO.....	68
CUADRO 9. RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS EFLUENTES DEL CAMAL ANTONIO ANTE.....	71
CUADRO 10. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS PRODUCIDOS POR LAS ACTIVIDADES DEL CAMAL SOBRE LOS PRINCIPALES FACTORES AMBIENTALES.....	73
CUADRO 11. CALIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EMPLEADA EN ESTA METODOLOGÍA.....	75



CUADRO 12. MATRIZ DE VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DEL CAMAL DE ANTONIO ANTE.....	76
CUADRO 13. COSTOS DE INVERSIÓN Y OPERACIÓN DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE.....	94
CUADRO 14. COSTOS E INGRESOS ANUALES DEL COMPOSTAJE.....	96
CUADRO 15. CARACTERÍSTICAS PROPIAS DE MATERIALES EMPLEADOS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HUMEDALES DE FLUJO HORIZONTAL.....	106
CUADRO 16. COSTOS DE INVERSIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DISEÑADO PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL DE ANTONIO ANTE.....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN DE CAMALES EN ECUADOR .....	11
FIGURA 2. UBICACIÓN DE CAMALES POR ZONAS.....	11
FIGURA 3. DIAGRAMA DE FLUJO Y OPCIONES DE TRATAMIENTO.....	13
FIGURA 4. ESQUEMA DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	16
FIGURA 5. PILAS DE RESIDUOS .....	17
FIGURA 6. COMPOSTAJE EN PILAS .....	19
FIGURA 7. PERFIL DE TEMPERATURA EN UNA PILA DE COMPOST .....	19
FIGURA 8. ESQUEMA DEL SISTEMA DE PRE-TRATAMIENTO .....	25
FIGURA 9. ESQUEMA DEL TRATAMIENTO PRIMARIO.....	27
FIGURA 10. ESQUEMA DE UN HUMEDAL CONSTRUIDO DE FLUJO SUPERFICIAL.....	31
FIGURA 11. ESQUEMA DE HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL .....	32
CON FLUJO HORIZONTAL Y CON FLUJO VERTICAL.....	32
FIGURA 12. SECCIÓN LONGITUDINAL DE UN BIOFILTRO DE FLUJO HORIZONTAL .....	33
FIGURA 13. ESQUEMA DEL PROCESO DE FAENAMIENTO DE GANADO BOVINO EN EL CAMAL ANTONIO ANTE.....	46
FIGURA 14. ESQUEMA DEL PROCESO DE FAENAMIENTO DE GANADO PORCINO EN EL CAMAL ANTONIO ANTE .....	54

FIGURA 15. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE MUESTRAS DE EFLUENTES DEL CAMAL DE ANTONIO ANTE CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES.....	62
FIGURA 16. DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL CAMAL .....	63
FIGURA 17. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE MANUAL PROPUESTO .....	80
FIGURA 18. PERFIL DE UNA HILERA DE SECCIÓN TRIANGULAR Y SUS DIMENSIONES .....	84
FIGURA 19. PERFIL DE UNA HILERA DE COMPOSTAJE Y SUS DIMENSIONES .....	86
FIGURA 20. CUBIERTA DEL ÁREA DE COMPOSTAJE .....	86
FIGURA 21. VISTA SUPERIOR DEL LA CUBIERTA DEL ÁREA DE COMPOSTAJE.....	87
FIGURA 22. VISTA FRONTAL DEL LA CUBIERTA DEL ÁREA DE COMPOSTAJE.....	88
FIGURA 23. HACHA DE CARNICERÍA .....	88
FIGURA 24. PALA DE MANO CON PUNTA REDONDA .....	89
FIGURA 25. TAMIZ PARA COMPOST .....	89
FIGURA 26. MEDICIÓN DE LA HUMEDAD.....	90
FIGURA 27. DISEÑO GENÉRICO PARA UNA CELDA DE UN HUMEDAL CONSTRUIDO TIPO SSF .....	97

FIGURA 28. ESQUEMÁTICA QUE MUESTRA UNA POZA DE ESTABILIZACIÓN EMPAREJADA CON UN HUMEDAL CONSTRUIDO. ....	98
FIGURA 29. ESQUEMA DE LA OPCIONES DE TRATAMIENTO PRIMARIO Y SECUNDARIO. ....	98
FIGURA 30. TANQUE DE SEDIMENTACIÓN RECTANGULAR DE FLUJO HORIZONTAL .....	100
FIGURA 31. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA POSICIÓN RELATIVA DE LA LAGUNA DE SEDIMENTACIÓN DEL AGUA DE ENTRADA (INFLUENTE), CELDA DE HUMEDALES ARTIFICIALES Y DISPOSICIÓN FINAL.....	109
FIGURA 32. UN SITIO EXCAVADO Y GRADUADO QUE MUESTRA UNA PENDIENTE LEVE (~1%) EN LA DIRECCIÓN DEL FLUJO .....	110
FIGURA 33. EL SITIO DE LA CONSTRUCCIÓN QUE MUESTRA UN RECUBRIMIENTO PLÁSTICO SINTÉTICO PARA HUMEDALES... ..	111
FIGURA 34. ENTRADA DEL HUMEDAL .....	112
FIGURA 35. TUBERÍA DE SALIDA DEL HUMEDAL .....	112

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1. DESANGRADO DE GANADO BOVINO. ....	49
FOTOGRAFÍA 2. CORTE DE PATAS DEL GANADO BOVINO.....	50
FOTOGRAFÍA 3. DESOLLADO MECÁNICO DE GANADO BOVINO.....	51
FOTOGRAFÍA 4. APERTURA DE LA CAVIDAD ABDOMINAL Y ESTERNÓN ...	52
FOTOGRAFÍA 5. RETIRO DE VÍSCERAS.....	52
FOTOGRAFÍA 6. ASERRADO DE LA CANAL.....	53
FOTOGRAFÍA 7. ATURDIMIENTO ELÉCTRICO DE GANADO PORCINO .....	55
FOTOGRAFÍA 8. TINA DE ESCALDADO DE CERDOS.....	56
FOTOGRAFÍA 9. DEPILADO DE UN CERDO LUEGO DEL SER ESCALDADO.	56
FOTOGRAFÍA 10. CHAMUSCADO DE UN CERDO .....	57
FOTOGRAFÍA 11. EXTRACCIÓN DE VÍSCERAS DE UN CERDO.....	58
FOTOGRAFÍA 12. LAVADO DE VÍSCERAS DE CERDOS .....	58
FOTOGRAFÍA 13. TOMA DE MUESTRAS .....	59
FOTOGRAFÍA 14. ESTABILIZACIÓN DE LAS MUESTRAS CON H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	60

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. PLANO DEL CAMAL DE ANTONIO ANTE.....	130
ANEXO 2. VISTAS EN PERFIL DEL SISTEMA DE COMPOSTAJE Y DE UNA CELDA DE HUMEDAL ARTIFICIAL.....	132
ANEXO 3. INFORME DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LAS MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL DE ANTONIO ANTE.....	134

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

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

**APROVECHAMIENTO:** Todo proceso industrial y/o manual cuyo objeto sea la recuperación o transformación de los recursos contenidos en los residuos.

**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.

**DBO<sub>5</sub>:** 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, DBO<sub>5</sub>, y a una temperatura de 20 °C) Se expresa en mg O<sub>2</sub>/L.

**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 O<sub>2</sub>/L.

**EFLUENTE:** Fluido 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 cumpla los límites establecidos en el presente 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.

**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.

**FAO:** Food and Agriculture Organization. (Organización Mundial de Alimentos)

**FUENTE:** Toda actividad, proceso, operación o dispositivo móvil o estacionario que produzca o pueda producir emisiones contaminantes a la atmósfera.

**GENERACIÓN:** Acción de producir sustancias.

**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.

**pH:** Potencial Hidrógeno.

**RECICLAJE:** Proceso que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea el mismo en que fue generado u otro diferente.

**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.

**ST:** Sólidos Totales.

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

**TRATAMIENTO:** Conjunto de operaciones encaminadas a la transformación de los residuos o al aprovechamiento de los recursos contenidos en ellos.

**TULSMA:** Texto Unificado Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente.

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

## RESUMEN

En el proceso productivo del camal de Antonio Ante, se generan residuos tanto líquidos como sólidos, ambos de origen y naturaleza orgánica, que actualmente no están siendo aprovechados y no reciben un tratamiento adecuado, siendo desechados directamente al sistema de alcantarillado, en el caso de los líquidos y al sistema de recolección de basura, en el caso de los sólidos.

La presente investigación, se propone un Plan de Gestión de Residuos del camal de Antonio Ante, para lo cual inicialmente se realizó un Diagnóstico Ambiental, que permitió conocer la cantidad y naturaleza de los residuos generados, obteniéndose aproximadamente 30 026 kg/mes de residuos sólidos y 373 m<sup>3</sup>/mes de líquidos, éstos últimos fueron sometidos a una campaña de muestreo y análisis de laboratorio, presentando una alta concentración de materia orgánica, sobrepasando los límites permisibles de descarga al sistema de alcantarillado público, establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA).

A partir de los resultados obtenidos, se propone como opciones de manejo, tratamiento y disposición final de los residuos, la aplicación de un sistema de compostaje para los sólidos y un humedal artificial para los líquidos. Se analizaron éstas propuestas, concluyéndose que son opciones técnica, ambiental y económicamente viables para aplicarlas en el camal de Antonio Ante.

Mediante la implementación del Plan de Gestión de Residuos, se pretende minimizar la generación y maximizar el aprovechamiento de los residuos provenientes de las actividades de faenamiento del camal de Antonio Ante, así como la reducción de cargas contaminantes enviadas al sistema de alcantarillado del cantón, el cual desemboca en el Río Ambi, contribuyendo así a mejorar las condiciones ambientales del camal, de los lugares aledaños y del cantón en general, de modo que se preserve la salud de los habitantes, y se mejore estéticamente el área de recepción final de los efluentes del camal.

## ABSTRACT

In the production process of Antonio Ante's slaughterhouse, liquid and solid waste are generated, both from organic origin and nature, which currently are not being exploited and do not receive adequate treatment. Being discarded directly into the sewer system, in the case of liquids and sent to the garbage collection system, in the case of solids.

In this investigation, a Waste Management Plan of Antonio Ante's slaughterhouse was proposed, for what was developed an Environmental Diagnosis, from it was possible to know the amount and nature of generated wastes, obtaining around 30 026 kg/month of solid waste and 373 m<sup>3</sup>/month of liquid waste, the latter were subjected to a sampling campaign and laboratory analysis showing a high concentration of organic matter, exceeding the permissible limits of discharge into public system sewer, established in the Unified Text of Secondary Legislation of the Environment Ministry (TULSMA).

From the results obtained, it was proposed as handling options, treatment and disposition of waste, the application of a composting system for solids and artificial wetland for liquids. These proposals were analyzed, concluding that are technically, environmentally and economically feasible options for the Antonio Ante's slaughterhouse.

Through the implementation of the Waste Management Plan it is meant to minimize the generation and maximize the utilization of waste from the slaughter activities of the Antonio Ante's slaughterhouse, as well as the reduction of pollutant loads sent to the sewer system of the canton, which flows into the "Rio Ambi", helping to improve the environmental conditions of the slaughterhouse, the surrounding areas and the canton in general, in order to preserve the habitants health, and aesthetically improve the final reception area of the slaughterhouse effluents.

## PRESENTACIÓN

En el país existen leyes, entidades reguladores y de control para el aseguramiento de la calidad sanitaria y ambiental, sin embargo, existen carencias de una gestión integral de residuos provenientes de los procesos de sacrificio y faenado de ganado bovino y porcino, que apunten a ser compatibles con los requerimientos de salud pública y ambiental. En el comercio de ganado y de la carne prevalecen los criterios subjetivos de calidad que imponen los comerciantes, opuestos a los criterios sanitarios, ambientales y organolépticos exigidos por los estándares internacionales para proteger la salud y calidad de vida de la población y proteger el medio ambiente.

En ese contexto, la administración del camal de Antonio Ante, consciente de la importancia del tema, tiene voluntad de aplicar una adecuada gestión de los residuos generados en el proceso de faenamamiento de ganado bovino y porcino, para asegurar mejores condiciones ambientales y por lo tanto garantizar la salud de los habitantes del cantón.

Sin embargo, debido a la falta de organización y recursos económicos, la mencionada infraestructura tiene deficiencias en su gestión, pues los sólidos como excrementos y bilis son recolectados y posteriormente desechados al sistema de recolección de residuos, mientras que los efluentes líquidos pasan por un pequeño tanque de sedimentación y luego son descargados directamente al sistema de alcantarillado.

Este proyecto de titulación, presenta un Plan de Gestión de Residuos provenientes de las actividades de faenamamiento del camal de Antonio Ante. Este trabajo está constituido por cinco capítulos.

En el primer capítulo se presenta la introducción de este proyecto, sus objetivos generales y específicos, así como la importancia del mismo.

En el segundo capítulo se realiza una investigación bibliográfica concerniente a la Gestión Ambiental, en la que se detalla la Gestión de Residuos Sólidos, y lo referente al sistema de compostaje. Para los efluentes líquidos se desarrolla el tema de pantanos artificiales. Además se presenta en este capítulo la legislación ambiental aplicable al proyecto.

En el tercer capítulo se presenta la metodología del proyecto, en el que se detalla el proceso productivo del camal de Antonio Ante, el desarrollo y resultados de la campaña de muestreo de efluentes, así como el diagnóstico ambiental de la situación actual del camal y sus resultados.

En el cuarto capítulo se muestra la propuesta de actuación, mediante un análisis de viabilidad técnica, ambiental y económica, para la implementación de un sistema de compostaje para los residuos sólidos, y de un pantano artificial para el tratamiento de los residuos líquidos del camal Antonio Ante.

Finalmente, en el quinto capítulo se exponen las conclusiones y recomendaciones resultantes de la elaboración del presente estudio.



# **CAPÍTULO 1.**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

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. En este contexto, la gestión ambiental referida a los procesos, mecanismos, acciones y medidas de control involucradas, establece compromisos a todos los involucrados, en el manejo eficiente de los residuos<sup>12</sup>.

Según Guerrero Jhoniers e I. Ramírez<sup>12</sup>, la ubicación urbana de la mayor parte de las plantas de sacrificio de animales, la cobertura y la distribución espacial de la actividad en todos los pisos climáticos, han creado una gran presión sobre los recursos de agua y suelo, y afectan las condiciones ambientales y la calidad de vida de las poblaciones urbanas y rurales.

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.

En el presente proyecto de tesis de grado, se elabora un Plan de Gestión de Residuos provenientes de actividades de faenamiento del camal de Antonio Ante (Imbabura - Ecuador), mediante un análisis de viabilidad para la implementación de un sistema de compostaje, donde se traten los residuos sólidos (subproductos animales), así como el diseño de un pantano artificial para el tratamiento de los residuos líquidos, a fin de contribuir con al mejoramiento de las condiciones higiénicas del camal, así como de las condiciones ambientales de los sectores aledaños.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Mejorar la gestión de residuos líquidos y sólidos generados en el camal del cantón Antonio Ante, mediante el estudio de viabilidad de implementación de un sistema de compostaje y el diseño de un pantano artificial para ese propósito.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- i) Describir el proceso de generación de residuos del camal.
- ii) Identificar y caracterizar los residuos generados en el camal.
- iii) Minimizar la generación y maximizar el aprovechamiento de los residuos provenientes del proceso de faenamiento en el camal de Antonio Ante, y tratarlos adecuadamente.
- iv) Analizar la viabilidad para la implementación de un sistema de compostaje para el tratamiento de los residuos sólidos del camal.
- v) Analizar la viabilidad para la implementación de un pantano artificial para el tratamiento de los residuos líquidos.



### **1.3 IMPORTANCIA**

Las aguas residuales de 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 de oxígeno en su hábitat. Esta situación puede llegar a convertir un cuerpo de agua, en una cloaca maloliente y en fuente de enfermedades<sup>2</sup>.

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.

Por las razones anotadas, el presente proyecto de titulación, será de gran utilidad para las entidades encargadas del funcionamiento de camales, al brindar un panorama sobre la generación de residuos a lo largo del proceso de faenamiento de ganado y una solución para su manejo, tratamiento y disposición final. Esto permitirá a los camales, cumplir con la legislación ambiental y proteger la salud de los consumidores.

## **CAPÍTULO 2.**

### **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **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”<sup>1\*</sup>.

“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 de las políticas públicas 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”<sup>21</sup>.

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.

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

---

\* Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Comisión Brundtland): Nuestro Futuro común.

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<sup>21</sup>.

## 2.2 LEGISLACIÓN AMBIENTAL APLICABLE AL PROYECTO

La base legal en que se enmarca el presente proyecto: plan de gestión de residuos del camal del cantón Antonio Ante, se presenta en el cuadro No. 1.

Cuadro 1. Legislación Ambiental aplicable al plan de gestión de residuos del camal del cantón Antonio Ante.

LEGISLACIÓN	DESCRIPCIÓN	ARTÍCULOS APLICABLES AL PROYECTO
<b>Constitución Política de la República del Ecuador (2008)</b>	En el ámbito ambiental, la Constitución Política del Ecuador establece los deberes y obligaciones del Estado, así como de los ciudadanos para con el medio ambiente.	3 (Nral. 7) 14, 15, 31, 32, 66 (Nrals. 2 y 27), 71, 72, 73, 83 (Nrals. 3 y 6), 264 (Nral. 4), 275, 276 (Nral. 4), 277 (Nral. 1), 278 ((Nral. 2) 319, 397 ((Nral. 2), 411, 412 y 413.
<b>Ley No. 37. Ro/ 245 de 30 de julio de 1999.</b>  <b>Ley de Gestión Ambiental</b>	Establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia. El presente estudio de en marca en los siguientes artículos:	7, 12,28, 33, 34, 35, 40

Cuadro 1. CONTINUACIÓN

<p><b>Ley 67, Registro Oficial Suplemento 423 de 22 de Diciembre del 2006.</b></p> <p><b>Ley Orgánica de Salud</b></p>	<p>En el LIBRO II (Salud y seguridad ambiental) establece: “La autoridad sanitaria nacional en coordinación con el Ministerio de Ambiente, establecerá las normas básicas para la preservación del ambiente en materias relacionadas con la salud humana, las mismas que serán de cumplimiento obligatorio para todas las personas naturales, entidades públicas, privadas y comunitarias” (art. 95)</p>	<p>96, 100, 103</p>
<p><b>Codificación 16, Registro Oficial Suplemento 159 de 5 de Diciembre del 2005 Ley Orgánica de Régimen Municipal</b></p>	<p>En el TÍTULO IV:DEL PLANEAMIENTO FÍSICO Y URBANÍSTICO Y DE LAS OBRAS PÚBLICAS, se establece la obligatoriedad de las municipalidades sobre el planeamiento físico y urbanístico del cantón, cuyos planes reguladores, deberán contemplar, entre otros puntos: la zonificación de unidades de planeamiento, el análisis de estructuras físicas fundamentales: morfología, geología y naturaleza de los suelos, climatología, flora y fauna, así como el análisis de la infraestructura general: irrigación, drenaje, aducción de agua, control de cursos de agua, vías de comunicación e instalaciones de producción (en las que se incluyen las instalaciones de los mataderos), transmisión y distribución de energía; análisis de ocupación y utilización del suelo.</p>	<p>196-212</p>
<p><b>Texto Unificado Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA)</b></p> <p><b>Decreto No. 3399 publicado en el Registro Oficial No. 725 del 16 de diciembre del 2002</b></p>	<p>Está compuesto por 9 Libros:  I De la Autoridad Ambiental  II De la Gestión Ambiental  III Del Régimen Forestal  IV De la Biodiversidad  V De los Recursos Pesqueros  VI De la Calidad Ambiental  VII Galápagos  VIII ECORAE  IX Derechos y Tasas de Servicio</p>	<p>Para el presente proyecto, compete el Libro VI</p>

Cuadro 1. CONTINUACIÓN

<p><b>Libro VI TÍTULO II POLÍTICAS NACIONALES DE RESIDUOS SÓLIDOS</b></p>	<p>Presenta un conjunto de políticas intersectoriales nacionales como herramienta para contribuir al desarrollo sustentable, pues el Estado Ecuatoriano declara como prioridad nacional la gestión integral de los residuos sólidos en el país (en art. 30)</p>	<p>31, 33, 34, 35,</p>
<p><b>LIBRO VI TÍTULO IV REGLAMENTO A LA LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL</b></p>	<p>“El presente Título, establece los siguientes aspectos: a) Las normas generales nacionales aplicables a la prevención y control de la contaminación ambiental y de los impactos ambientales negativos ... b) Las normas técnicas nacionales que fijan los límites permisibles de emisión, descargas y vertidos al ambiente; y, c) Los criterios de calidad de los recursos agua, aire y suelo, a nivel nacional.” (en art. 41)</p>	<p>45, 46, 51, 72, 73, 74, 101, 103, 133, 134, 138, 139, 140, 142,</p>
<p><b>LIBRO VI ANEXO 1 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA</b></p>	<p>La norma tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en lo relativo al recurso agua. La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.</p>	<p>El presente proyecto se regirá a las normas aquí mencionadas, que se encuentran en el TULSMA</p>

Cuadro 1. CONTINUACIÓN

<p><b>LIBRO VI ANEXO 2</b></p> <p><b>NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS</b></p>	<p>La norma tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en lo relativo al recurso suelo.</p> <p>La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.</p>	<p>TULSMA</p>
<p><b>LIBRO VI</b></p> <p><b>ANEXO 3 NORMA DE EMISIONES AL AIRE DESDE FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN</b></p> <p><b>ANEXO 4 NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE</b></p>	<p>Estas normas tienen como objetivo principal el preservar o conservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general.</p>	<p>TULSMA</p>
<p><b>LIBRO VI ANEXO 6</b></p> <p><b>NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS</b></p>	<p>Esta norma establece los criterios para el manejo de los desechos sólidos no peligrosos, desde su generación hasta su disposición final.</p>	<p>TULSMA</p>

## **2.3 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”<sup>13</sup>.

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<sup>13</sup>.

## **2.4 GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS DE CAMALES EN ECUADOR**

### **2.4.1 DEFINICIÓN DE CAMAL O MATADERO**

“Los mataderos son establecimientos en los que se sacrifican los animales. Constituyen la primera etapa en el proceso de industrialización de la carne. El producto final del proceso es “la canal”, denominada así a la pieza limpia, sin vísceras”<sup>18</sup>.

Según la Ley de Mataderos (Art.1) : “Se entiende por Matadero o camal Frigorífico, el establecimiento dotado de instalaciones completas y equipo mecánico adecuado para el sacrificio, manipulación, elaboración, preparación y conservación de las especies de carnicería bajo varias formas, con aprovechamiento completo, racional y adecuado de los subproductos no comestibles, cuando la cantidad justifique su aprovechamiento industrial. Poseerán instalaciones de frío industrial proporcionales a su tamaño”.

## **2.4.2 CAMALES EN ECUADOR**

El Ecuador cuenta con más de 200 mataderos localizados, 45% en la Sierra, 38% en la costa y 17% en la Región Amazonía y Galápagos (figura 1). La mayoría son de propiedad y están administrados por los municipios; el 81% de los mataderos están ubicados en áreas urbanas, 7% en semiurbanas y 12% son rurales (figura 2).

Con excepción de los mataderos privados los cuales adquieren los animales de abasto y comercializan carne faenada, los municipales se dedican a prestar servicios de faenamiento, incluido la inspección sanitaria ante y post-mortem<sup>19</sup>.

## **2.4.3 GESTIÓN DE RESIDUOS**

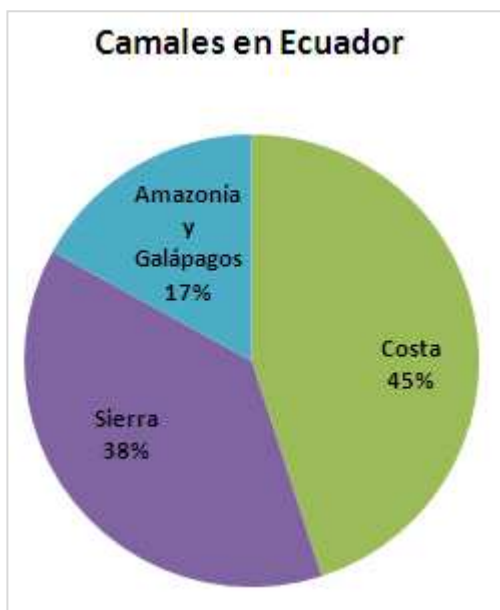
En los camales municipales del Ecuador, el tema ambiental no tiene la relevancia debida, por la falta de recursos económicos, y por el desconocimiento en cuanto a la gestión ambiental, pues aún se cree que al modificar el proceso productivo o implementar tecnologías y/o medidas amigables con el medio ambiente, conlleva un elevado incremento en los costos del proceso.

Es por esta razón, que en la mayoría de camales municipales, los residuos sólidos y líquidos son dispuestos de manera inadecuada, generando un impacto adverso en la biodiversidad local y en el uso del agua, con consecuencias directas e indirectas a la salud pública, debido a la alta carga contaminante de efluentes líquidos sin tratamiento, que se descargan en cuerpos hídricos.

Esta realidad, sumada al hecho de que la mayoría de camales están situados en zonas urbanas (ver figura 2), demanda acciones inmediatas de actuación integral, que desde la perspectiva de la gestión ambiental, redunden en el mejoramiento de la calidad de vida de los ecuatorianos, mediante la disminución o eliminación de los impactos ambientales negativos.

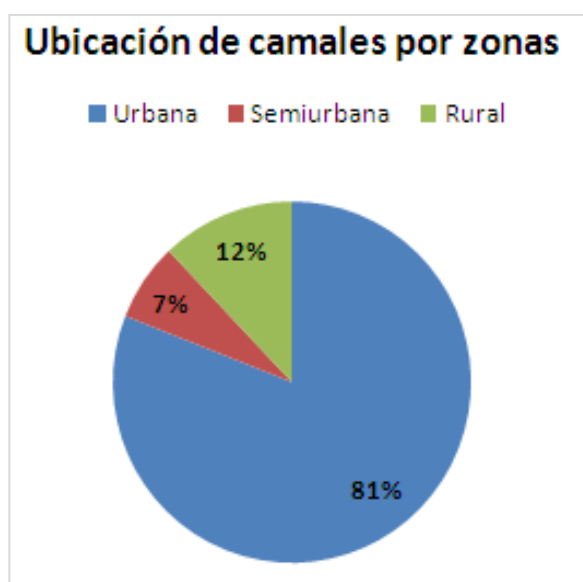


Figura 1. Distribución de camales en Ecuador



Fuente: Panorama de la Cadena Agroindustrial de la Carne y Subproductos

Figura 2. Ubicación de camales por zonas.



## **2.5 GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS DE CAMALES**

En la mayoría de camales municipales, los residuos sólidos y líquidos provenientes de la actividad de faenamiento, son vertidos en el drenaje o cuerpos hídricos. Esta situación representa, además del evidente daño ambiental, un gran desperdicio de recursos que pueden ser reusados y considerados como un subproducto de la matanza. Esto significa que se requiere un cambio de paradigma, hacia uno con visión ambientalista en el que se entienda que los residuos son recursos que pueden y deben aprovecharse. Al mismo tiempo, se disminuye la contaminación ambiental y se previenen riesgos a la salud humana<sup>5</sup>.

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 (como el manejo ambientalmente sano de los residuos orgánicos), permiten abordar el problema de forma eficiente, en cuanto a requerimientos y resultados, al generar valor agregado a los residuos manejados<sup>12</sup>.

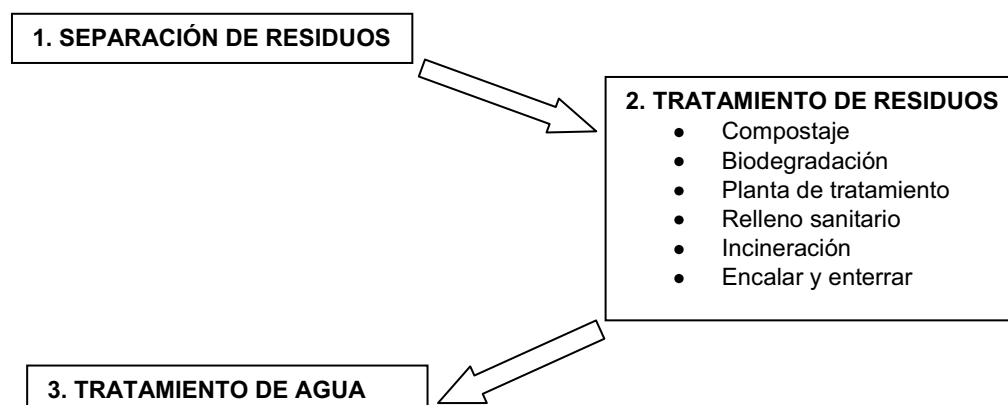
La recuperación y separación de los residuos de manera integral en el camal es esencial. En primer lugar, para valorarlos como un subproducto y poderlos utilizar en otras actividades, como la elaboración de harinas y alimentos, compostaje o, incluso, generación de energía. Posteriormente, al separar los residuos, se facilita el tratamiento de las aguas residuales, para cumplir con la legislación ambiental vigente (TULSMA) y con ello evitar la contaminación de cuerpos hídricos y la afectación a sus potenciales usos<sup>5</sup>.

El diagrama de flujo de la figura 3, muestra las opciones de manejo de residuos que puede aplicarse.

### **2.5.1 GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS**

Casi el 100% de los residuos sólidos generados en mataderos son biodegradables<sup>9</sup>.

Figura 3. Diagrama de flujo y opciones de tratamiento



Fuente: Guía para el Manejo de los Residuos en Rastros y Mataderos Municipales

Elaboración: COFEPRIS

En los mataderos, casi el 25% del peso total de los animales vivos puede considerarse como residuos (estiércol, contenidos estomacales, sangre, huesos, pelo, pezuñas, cuernos, fragmentos de tejidos grasos, conjuntivos y musculares, etc.). Se ha estimado que para cerdos y terneros respectivamente, se generan en matadero 2.0 – 3,5 y 7,5 – 30 kg de estiércol líquido (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 tanto, con notable contenido de nitrógeno, pero también fósforo, potasio y calcio<sup>20</sup>.

Es necesario reiterar, 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 para cada tipo de residuo se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Opciones de manejo de residuos.

	Compostaje	Biodigestión	Planta de rendimiento	Relleno Sanitario	Incineración	Encalar y enterrar
Sangre		x	X			
Heces	X	x				

Cuadro 2. CONTINUACIÓN

Residuos de alimentos	x	x				
Contenido gástrico/ ruminal	x	x				
Grasa y pedacería	x	x	x			
Cuernos, pezuñas y otros no comestibles			x	x		
Órganos decomisados					x	x
Animales muertos					x	x

Fuente: Guía para el Manejo de los Residuos en Rastros y Mataderos Municipales

Elaboración: COFEPRIS

En el caso de los rastros de mayor tamaño, se adoptan opciones de manejo de biodigestión /producción de biogás. Para rastros pequeños, las tecnologías más sofisticadas pueden ser inviables económicamente debido al bajo volumen de residuos generados. Para éstos se sugiere el compostaje<sup>5</sup>.

### 2.5.1.1 Compostaje

#### 2.5.1.1.1 *Qué es el compostaje?*

“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”<sup>11</sup>.

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<sup>11</sup>.

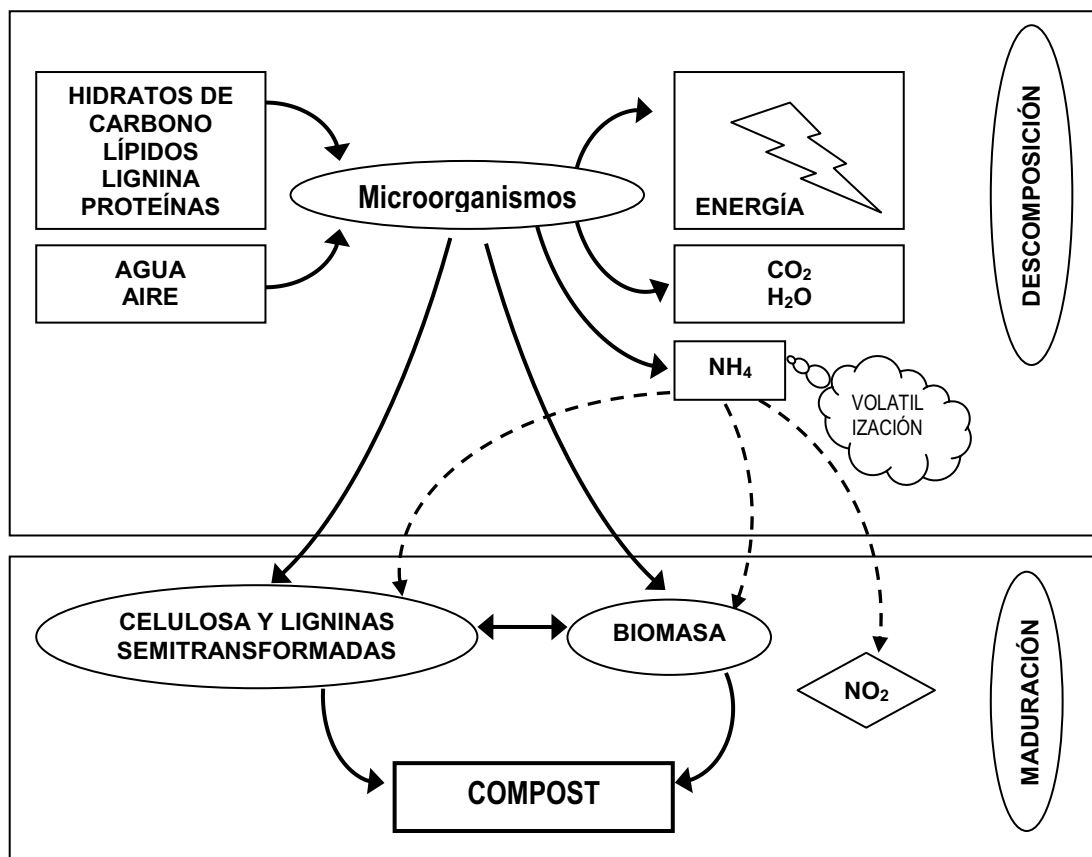
#### *2.5.1.1.2. Propiedades del compost*

- 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.

#### *2.5.1.1.3 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. La figura 4 presenta un esquema simplificado del proceso de compostaje.

Figura 4. Esquema del proceso de compostaje

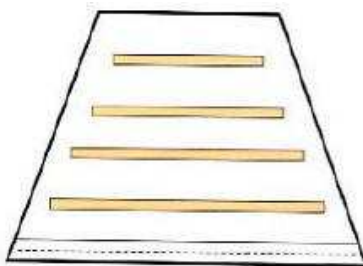


Fuente: "Compostaje" Moreno Joaquín, (2008)

Elaboración: Mundi- Prensa Libros

Los residuos del matadero deberán acumularse en pilas alternando capas de contenido gástrico/ruminal y heces con capas de grasa y pedacería, alcanzando una altura de hasta 1,5 m, como muestra la figura 5. 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 ser menores a 8 cm. Para alcanzar mejores resultados se recomienda mezclar estos 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.

Figura 5. Pilas de residuos



Fuente: "Compostaje" Moreno Joaquín, (2008)

Elaboración: Mundi- Prensa Libros

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.

#### *2.5.1.1.4 Fases*

##### **Pre tratamiento:**

Luego de la recolección de los residuos sólidos (RS) del camal, no será necesaria una preclasificación, 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.

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.

**Mezcla:**

Es importante que la relación C/N (carbón / nitrógeno) esté equilibrada, ya que una relación elevada retrasa la velocidad de humificación y un exceso de N 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<sup>24</sup>.

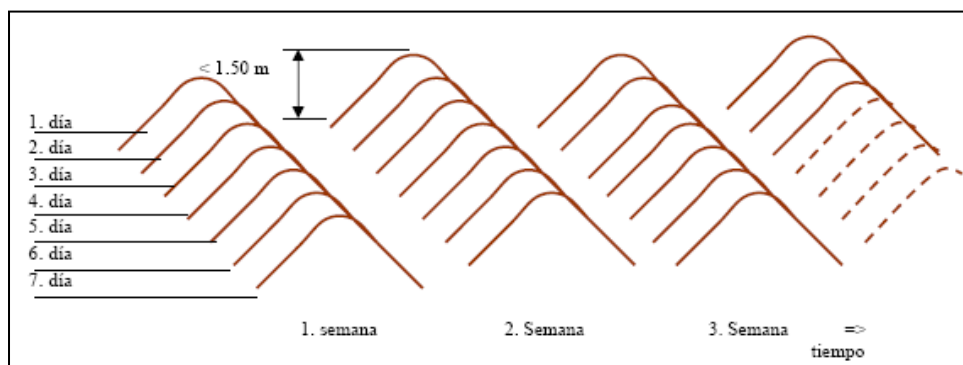
Debido a que los residuos de matadero son pobres en C y ricos en N, resulta del todo imprescindible mezclarlos con materiales ricos en C, éstos pueden ser hojas y ramas que se los puede obtener de la poda y limpieza del mismo terreno del camal. Este material de mezcla se denomina normalmente "material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

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<sup>24</sup>. El sistema se muestra en la figura 6.

Las pilas de material biodegradable se deben cubrir con pasto, hojas secas o material similar, para problemas de malos olores y no atraer las moscas. Una vez por semana se deben voltear las pilas. La mezcla/revuelta del material se puede hacer manualmente con palas<sup>24</sup>. El volteo se hace para airear la pila y/o disipar calor y reducir la temperatura. Un perfil de temperatura típico se presenta en la figura 7. La diferencia de temperaturas entre las zonas y el tamaño de cada una depende en cierta forma de la frecuencia de volteo. Este ayuda a redistribuir el perfil de temperatura para que las capas superiores que están a inferior temperatura se expongan a las altas temperaturas del nivel interior<sup>29</sup>.



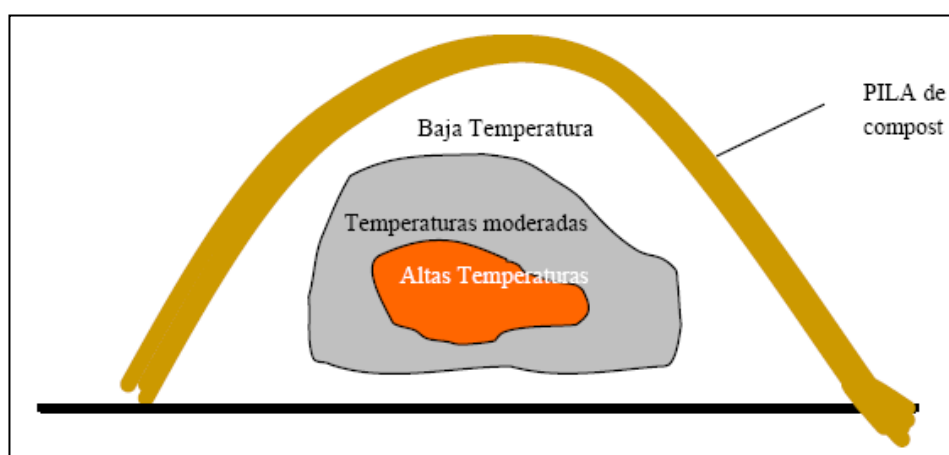
Figura 6. Compostaje en pilas



Fuente: Manual de Compostaje para Municipios

Elaboración: DED/ Ilustre Municipalidad de Loja

Figura 7. Perfil de temperatura en una pila de compost



Fuente: Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje

Elaboración: Escuela de Ingeniería de los Recursos naturales y del Ambiente (EIDENAR), Universidad del Valle-Facultad de Ingeniería. A.A. Cali-Colombia

### 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  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Esto es equivalente al grado 1 de madurez. La pre - fermentación se realiza durante los primeros días del compostaje<sup>24</sup>.

**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<sup>24</sup>.

**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 durante 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 evaporización y digestión microbiológica<sup>24</sup>.

**Condicionamiento del Producto:**

En el caso del compost del camal no será necesaria la separación de materiales foráneos (plástico, vidrio o 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<sup>17</sup>.

La duración total del proceso será de 6 meses. Después de este período, el compost será maduro y no contendrá ingredientes fitotóxicos, bacterias patógenas y otros materiales nocivos. Si se cosecha el compost antes del período de 6 meses, no se puede garantizar que el producto esté completamente 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<sup>11</sup>.

### **2.5.2 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<sup>2</sup>.

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<sup>16</sup>.

### **PARÁMETROS DE VERTIDO**

Antes de analizar las características de las aguas residuales generadas en un matadero, sus métodos de tratamiento y otros, se presentan los principales parámetros con los que se caracterizan las aguas residuales<sup>16</sup>.

- **SS:** Sólidos en Suspensión, indica el contenido de sólidos heterogéneos (superiores a  $1,2 \mu$ ) que lleva el agua. Puede ser contaminación orgánica o inorgánica, en el caso de los mataderos es fundamentalmente contaminación orgánica. Se expresa en mg/L<sup>16</sup>.
- **DBO:** 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, DBO<sub>5</sub>, y a una temperatura de 20 °C) Se expresa en mg O<sub>2</sub>/L<sup>16</sup>.
- **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 O<sub>2</sub>/L<sup>16</sup>.
- **TOC:** Carbono Orgánico Total, da una idea de la carga orgánica de las aguas residuales debido a compuestos en base al Carbono. Tiene la ventaja de la rapidez analítica en su determinación; sin embargo, presenta el inconveniente de que es necesario separar la materia en suspensión<sup>16</sup>.

## CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE MATADERO

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<sup>16</sup>.

- **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/m<sup>2</sup> 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 en materia orgánica. La sangre cruda del animal tiene una DBO<sub>5</sub> de 200 000 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.
- 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): En 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 DBO<sub>5</sub> de 80 000 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/m<sup>2</sup> y día.

Estos valores serán diferentes en función de la periodicidad del sistema de lavado, de los sistemas de filtrado para la separación de los sólidos, del tipo de ganado sacrificado, si se realiza o no el vaciado y limpieza de tripas y estómagos, etc<sup>16</sup>.

## **TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS**

Una planta de tratamiento para efluentes de camales, requiere ser diseñada para remover los niveles de contaminantes de parámetros tales como: DBO<sub>5</sub>, DQO, grasas y aceites, sólidos suspendidos y microorganismos patógenos, entre otros. Así mismo, la planta de tratamiento debe contar con una red para la recolección de aguas residuales, para:

- Drenaje de la sangre.
- Desagües de los corrales y del estiércol de las tripas.
- Desagüe de las áreas de la matanza, los subproductos y su tratamiento.
- Desagüe de residuos domésticos<sup>16</sup>.

El nivel de tratamiento depende de la disponibilidad de recursos de municipio y del uso al que destine el curso receptor.

A continuación, se describe de manera resumida, los procesos de tratamiento que pueden utilizarse para mataderos municipales.

- **Pre-tratamiento**

Consiste en retener los sólidos y grasas que arrastra el agua y que podrían, por su tamaño y características, entorpecer el normal funcionamiento de la planta de tratamiento<sup>16</sup>.

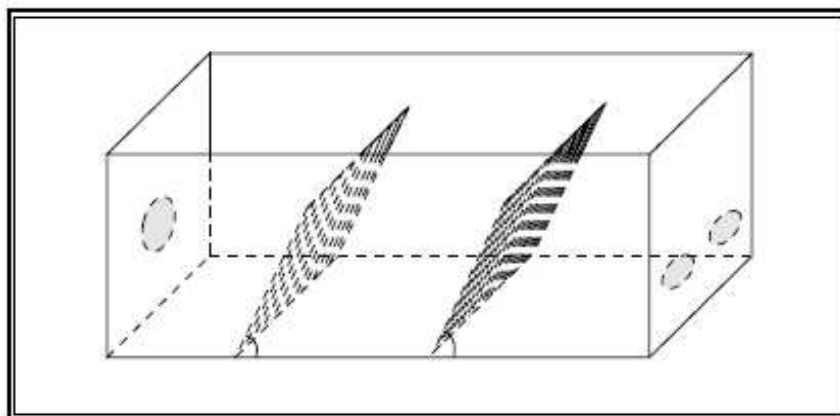
- Rejas:

Dispositivos con aberturas de tamaño uniforme, donde quedan retenidas las partículas gruesas del efluente. El paso libre entre barras, se recomienda sea de 50 a 100 mm para sólidos gruesos y de 12 a 20 mm para 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. La figura 8 presenta un sistema de rejillas inclinadas.

- Trampa de grasas:

Consisten en un estanque rectangular, en el cual la sustancia grasa es empujada a la superficie y atrapada por una pantalla vertical.

Figura 8. Esquema del sistema de pre-tratamiento (sistema de rejillas inclinadas)



Fuente: “Guía Básica de Manejo Ambiental de Rastros Municipales” Silva Harold y Samperi José, (2004), CPML

- **Tratamiento Primario**

Consiste en la remoción de una cantidad importante de sólidos suspendidos y sedimentables, contenidos en las aguas residuales, mediante procesos físicos y/o químicos<sup>16</sup>.

Existen diferentes opciones de tratamiento primario, a continuación se describe brevemente algunas de ellas:

- Estanque homogeneizador:

Requiere de un tanque aireador, con una capacidad aproximada de 60 % del flujo diario, donde caudales punta, pH y temperatura son homogenizados, resultando un efluente de características uniformes. El volumen del tanque de homogenización se calcula haciendo uso de un balance de masa para la instalación.

- Flotación:

Se utiliza para remover sólidos suspendidos y grasas remanentes; tiene mayor eficiencia que las rejillas y las trampas. La eficiencia puede incrementarse agregando floculantes químicos (Al, sales de Fe, 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:

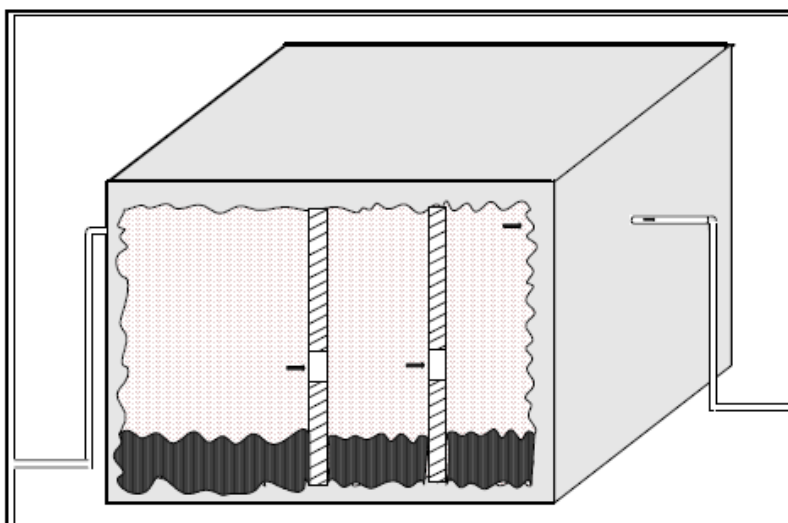
Unidad rectangular que ayuda a eliminar los sólidos suspendidos y las grasas que se encuentran en un efluente. En estas unidades, el agua residual es llevada a condiciones de reposo, lo que permite que haya una buena sedimentación de sólidos, permitiendo una buena digestión por



microorganismos anaerobios especializados. Se requiere que estos microorganismos permanezcan durante algún tiempo en el interior de la fosa.

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 bacteriana. Los principales parámetros de diseño son: caudal de diseño, volumen destinado para el almacenamiento de lodos y profundidad. La figura 9 muestra un tanque séptico de forma rectangular.

Figura 9. Esquema del tratamiento primario  
(tanque séptico de forma rectangular)



Fuente: "Guía Básica de Manejo Ambiental de Rastros Municipales" Silva Harold y Samperi José, (2004), CPML

El 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.

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 deben ser rodeadas por una cerca para prevenir el acceso público. El mantenimiento adicional mínimo es requerido para cualquier tecnología<sup>26</sup>.

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.

- **Tratamiento Secundario**

Consiste en la oxidación biológica de los sólidos suspendidos remanentes y de los sólidos orgánicos disueltos, medida como una reducción en la DBO<sub>5</sub> del efluente<sup>16</sup>.

La selección de un sistema de tratamiento secundario, dependerá de un gran número de factores, entre los más importantes están: requerimientos del efluente (estándares de descarga), sistema de pre-tratamiento escogido, la disponibilidad de terreno, regulaciones ambientales locales y factibilidad económica de un planta de proceso<sup>16</sup>.

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.

El agua residual de mataderos presenta una relación DQO/DBO entre 1,5 y 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<sup>16</sup>.

➤ Tratamiento aeróbico:

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.

Por tanto, la depuración biológica consiste básicamente en un reactor, donde los microorganismos transformen la materia orgánica en agua depurada, productos volátiles como  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_3$  y materia viva.

Todos los métodos de tratamiento aeróbico pueden ser aplicados a los efluentes de camales: lagunas aireadas, lodos activados, filtros de goteo, etc.<sup>16</sup>

➤ Tratamiento anaerobio:

El tratamiento anaerobio de las aguas residuales consta de dos etapas: fermentación ácida y fermentación metanogénica.

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 etapa de fermentación metanogénica, microorganismos estrictamente anaerobios, convierten estos ácidos de cadena corta principalmente en metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

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 menor, 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  $20\text{ }^{\circ}C$ , la sedimentación de los fangos es más difícil, y otros. Debido a estos factores, el uso de tratamiento biológico anaerobio no es aconsejable en los mataderos ubicados en sitios templados o fríos<sup>16</sup>.

#### **2.5.2.1 Pantanos o Humedales artificiales**

Los humedales construidos son sistemas pasivos de depuración constituidos por lagunas o canales poco profundos (menores a 1 m) sembrados con plantas propias de zonas húmedas (macrófitas acuáticas) y en los que los procesos de descontaminación son ejecutados simultáneamente por componentes físicos, químicos y biológicos<sup>10</sup>.

Los humedales construidos se han clasificado tradicionalmente en dos tipologías atendiendo a si la circulación del agua es de tipo subsuperficial o superficial.

La mayoría de los humedales naturales son sistemas de flujo libre superficial en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera. Un humedal artificial de flujo subsuperficial (SSF) está diseñado específicamente para el tratamiento de algún tipo de agua residual, o su fase final de tratamiento<sup>30</sup>, ya que se puede obtener un aumento en la eficiencia sobre humedales construidos con flujo en la superficie, además de estar lejos del contacto humano, tener disminución de olores desagradables, y disminución en la proliferación de mosquitos<sup>26</sup>.

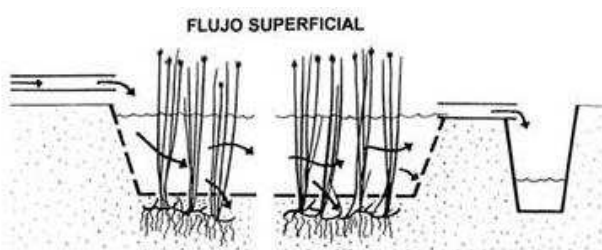
### 2.5.2.1.1 Humedales de Flujo Superficial

En los humedales de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos de las macrófitas, como se puede observar en la figura 10. Este tipo de humedales se pueden entender como una modificación de lagunas de oxidación convencionales con menor profundidad (no mayor a 0,4 m) y con plantas<sup>10</sup>.

### 2.5.2.1.2 Humedales de Flujo Subsuperficial

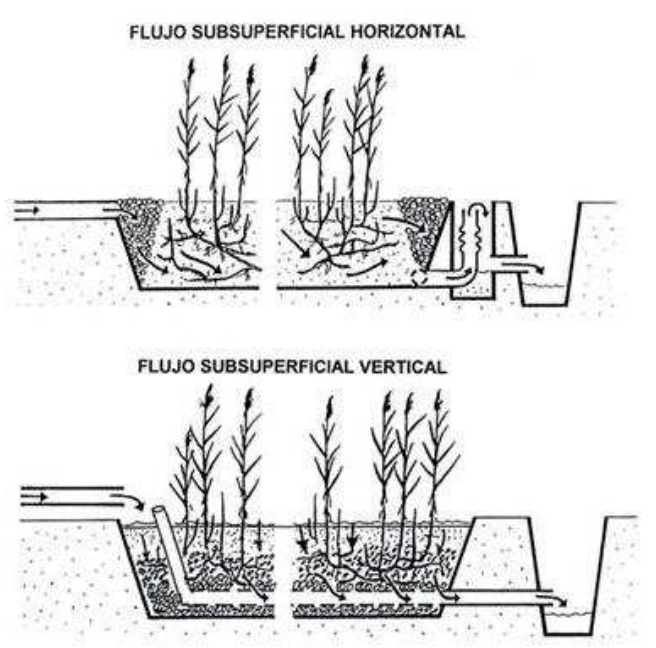
En los humedales de flujo subsuperficial, la circulación del agua es a través de un medio granular (con una profundidad de la lámina de agua de alrededor de 0,6 m) y en contacto con los rizomas y raíces de las macrófitas (como se puede observar en la figura 11). Este tipo de humedales se entienden como una modificación de los sistemas clásicos de infiltración en el terreno. Así, los humedales de flujo subsuperficial forman parte de los sistemas naturales de depuración basados en la acción del terreno<sup>10</sup>.

Figura 10. Esquema de un humedal construido de flujo superficial



Fuente: "Depuración con Sistemas Naturales: Humedales Construidos" García Joan, Morató Jordi y Bayona Josep, (2007), Universidad de Sevilla.

Figura 11. Esquema de humedales construidos de flujo subsuperficial con flujo horizontal y con flujo vertical.



Fuente: “Depuración con Sistemas Naturales: Humedales Construidos” García Joan, Morató Jordi y Bayona Josep, (2007), Universidad de Sevilla

Los humedales de flujo subsuperficial se clasifican según el sentido de circulación del agua en horizontales o verticales.

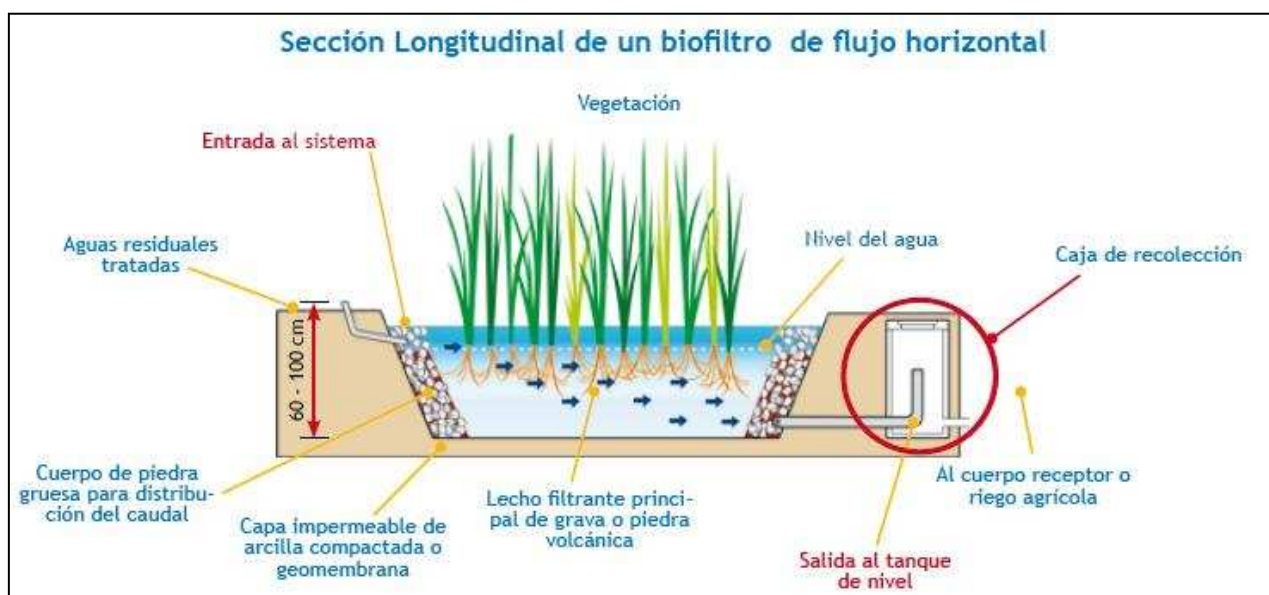
a) Humedales subsuperficiales de flujo horizontal

Los humedales con flujo horizontal funcionan permanentemente inundados, aunque también hay algunos con sistemas intermitentes<sup>10</sup>.

En este tipo de biofiltro (ver figura 12), las aguas residuales pretratadas fluyen lentamente desde la zona de distribución en la entrada de la pila, con una trayectoria horizontal a través del lecho filtrante, hasta llegar a la zona de recolección del efluente. Durante este recorrido, que dura de 3 a 5 días, el agua

residual se contacta con zonas aeróbicas y anaeróbicas, ubicadas las primeras alrededor de las raíces de las plantas (los rizomas fijan los metales) y las segundas en las áreas lejanas a las raíces (microorganismos remueven los patógenos). Durante su paso a través de las diferentes zonas del lecho filtrante, el agua residual es depurada por la acción de microorganismos que se adhieren a la superficie del lecho y por otros procesos físicos tales como la filtración y la sedimentación<sup>6</sup>.

Figura 12. Sección longitudinal de un biofiltro de flujo horizontal



Fuente: "Manual Técnico de Difusión Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para Albergues en Zonas Rurales" Carrión Gladys, (2008), CALTUR

b) Humedales subsuperficiales de flujo vertical

Los humedales con flujo vertical se diseñan con funcionamiento intermitente, es decir, tienen fases de llenado, reacción y vertido. La intermitencia y la capacidad de inundación permanente, confieren propiedades muy diferentes a los sistemas verticales y horizontales respectivamente. En particular afectan mucho la transferencia de oxígeno y por tanto al estado de óxido-reducción del humedal<sup>10</sup>.

- VENTAJAS DE LOS HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL RESPECTO A LOS DE FLUJO SUPERFICIAL

Las principales ventajas de los humedales de flujo subsuperficial respecto a los de flujo superficial son:

- Menor incidencia de malos olores debido a la naturaleza subterránea del flujo.
- Bajo riesgo de exposición directa de las personas y de aparición de insectos gracias también al flujo subterráneo.
- Protección térmica debida a la acumulación de restos vegetales y del flujo subterráneo. También evita la aparición de gradientes térmicos acusados<sup>10</sup>.

- INCONVENIENTES DE LOS HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL RESPECTO A LOS DE FLUJO SUPERFICIAL

Entre los inconvenientes cabe destacar:

- Mayor costo de construcción debido fundamentalmente al material granular.
- Menor valor como ecosistemas para la vida silvestre debido a que el agua es difícilmente accesible a la fauna<sup>10</sup>.

#### *2.5.2.1.3 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)<sup>26</sup>.



## 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<sup>14</sup>.

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.<sup>14</sup>

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 (U.S. Environmental Protection Agency, 2000)<sup>14</sup>.

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 sí permitiría el proceso de nitrificación-desnitrificación<sup>14</sup>.

Los helófitos tienen un efecto termoregulador sobre el sistema, aminorando la insolación en verano y actuando como aislantes en invierno, con un efecto positivo sobre los procesos biológicos. Además, de las funciones arriba mencionadas, los helófitos aportan una calidad estética a este tipo de instalaciones<sup>14</sup>.

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<sup>14</sup>.

### **Eliminación de DBO<sub>5</sub>**

La eliminación de la DBO<sub>5</sub> particulada ocurre rápidamente por sedimentación y filtración de partículas de los espacios entre la grava y las raíces. La DBO<sub>5</sub> 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 DBO<sub>5</sub> del efluente. Se puede obtener una DBO<sub>5</sub> por debajo de 25 mgO<sub>2</sub>/L, aunque no es posible bajar de una DBO<sub>5</sub> de 7-10 mgO<sub>2</sub>/L, que parece proceder de residuos orgánicos del propio sistema, y no del agua residual original<sup>14</sup>.

Estudios realizados por la EPA (U.S. Environmental Protection Agency, 2000), indican que la  $\text{DBO}_5$  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 (L:W), generalmente se recomendaba 10:1, sin embargo, no se ha encontrado ninguna relación entre el aspecto del humedal y su capacidad de eliminación de  $\text{DBO}_5$ , ya que humedales con relaciones de 2:1 hasta 17:1, tenían el mismo rendimiento en % de  $\text{DBO}_5$  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. En algunos casos se instalan diferentes puntos de aplicación del agua al humedal<sup>14</sup>.

### **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  $\text{DBO}_5$ , 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 (L:W).

### **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 aproximadamente 3 g de  $\text{DBO}_5$ <sup>14</sup>. 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.

Sin embargo, en algunos casos se han obtenido importantes reducciones, asociadas a un aporte de oxígeno por las raíces de las plantas, en sistemas de poca profundidad (0,3 m).

La cosecha frecuente de la vegetación incrementa el rendimiento en eliminación de N, sin embargo, esta operación aumenta los costos de mantenimiento<sup>14</sup>.

### **Eliminación de fósforo**

La cantidad de P en el efluente es prácticamente igual que en el 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<sup>14</sup>, lo que no es problema para el caso de las aguas residuales del camal ya que no son ricas en este elemento<sup>14</sup>.

#### 2.5.2.1.4 Ventajas de los humedales

Al igual que otros sistemas naturales de depuración, los humedales construidos presentan algunas ventajas frente a los sistemas convencionales mecanizados, entre las cuales cabe destacar <sup>10</sup>:

- ✓ Simplicidad en la operación. Requieren un tiempo bajo de operarios y pocos equipos electromecánicos. Pueden ser explotados por operarios con poca experiencia en tratamiento de aguas residuales.
- ✓ Consumo energético mínimo o nulo.
- ✓ Baja producción de residuos durante la operación del sistema. Los residuos y fangos se suelen limitar a los generados por el pre - tratamiento y el tratamiento primario.
- ✓ Bajo costo de explotación y mantenimiento en la operación del sistema. Esta ventaja es en realidad una consecuencia de las anteriores.
- ✓ Los humedales artificiales son eficaces en la remoción de contaminantes de cualquier vertido de agua residual de tipo doméstico, industrial, agrícola o minero.
- ✓ Fiabilidad en la operación del sistema de tratamiento. Son sistemas con tiempos de permanencia hidráulicos muy altos con lo que variaciones puntuales de caudal o carga contaminante afectan poco al nivel de depuración.
- ✓ Bajo impacto ambiental sonoro y buena integración en el medio ambiente natural<sup>10</sup>.

- ✓ Los humedales artificiales son más convenientes que las alternativas convencionales porque pueden constituir ecosistemas que formen parte del paisaje natural dándole un valor paisajista y estético<sup>6</sup>.

#### *2.5.2.1.5 Desventajas de los humedales*

Los principales inconvenientes frente a los sistemas convencionales son:

- ✓ Larga puesta en marcha. Desde algunos meses o un año en sistemas con flujo subsuperficial hasta varios años en sistemas con flujo superficial.
- ✓ Pocos o ningún factor de control durante la operación. En muchos casos sólo se puede controlar la profundidad del agua. Los errores de diseño o constructivos son muy difíciles de corregir de forma sencilla. Si el efluente no tiene la suficiente calidad es complicado mejorarlo sin la necesidad de hacer una nueva inversión.
- ✓ Los de flujo subsuperficial son muy susceptibles a la colmatación del medio granular si el agua tiene un contenido elevado en determinados contaminantes, como por ejemplo grasas y aceites. También se colmatan si reciben aportes continuados de materiales finos inertes, por ejemplo debido a la escorrentía superficial<sup>10</sup>.

#### *2.5.2.1.6 Recomendaciones para la Operación y Mantenimiento de los Humedales Artificiales*

- ✓ Los posibles operadores deberían ser parte de las fases constructivas, de tal manera que ellos puedan familiarizarse con todos los componentes del sistema.

- ✓ Se necesita dar atención diaria a los lechos para estar seguros de que ellos están saturados pero no inundados.
- ✓ El tanque sedimentador debe ser diariamente inspeccionados para asegurar que los sólidos no están pasando a los humedales, así mismo se debe retirar las espumas y grasas que flotan en el tanque.
- ✓ Verificar constantemente el crecimiento saludable de las plantas, malos olores, agua sobre la superficie, inundaciones, limpieza, buen mantenimiento, seguridad, etc.
- ✓ Es necesario la toma de muestras por lo menos 2 veces durante el primer año en el ingreso del sistema de tratamiento y el efluente final. En el segundo año, se puede evaluar 1 vez, a fin de monitorear la remoción de coliformes fecales<sup>6</sup>.

### **2.5.3 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. En cuanto a las emisiones de ruido, así como generación de vapores en el proceso de chamuscado (sacrificio porcino), no son representativos, 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.

\* Los ruidos pueden suponer un riesgo si no se gestionan adecuadamente. Se deben a las instalaciones de frío necesarias para la conservación o congelación de las canales.

\* 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<sup>18</sup>.

- **Control de la contaminación atmosférica y ruido**

Para evitar la generación de olores, es necesario realizar un adecuado manejo de residuos como rumen, pezuñas, huesos, cuernos y estiércol, implementando una adecuada frecuencia de recolección de los residuos y almacenándolos en sitios ventilados<sup>10</sup>. Debe tenerse especial atención a la contaminación atmosférica provocada por la quema a cielo abierto de desechos o crematorios, en el caso que se tengan. Esta actividad puede ser una fuente de contaminación importante, principalmente si el rastro no está localizado a una distancia mínima recomendada, de 1 km de un área urbana. Al realizar quemas se deben de prever las acciones y medidas de protección de los trabajadores y la minimización de la contaminación<sup>28</sup>.

Las principales fuentes generadoras de ruidos en los rastros son los animales, la maquinaria (sierras y sistemas de ventilación) y los vehículos de transporte. Para evitar problemas como sordera se deben de tomar en cuenta medidas como las siguientes:

- Sustitución de algunos de los equipos (sierras y sistemas de ventilación) existentes por otras menos ruidosas.
- Redistribución de las máquinas en el local, situando las más ruidosas en los lugares donde su influencia sea menor.
- Limitación de los tiempos de permanencia de los trabajadores en las zonas particularmente ruidosas.
- Utilización de equipos protectores personales por parte de los trabajadores expuestos a niveles sonoros particularmente elevados<sup>28</sup>.



## **CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA**

### **3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO**

#### **3.1.1 GENERALIDADES DEL CAMAL DE ANTONIO ANTE**

El camal en estudio está ubicado en un sector semi-rural del cantón Antonio Ante, en la calle Catabamba de la parroquia de Andrade Marín.

El cantón tiene una superficie de 79 km<sup>2</sup>, y cuenta con una población de 45 184 hab.; se ubica a una altitud media de 2 360 m.s.n.m. y su temperatura media es de 15,4 °C.

El camal funciona como un departamento del Municipio de Antonio Ante y a cargo de la Administración se encuentra el médico veterinario Pablo Jácome, quien también realiza las inspecciones anterior y posterior a la muerte del ganado.

Se presta servicio de faenamiento de ganado bovino y porcino, cuya carne y demás productos como cabeza, piel, sangre, vísceras y patas se las entrega al dueño del animal. Los costos del servicio son utilizados para pago de salarios a los trabajadores, el resto de gastos como mantenimiento y productos de limpieza son financiados por el Municipio.

En el camal trabajan 3 personas en el área de faenamiento de ganado bovino y 3 personas en el área de ganado porcino.

Se faena todos los días excepto los martes y domingos, siendo los días sábado los de mayor demanda. En el cuadro 3, se muestra el promedio de ganado que se faena por día.

Cuadro 3. Promedio de animales faenados diaria, semanal y mensualmente.

	<b># Bovinos faenados/día</b>	<b># Porcinos faenados/día</b>
Lunes	1	1
Miércoles	2	3
Jueves	3	5
Viernes	17	26
Sábado	32	50
<b>Total semanal</b>	<b>55</b>	<b>85</b>
<b>Total mensual</b>	<b>220</b>	<b>340</b>

Como medida de control ambiental para la disminución de impactos producidos por la descargas de los efluentes del proceso, el camal cuenta con un canal, el cual recolecta todas las aguas residuales del camal, éstas pasan por rejillas para impedir el paso de material sólido, mientras que el líquido pasa a un pequeño tanque de sedimentación antes de ser descargadas al alcantarillado. Sin embargo, se puede observar en dicho tanque una gran acumulación de material sólido.

Las instalaciones son lavadas de manera continua en las jornadas de sacrificio y faenado, dada la cantidad de sangre, rumen y otros residuos que se producen y que de no retirarse obstaculizarían las actividades y taponarían los conductos de evacuación de residuos líquidos.

En cuanto a los residuos sólidos, no se aprecia un gran impacto ambiental, pues las cabezas, patas y pieles, y la sangre, son recolectados y entregados al dueño

del animal. La sangre se usa para consumo humano (platos típicos como el yahuarlocro y el caldo de mondongo). La bilis también es recolectada y vendida. Por el contrario, otros sólidos como el estiércol de los corrales, rumen, contenido intestinal, grasas, pelos, etc., no reciben gestión alguna, solamente son recolectados y enviados al camión de recolección de residuos sólidos.

El camal está distribuido en las siguientes áreas:

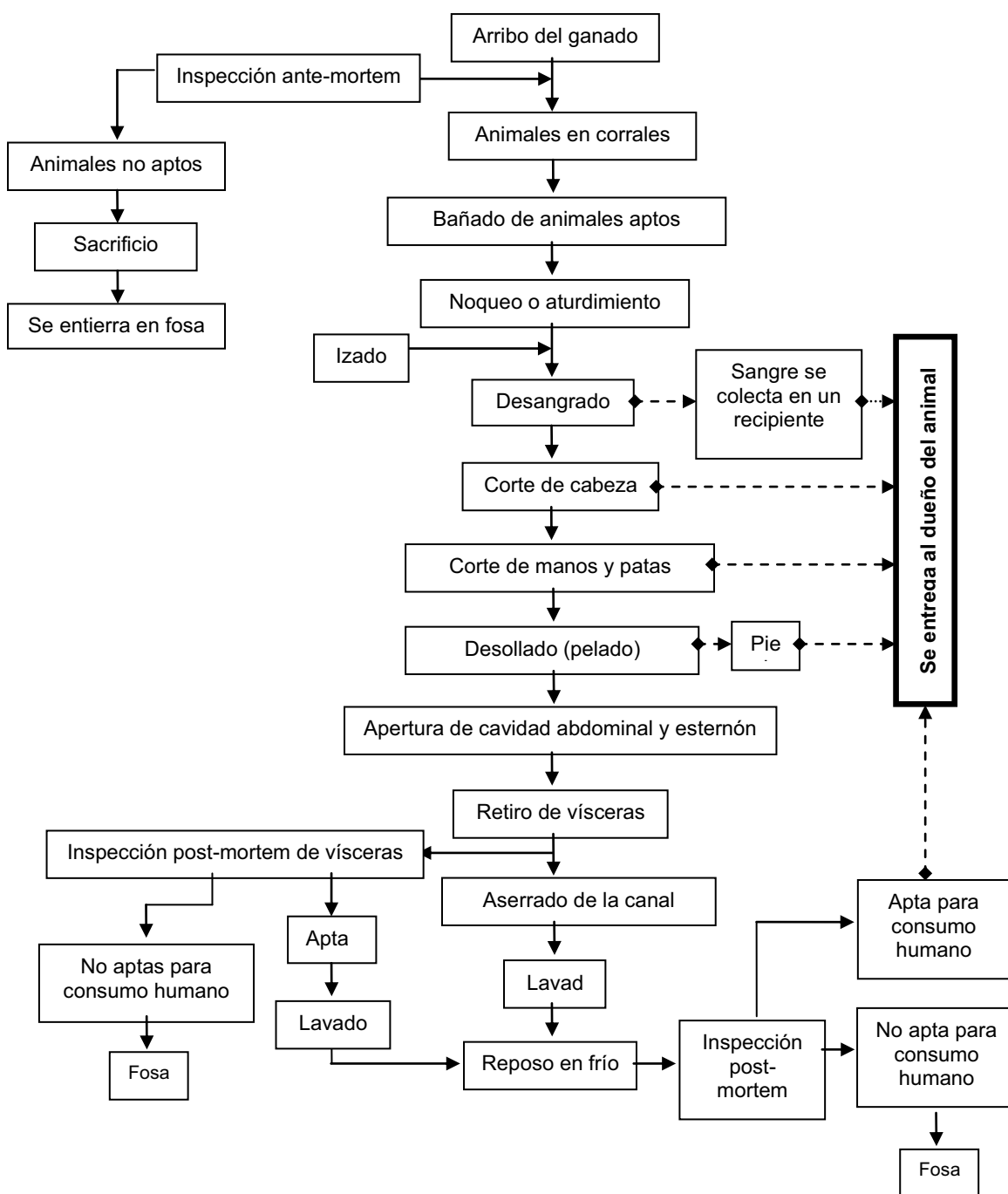
(Ver anexo 1)

- Externa:
  - Corrales de ganado mayor (bovino)
  - Corrales de ganado menor (porcino)
  
- Interna:
  - Oficina
  - Vestidor de hombres
  - Vestidor de mujeres
  - Laboratorio
  - Baño
  - Bodega
  - Área de sacrificio de ganado bovino: en la cual está el cajón de noqueo, rieles de elevación, área de desangrado, cuarto de desollado y cuarto de lavado de vísceras.
  - Área de sacrificio de ganado porcino: al igual que el área de ganado bovino, cuenta con un cajón de noqueo, área de desangrado, y cuarto de lavado de vísceras, además, cuenta con el área de escaldado y pelado, área de chamuscado y evisceración.
  - 2 frigoríficos o cuartos fríos (uno para almacenar las canales de ganado bovino y otro para el ganado porcino)
  - Sala de máquinas

### 3.1.2 PROCESO DE FAENAMIENTO DE GANADO BOVINO

La figura 13 presenta el proceso de faenamiento.

Figura 13. Esquema del proceso de faenamiento de ganado bovino en el camal Antonio Ante.



### **3.1.2.1 Inspección ante-mortem**

Luego del arribo de los animales al camal, éstos pasan a los corrales en los que el médico veterinario realiza la verificación sanitaria previa al sacrificio. Mediante esta práctica se puede detectar la posible presencia de enfermedades en los animales y así es posible separar los sanos de los enfermos, permitiendo seleccionar los animales aptos para el sacrificio. El animal debe reunir las siguientes características: sostenerse en sus cuatro miembros mientras se encuentre parado, caminar normalmente, piel elástica y suave, respirar 10 - 20 veces/min, fosas nasales húmedas y frescas, pulso de 80 - 90 latidos/min y una temperatura corporal entre 35 - 40 °C.

No se sacrifican animales que no cumplan con los requisitos anteriores, ni que estén con enfermedades o en avanzado estado de preñez.

Cuando existan signos de enfermedad, el animal deberá ser identificado y excluido de la matanza normal para evacuarlo a un corral de aislamiento previsto para tal efecto, donde será:

- a) Sometido a un examen detallado, observación o tratamiento; o
- b) sacrificado en condiciones especiales de modo que se impida la contaminación de los locales, el equipo y el personal.

### **3.1.2.2 Bañado de los animales aptos**

Luego de la inspección ante mortem en los corrales, los animales aptos pasan a una pequeña cámara, en la que, antes del sacrificio, el animal es duchado mediante chorros de agua fría a presión. La importancia sanitaria del bañado de los animales antes del sacrificio, radica en la eliminación o reducción de la suciedad presente en el cuero de los mismos (restos de excremento, orina,

alimento, secreciones, ectoparásitos, etc.) evitando que al momento del sacrificio, exista una contaminación excesiva, tanto de las instalaciones como de las canales o de la sangre para consumo humano.

### **3.1.2.3 Noqueo o aturdimiento**

Luego del baño, el animal pasa a la caja de insensibilización, mediante una rampa de conducción, donde se realiza el proceso de aturdimiento, que consiste en ocasionar la pérdida del conocimiento de los animales antes de ser desangrados.

Se utilizan los siguientes procedimientos para insensibilización de ganado vacuno: descarga eléctrica, uso de pistolas neumáticas o de perno cautivo, y uso de la puntilla.

En el camal de Antonio Ante se utiliza el aturdimiento de puntilla, que consiste en succionar la médula espinal, evitándose lesiones a la masa cerebral.

El aturdimiento se lo hace lo más rápido posible para mejorar el desangrado, y proporcionar una carne baja en acidez.

### **3.1.2.4 Izado**

Se realiza colocando un grillete en la pata izquierda y elevando el conjunto (grillete - animal), con la ayuda de un diferencial, hasta enganchar el grillete en un riel, denominado de sangría. El diferencial consiste en una grúa que es accionada eléctricamente a fin de elevar el animal hasta enganchar el grillete de sangría en el respectivo riel.

La importancia del izado del animal radica, en evitar la contaminación al realizar la faena en el piso.

### 3.1.2.5 Desangrado

Una vez aturdido e izado el animal, se procede a realizar un desangrado lo más completo posible, en un lapso de 3 a 5 min, procedimiento que se lo hace mediante el corte de las arterias carótidas y la vena yugular en la base del cuello, seccionando los vasos sanguíneos y provocando la salida de la sangre y muerte del animal.

La sangre es recolectada en un recipiente plástico (ver fotografía 1), entregándose al dueño del animal y en la mayoría de casos es destinada a la comercialización para consumo humano.

Fotografía 1. Desangrado de ganado bovino.



### 3.1.2.6 Remoción de cabeza

Esta labor se efectúa manualmente con la ayuda de un cuchillo. Luego de su remoción, la cabeza es limpiada y lavada para su verificación. Las cabezas son colgadas en el gancho de cabezas con la lengua expuesta. El manejo de las cabezas es separado del flujo que sigue la canal, aunque se asegura la

identificación de éstas respecto a la canal correspondiente, por si se llega a encontrar alguna anomalía en la verificación post-mortem.

### **3.1.2.7 Corte de manos y patas**

Con un cuchillo se separan las manos y patas, éstas son colocadas en su área respectiva y al igual que la cabeza, se asegura su identificación respecto a la canal correspondiente (ver fotografía 2).

Fotografía 2. Corte de patas del ganado bovino



### **3.1.2.8 Desollado**

Una vez eliminadas las manos y patas, se inicia el proceso de desollado. Se desprende la piel que se encuentra adherida a lo largo de las regiones ventral y dorsal. La piel se retira en su totalidad con la ayuda de procedimientos mecánicos o manualmente con cuchillos. En el camal de Antonio Ante se realiza este procedimiento de manera mecánica (ver fotografía 3).



Fotografía 3. Desollado mecánico de ganado bovino



### 3.1.2.9 Apertura de cavidad abdominal y esternón

Para su efecto, con un hacha se hace incisión en la línea blanca del pecho y se introduce una sierra eléctrica, para cortar los huesos del esternón (ver fotografía 4).

### 3.1.2.10 Retiro de vísceras

Se trata de separar del animal los órganos genitales, las vísceras blancas y rojas. Primero se realiza la separación de las vísceras blancas, la cual está conformada por los estómagos e intestinos de los animales (ver fotografía 5). Se facilita la extracción practicando una incisión con un cuchillo, a lo largo de la línea media ventral y retirando todo el conjunto de órganos mencionados anteriormente.

El segundo paso es la separación de la víscera roja, que está conformada por el hígado, el corazón, los pulmones, la tráquea, el esófago, y los riñones. En la

práctica se separa primero el bazo; posteriormente el conjunto formado por el hígado, el corazón, la tráquea, el esófago y los pulmones y finalmente los riñones.

Posteriormente el paquete conformado por las vísceras se somete a inspección sanitaria, las no aptas para el consumo se las deposita en una fosa y las aptas pasan a ser lavadas.

Fotografía 4. Apertura de la cavidad abdominal y esternón



Fotografía 5. Retiro de vísceras



### 3.1.2.11 Aserrado de la canal

Separadas las vísceras, se procede a practicar la división de la canal en dos mitades o medias canales. Esta labor se efectúa con la ayuda de una sierra eléctrica. Dividida completamente la canal, se retira la medula espinal manualmente, y se practica un movimiento de antebrazo de abajo hacia arriba con el fin de posibilitar la salida de la sangre acumulada en los grandes vasos sanguíneos.

Se procede al lavado de canales, inspección post mortem y las canales no para el consumo son depositadas en la fosa y las aptas pasan a un cuarto frío para posteriormente ser entregadas al dueño del animal.

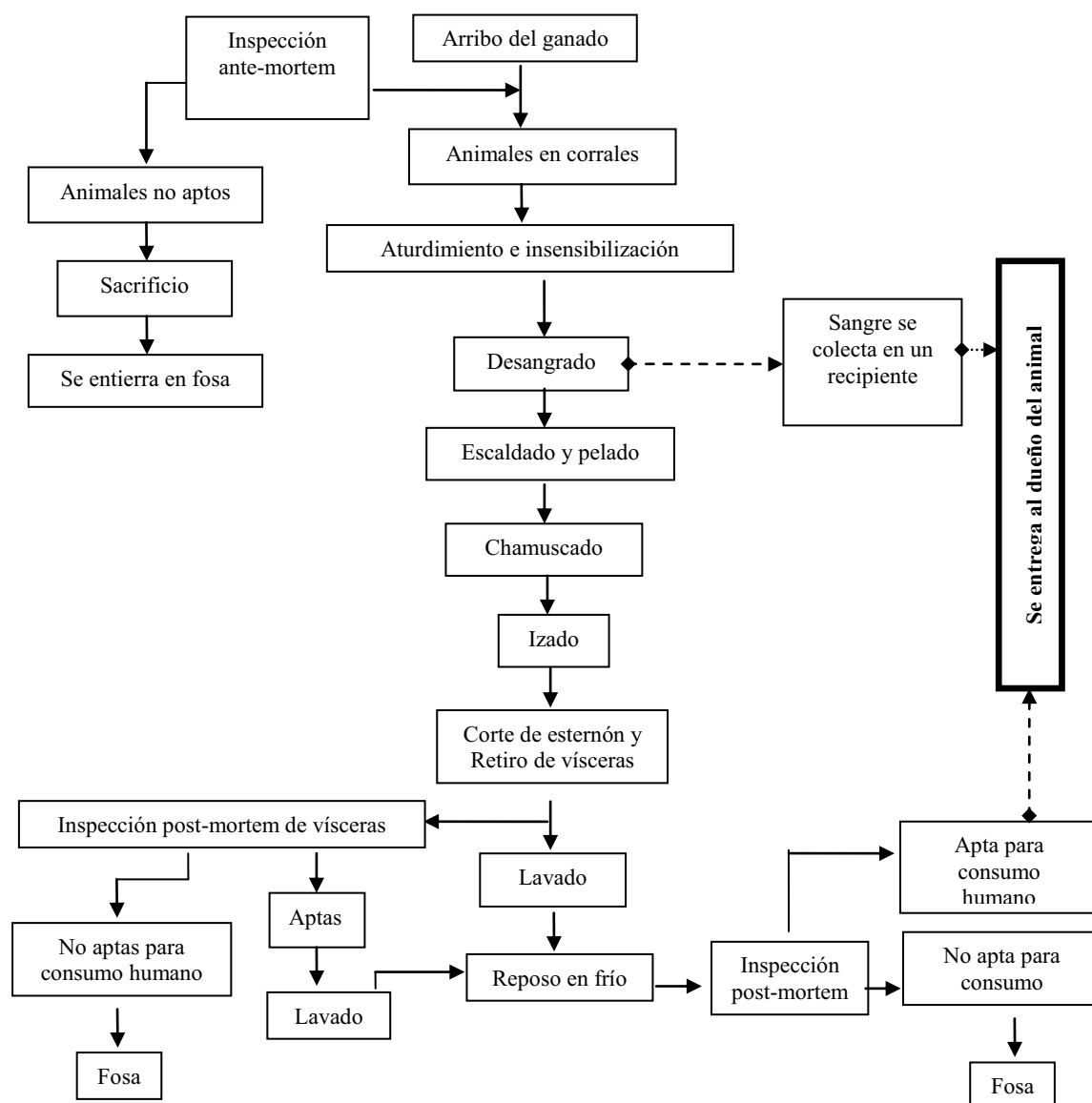
Fotografía 6. Aserrado de la canal



### 3.1.3 PROCESO DE FAENAMIENTO DE GANADO PORCINO

En la figura 14 se observa el diagrama de faenamiento de ganado porcino.

Figura 14. Esquema del proceso de faenamiento de ganado porcino en el camal Antonio Ante



Al igual que en el proceso de sacrificio de ganado bovino, en el de porcino se realiza una inspección ante mortem de los animales que se encuentran en el

corral, los que tienen alguna enfermedad son tratados por el veterinario, los que están aptos pasan a ser sacrificados.

### 3.1.3.1 Aturdimiento e insensibilización

Para tal efecto se aplica un aturdidor eléctrico colocando los polos tras las orejas, la aplicación de la corriente se mantiene pocos segundos, según la edad, el tamaño y peso de animales, se aplican voltajes de 300-350 V. (Ver fotografía 7)

Luego del noqueo se procede desangrar al animal, la sangre es recolectada en un recipiente y posteriormente entregada a su dueño para consumo humano.

Fotografía 7. Aturdimiento eléctrico de ganado porcino



### 3.1.3.2 Escaldado y depilado

Luego del aturcido y sangrado, se sumerge al animal en agua caliente. La temperatura del agua debe estar entre los 60 - 63 °C y el tiempo de escaldado varía dependiendo de las características de los animales (5 a 7 min. aprox.). Ver fotografía 8. El objeto del escaldado es ablandar la piel para facilitar el depilado del animal, el cual se lo realiza con un cuchillo depilador. Ver fotografía 9.

Fotografía 8. Tina de escaldado de cerdos



Fotografía 9. Depilado de un cerdo luego del ser escaldado.



### 3.1.3.3 Flameado o Chamuscado

El Chamuscado constituye una operación complementaria a las de escaldado y depilado, ya que las operaciones mencionadas no suelen eliminar completamente el pelo.

El chamuscado carboniza los restos de pelo que han quedado después del pelado. Ver fotografía 10.

Fotografía 10. Chamuscado de un cerdo.



### 3.1.3.4 Corte del esternón y extracción de las vísceras

El esternón se abre con un hacha, se extraen las vísceras blancas y las rojas, las cuales se inspeccionan y se envían a las respectivas áreas, donde posteriormente

son inspeccionadas, las que son aptas para el consumo humano son lavadas y las que no, son enviadas a la fosa. Ver fotografía 11.

Fotografía 11. Extracción de vísceras de un cerdo.



Fotografía 12. Lavado de vísceras de cerdos





### 3.1.3.5 Lavado

La canal es lavada con chorros de agua fría, posteriormente se realiza la inspección post mortem para luego ser enviada al cuarto frío y por último ser entregada al dueño del animal. Ver fotografía 12.

## 3.2 CAMPAÑA DE MUESTREO DE EFLUENTES Y RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO

El muestreo se realizó un sábado, por ser el día de mayor actividad en el camal de Antonio Ante.

Se tomaron 3 muestras representativas del proceso, bajo la siguiente frecuencia:

- Muestra 1: 04:00 (una hora luego del iniciada la jornada)
- Muestra 2: 09:30 (a media jornada)
- Muestra 3: 15:30 (hora crítica -segundo lavado de tripas- final de la jornada)

Las 3 muestras fueron tomadas en la pequeña piscina de descarga de las aguas residuales del camal, en un punto estratégico con buen grado de mezcla de los efluentes.

Fotografía 13. Toma de muestras



Fotografía 14. Estabilización de las muestras con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

El cuadro 4 muestra la concentración de los parámetros físico - químicos de interés en efluentes del camal de Antonio Ante.

Cuadro 4. Resultados muestreo de los efluentes del camal de Antonio Ante <sup>(a)</sup>

<b>PARÁMETRO</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Límite máximo permisible<sup>(b)</sup></b>
pH <sup>(c)</sup>	7	7	6	5-9
TOC (mg/L)	125,8	185,4	312,6	-
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L) <sup>(d)</sup>	218,2	329,7	565,6	250
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	390	634	1 660	500
Sólidos Totales Sedimentables (ml/L)	8	19	50	20
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	369	614	990	220
Sólidos Totales (mg/L)	1 341	1 869	2 281	1 600

<sup>(a)</sup> Resultados del análisis físico-químico de las muestras de agua realizado en el LABORATORIO DE AGUAS Y MICROBIOLOGÍA del Departamento de Ciencias

Nucleares de la Escuela politécnica Nacional. No. de Informe: LAM/IR/2010/027. Ver anexo 3.

<sup>(b)</sup> TULSMA, LIBRO VI, ANEXO 1 (NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA), TABLA 11 (Límites de descarga al sistema de alcantarillado público)

<sup>(c)</sup> La medición del pH se la hizo in-situ utilizando bandas para medición de pH.

<sup>(d)</sup> Debido a que las muestras fueron conservadas con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, no es posible analizar la DBO<sub>5</sub>, razón por la cual, este parámetro fue calculado a partir del TOC.

Las relaciones entre TOC y la DBO dependen de la composición del agua, para aguas residuales que contienen compuestos fácilmente oxidables por vía biológica o química, como las aguas residuales de matadero, se tienen correlaciones relativamente buenas como la siguiente<sup>17</sup>:

$$DBO_5 = 1,87 * TOC - 17$$

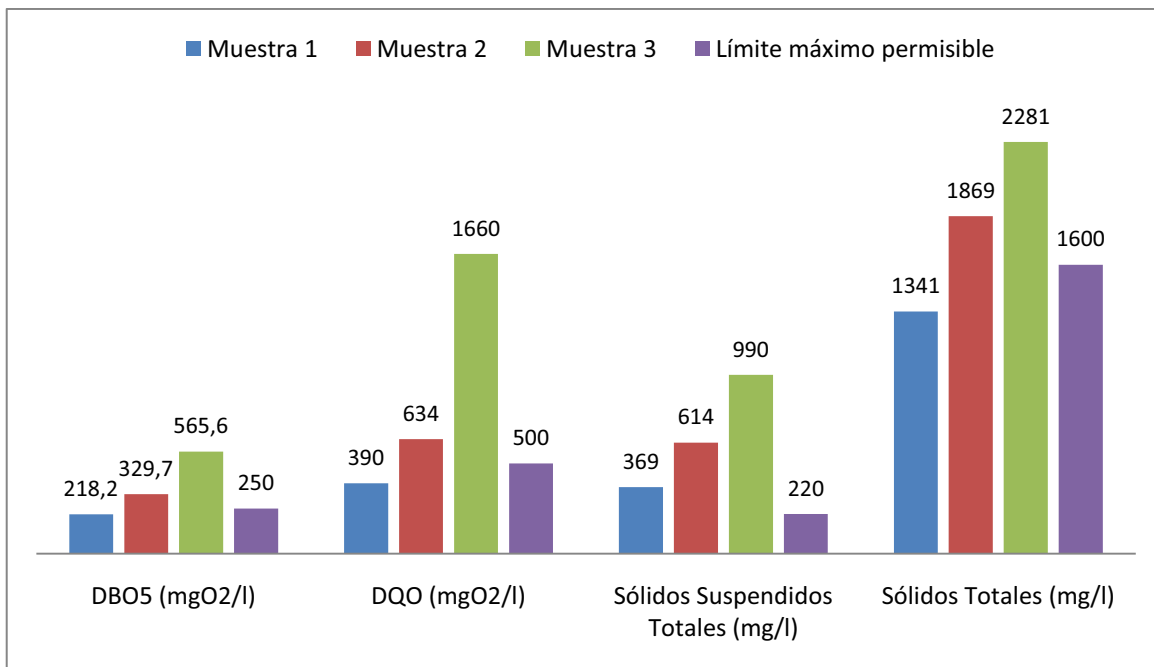
Esta correlación fue usada para calcular la DBO<sub>5</sub> de las muestras de agua del camal, a partir de los resultados obtenidos en laboratorio de TOC.

### **Comparación de la calidad del efluente con los límites permisibles de la norma**

De acuerdo con los resultados de los análisis de las muestras de efluentes del camal de Antonio Ante, se puede observar que éstos no cumplen con los límites permisibles de descarga al sistema de alcantarillado público, establecidos en el Texto de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA, LIBRO VI, ANEXO1, TABLA 11), especialmente los correspondientes a los parámetros de las muestras 2 y 3, es decir aquellos efluentes descargados a partir de las 09h30.

La figura 15 muestra los principales parámetros de calidad del agua analizada (DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, ST) de las muestras 2 y 3 sobrepasan los límites de descarga.

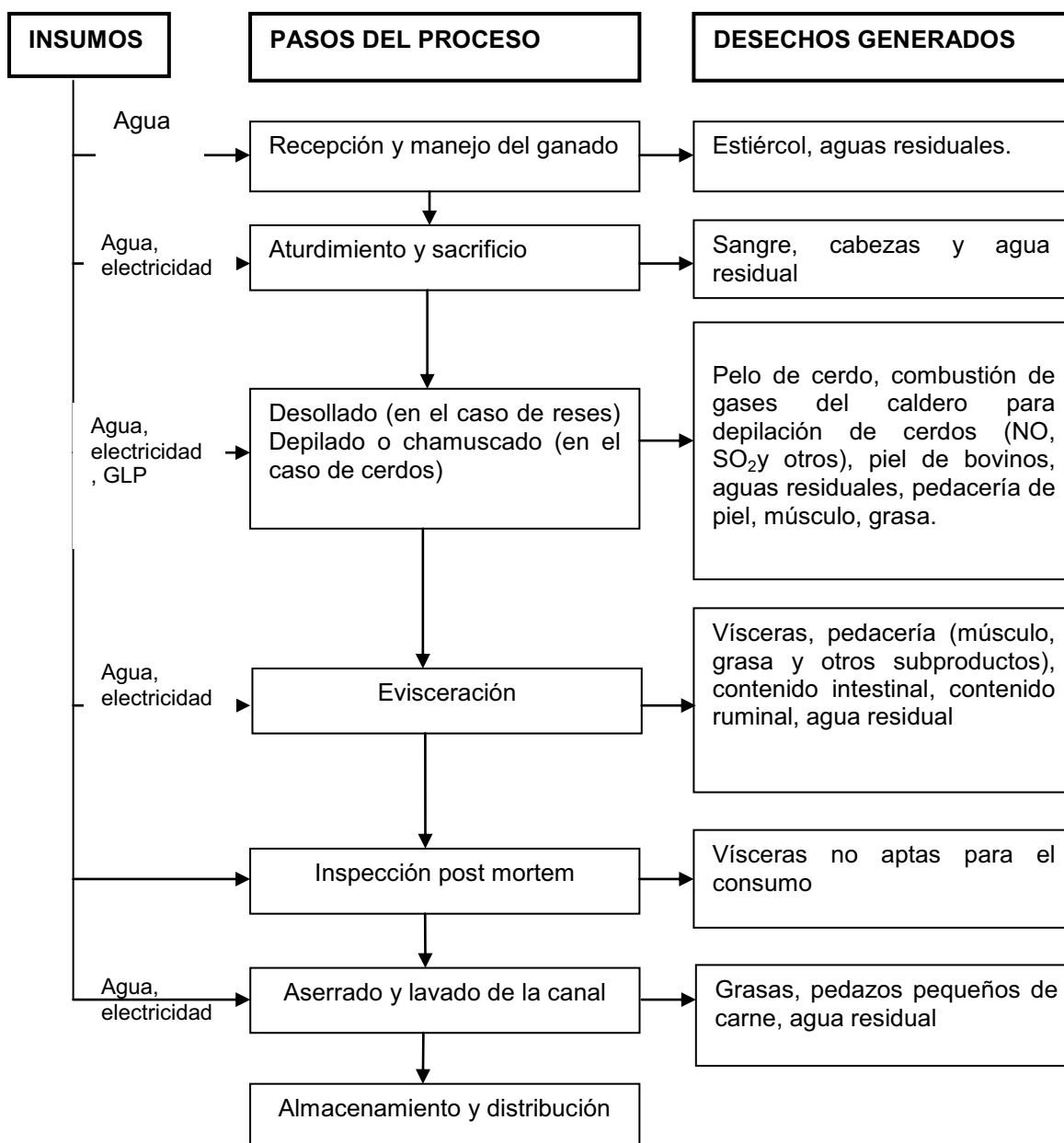
Figura 15. Comparación de los resultados del análisis de muestras de efluentes del camal de Antonio Ante con los límites máximos permisibles.



### 3.3 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL CAMAL DE ANTONIO ANTE

Las diferentes actividades que se desarrollan en el camal generan efluentes, residuos sólidos y emisiones cuya inadecuada disposición influyen en la salud y medio ambiente. El diagnóstico ambiental tiene como finalidad identificar cualitativa y cuantitativamente dichos aspectos ambientales. A partir del diagnóstico de la situación ambiental actual del camal en estudio, se puede dar una valoración de los impactos ambientales originados. Para realizar el diagnóstico ambiental es necesario conocer los insumos y productos del proceso de faenamiento. Para este propósito se presenta el diagrama de flujo de la figura 16.

Figura 16. Diagrama de flujo general del proceso productivo del camal



### Consumo de agua potable:

El agua potable 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.
- Lavado del transporte en el que los animales llegan al rastro.
- Escaldado de cerdos
- Lavado de la superficie del animal, posterior al escaldado (cerdos).
- Remoción de piel (según sea el caso).
- Lavado de vísceras.
- Lavado de la canal.
- Transporte de algunos subproductos y residuos.
- Limpieza y esterilización de cuchillos y equipo.
- Limpieza de pisos y superficies de trabajo.

El camal en estudio, al ser municipal, no 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).

Los volúmenes de agua consumidos por animal faenado a lo largo de todo el proceso se especifican en el cuadro 5.

Cuadro 5. Necesidades de agua por animal sacrificado y faenado

<b>Especie</b>	<b>Volumen de agua requerida/animal (promedio)</b>
Animales mayores (bovinos)	1000 L
Porcinos	450 L

Fuente: Manual para la instalación del pequeño matadero (FAO, 1994)

Sobre la base de estos datos y el número de animales faenados en el camal de Antonio Ante, se estimó el consumo mensual de agua potable, los resultados se presentan en el cuadro 6.

### Consumo de energía eléctrica:

El camal de Antonio Ante cuenta con pocos equipos eléctricos, por tanto, el consumo de energía eléctrica es relativamente bajo.

La energía eléctrica es requerida para:

- Tecele eléctrico para descuerado
- Tecele de elevación con trole
- Compresor
- Noqueador eléctrico para porcinos
- Iluminación de ambientes

Según datos proporcionados por la administración del camal, el consumo promedio mensual de energía eléctrica es de **4 300 Kwh**. La producción de energía eléctrica a partir de diversas fuentes primarias, origina impactos ambientales importantes debido al uso de recursos no renovables, a la generación de gases de efecto invernadero, construcción de embalses, etc. Por ello, el uso ineficiente de energía eléctrica implica un consumo mayor de la misma, acentuando de manera general los diversos impactos ambientales producidos.

Cuadro 6. Cálculo del consumo mensual de agua potable en el camal de Antonio Ante

Especie	Volumen de agua requerida/animal (promedio)	animales sacrificados/mes (promedio)	Consumo de agua (L/mes)	Consumo de agua (m <sup>3</sup> /mes)
Bovinos	1000 L	220	220 000	220
Porcinos	450 L	340	153 000	153

Por lo tanto, el consumo mensual de agua potable = **373 m<sup>3</sup>/mes**

### **Consumo de energía térmica:**

En el camal, se usa gas licuado de petróleo (GLP) como combustible para generar energía térmica, éste solamente es utilizado para generar vapor y agua caliente en los siguientes equipos:

- Tina de escaldado de cerdos
- Esterilizador de cuchillos
- Calefón a gas para las duchas del personal

Por lo tanto, el consumo de GLP es relativamente bajo, mensualmente se utilizan alrededor de 80 cilindros de 15 kg GLP, es decir aproximadamente 1 200 kg GLP por cerdo faenado. Mensualmente el camal gasta alrededor de \$ 128.

El impacto del uso de GLP para generar energía térmica está relacionado, principalmente, con la emisión de gases de combustión, entre ellos, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>) y partículas; todos ellos denominados gases de efecto invernadero.

#### **3.3.1 RESIDUOS SÓLIDOS**

Para realizar la caracterización de los residuos sólidos generados en el camal de Antonio Ante, se pesó cada tipo de residuo sólido producido en cada etapa del proceso y por tipo de animal (se muestreó una res y un cerdo de peso y tamaño promedios), para tal efecto se contó con la ayuda de los operarios del camal.

Se determinó que en el matadero de estudio, casi el 100% de residuos sólidos generados son residuos biodegradables, los cuales serán caracterizados a continuación (cuadro 7), en cada paso del proceso de sacrificio y faenado de ganado tanto bovino como porcino.



La caracterización presentada en el cuadro 7 corresponde a los residuos sólidos generados durante todo el proceso que no son entregados al dueño del animal, sino son únicamente desechados.

Cuadro 7. Caracterización de residuos sólidos procedentes del proceso

Etapa del proceso	Residuos sólidos generados	Ganado bovino			Ganado porcino		
		Peso residuos			Peso residuos		
		(kg/animal)	(kg/semana)	(kg /mes)	(kg/animal)	(kg/semana)	(kg /mes)
Recepción y manejo del ganado	Estiércol	4,5	248	990	1	85	340
Desollado	Pedacería (piel, músculo, grasa)	3	165	660	1	85	340
Depilado	Pelo	-	-	-	1	85	340
Evisceración	Tracto intestinal	60	3 300	13 200	10	850	3 400
	Pedacería y órganos comestibles	9	495	1 980	3	255	1 020
Lavado de vísceras	Contenido ruminal	23	1 265	5 060	-	-	-
	Estiércol	6	330	1 320	4	340	1 360
Inspección post mortem	Vísceras no aptas para el consumo	-	2	8	-	2	8
			5 804	<b>23 218</b>		1 699	<b>6 808</b>
<b>TOTAL 30 026 (kg/mes)</b>							

### 3.3.2 RESIDUOS LÍQUIDOS

Para determinar las fuentes y los puntos específicos de contaminación producida por la descarga de aguas residuales, es necesario caracterizar los efluentes de cada etapa del proceso.

Debido a que en el camal de Antonio Ante todas las aguas son descargadas a una canaleta en común, resultó muy difícil medir el volumen de aguas procedentes de cada punto del proceso, razón por la cual, dicha caracterización se la realizó tomando como referencia los porcentajes de volumen de descarga de aguas en cada etapa que se encuentra en la fuente bibliográfica<sup>27</sup>:

Tomando en cuenta que el total de aguas residuales generadas mensualmente en el proceso de sacrificio de ganado bovino es de aproximadamente 220 m<sup>3</sup> y en el de porcino es de 153 m<sup>3</sup>. En el cuadro 8 se presenta la caracterización de los residuos líquidos generados en cada etapa del proceso.

Cuadro 8. Caracterización de aguas residuales generadas en el proceso.

Etapa del proceso	Residuos líquidos generados	Ganado bovino		Ganado porcino	
		Volumen de aguas residuales			
		%	m <sup>3</sup> /mes	%	m <sup>3</sup> /mes
Recepción y manejo del ganado	Aguas de lavado de corrales	23,7	52,1	40,0	61,2
Aturdimiento y sacrificio	Agua residual con sangre	0,8	1,8	1,8	2,8
Depilado	Agua del caldero			18,5	28,2
Evisceración	Agua del lavado de pisos	1,2	2,6	12,3	18,8

Cuadro 8. CONTINUACIÓN

Lavado de vísceras	Agua de lavado de tracto gastrointestinal	47,4	104,3	23,1	35,3
	Agua de lavado del contenido ruminal	23,7	52,1		
Lavado de instalaciones	Agua con detergentes	3,2	7,0	4,3	6,6
			<b>220</b>		<b>153</b>
<b>TOTAL 373 m<sup>3</sup>/mes</b>					

### Características de las aguas residuales generadas en el camal

A continuación se analizará las características de las aguas residuales en cada una de las etapas del proceso de sacrificio y faenado.

- Recepción de animales y lavado de corrales: En esta etapa las aguas residuales contienen principalmente restos de detergentes (usados para lavado de corrales) con restos orgánicos procedentes de la orina y deyecciones animales.
- Aturdido: Debido a las características de esta operación, el animal produce una gran cantidad de orina, que conlleva una contaminación de agua con compuestos nitrogenados.

- Sangrado: A pesar de que en el camal de Antonio Ante se recolecta toda la sangre para posteriormente entregarla al dueño del animal, siempre hay pérdidas por goteo, lo cual le confiere al agua una alta carga orgánica.
- 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 el caldero. Esta agua lleva restos de pelos, incrementando por tanto la cantidad de materia orgánica.
- Chamuscado (porcino): en esta etapa no se utiliza agua, solo el soplete para chamuscar el cuero del animal.
- 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 de 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 del desengrasado de los estómagos. La bilis del ganado bovino es recolectada y regalada a personas que la usan para elaboración de productos cosméticos como jabones; esta gestión contribuye a la disminución de la carga orgánica de las aguas residuales de éste paso del proceso.
- Lavado de instalaciones: Las aguas residuales de esta operación son las más abundantes, contienen sustancias orgánicas así como restos de agentes detergentes y desinfectantes.

Es importante anotar que el camal de Antonio Ante tiene rejillas en los drenajes de los pisos para retener sólidos y evitar que éstos formen parte de las descargas líquidas.

Según se comprobó en la campaña de muestreo de los efluentes, las aguas residuales generadas en el camal poseen una elevada carga contaminante, sobre todo en materia orgánica. En el cuadro 9, un resumen de las características de los efluentes del camal.

Cuadro 9. Resumen de las características de los efluentes del camal Antonio Ante.

<b>EFLUENTE</b>	<b>VALOR PROMEDIO</b>	<b>UNIDAD</b>
Caudal promedio <sup>(a)</sup>	9.4 E-04	m <sup>3</sup> /s
DBO <sub>5</sub> <sup>(b)</sup>	371.16	mg/L
DQO <sup>(b)</sup>	894.66	mg/L
Sólidos Totales Sedimentables <sup>(b)</sup>	77	ml/L
Sólidos Suspendidos Totales <sup>(b)</sup>	656	mg/L
Relación DQO/DBO <sub>5</sub>	0.41	-

<sup>(a)</sup> Valor obtenido del estudio: "Aforos y caracterización de efluentes en el camal Antonio Ante", elaborado por el Ing. Carlos Falconí, INBIOTEC (2006).

<sup>(b)</sup> Promedios de los valores obtenidos de las 3 muestras de agua analizadas (los valores se presentan en el cuadro 4.)

### 3.3.3 RESIDUOS GASEOSOS

En las actividades desarrolladas en el camal, no se estiman significativas cantidades de residuos gaseosos. Las principales, y se puede decir únicas etapas

en las que se generan gases, son en el escaldado y en el chamuscado de ganado porcino, pues en éstos procesos se generan gases de combustión y material particulado, sin embargo, se estima que estas emisiones tienen poca significación.

Otro posible problema de contaminación atmosférica en mataderos es el ruido proveniente de maquinarias, sin embargo, en el camal de Antonio Ante, al ser pequeño, éste no es problema, pues el ruido es relativamente bajo, no se percibe fuera de las instalaciones.

En cuanto a la generación de olores, no se ha presentado conflictos con los vecinos del establecimiento, sin embargo, dentro del mismo se puede percibir olores desagradables, propios de la descomposición de materia orgánica (sangre, grasas, pelos, etc.) en el área de descarga de aguas residuales. Dentro de las instalaciones el mayor problema de olores se da en el área de lavado de vísceras.

### **3.4 RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO AMBIENTAL**

Como resultados del diagnóstico ambiental, se presenta en el cuadro 10, una valoración simplificada de los impactos ambientales ocasionados por las actividades del camal de Antonio Ante, para lo que se aplicó como método una matriz de interacción.

La matriz de interacción identifica las relaciones entre las actividades llevadas a cabo en el camal y su influencia sobre diversos aspectos ambientales. En el cuadro 10, se presenta el listado de los factores ambientales que podrían ser afectados por cada una de las actividades llevadas a cabo en el camal e impactos producidos.

Cuadro 10. Identificación de impactos producidos por las actividades del camal sobre los principales factores ambientales.

<b>Factores ambientales afectados</b>		<b>Acciones</b>	<b>Impactos provocados</b>
Agua	Consumo de Agua	Recepción y manejo del ganado	Elevado consumo de agua
		Lavado de vísceras	
		Lavado de instalaciones	
	Calidad físico-química y bacteriológica	Recepción y manejo del ganado	Vertido de aguas residuales contaminadas con detergentes (por lavado de corrales y pisos) y compuestos orgánicos como sangre, grasas, estiércol, contenidos intestinales, pelos, etc.
		Aturdimiento y sacrificio	
		Depilado (porcinos)	
		Evisceración	
		Lavado de vísceras	
	Lavado de instalaciones		
Temperatura	Depilado (porcinos)	Incremento de temperatura en aguas vertidas.	
Aire	Calidad del aire	Depilado (porcinos)	Emisiones gaseosas producidas por la combustión de GLP.
		Chamuscado (porcinos)	
	Olores	Evisceración	Generación de malos olores
		Lavado de vísceras	
		Chamuscado (porcinos)	
	Ruido	Corte de la canal	Generación de ruido
		Chamuscado	
Evacuación de aguas residuales			

Cuadro 10. CONTINUACIÓN

Socio- económico	Salud	Recepción y manejo del ganado	Riesgo para la salud pública por presencia de vectores
		Evacuación de aguas residuales	
	Economía	Generación de empleo	Aumento de ingresos en la economía local
			Mayor facilidad de abastecimiento al mercado

Una vez identificadas las acciones y los factores del medio que, presumiblemente, serán impactados por aquellas acciones, se procederá a construir una matriz de interacción, la cual permitirá obtener una valoración cualitativa de los impactos.

En esta matriz, se sitúan en las columnas las acciones antes descritas, mientras que las filas ocupan los factores del medio afectados, de tal forma que en las casillas de cruce se podrá comprobar la Importancia del impacto de la acción sobre el factor correspondiente.

El término Importancia, hace referencia a la relación mediante la que se medirá cualitativamente el impacto ambiental, en función, tanto del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida, como de la caracterización del efecto, que responde a su vez a dos atributos de tipo cualitativo, tales como magnitud y naturaleza del impacto.

La importancia del impacto viene representada por un número que se deduce del siguiente modelo, donde aparecen en abreviatura los atributos antes citados:

Donde:

$I_i$  = importancia del impacto



$M_i$  = magnitud del impacto

$N_i$  = naturaleza del impacto.  $N = +1$  si es positivo o beneficioso y  $N = -1$  si es negativo o detrimento.

El cuadro 11 presenta la calificación de impactos ambientales empleando la metodología arriba anotada.

Cuadro 11. Calificación de impactos ambientales empleada en esta metodología

<b>NATURALEZA</b> Impacto beneficioso (+) Impacto perjudicial (-)	<b>IMPORTANCIA</b> Irrelevante (0) Baja (1) Media (2) Alta (3)
<b>MAGNITUD</b> Irrelevante (0) Baja (1) Media (2) Alta (3)	<b>EVALUACIÓN DEL IMPACTO</b>

Una vez explicada la metodología a utilizarse para la valoración de impactos, se procede a construir la matriz de interacción para cuantificar los impactos ambientales producidos por las actividades llevadas a cabo en el camal en estudio. (Ver cuadro12.)

En la matriz, los valores de la esquina superior de cada celda representan la importancia y naturaleza del impacto que genera cada acción sobre el factor ambiental correspondiente, mientras que los valores de las esquinas inferiores representan la magnitud de dichos impactos.

La suma de las agregaciones del impacto de cada elemento por columnas identifica la agresividad de las distintas acciones.

La suma absoluta indica la agresividad intrínseca de una acción sobre el medio.

Cuadro 12. Matriz de valoración de impactos ambientales del camal de Antonio  
Ante

MATRIZ DE INTERACCION		ACCIONES IMPACTANTES										AFECTACIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS	AGREGACIÓN DE IMPACTOS
		Recepción y manejo del ganado	Aturdimiento y sacrificio	Depilado (porcinos)	Chamuscado (porcinos)	Evisceración	Lavado de vísceras	Aserrado de la canal	Lavado de instalaciones	Evacuación de aguas residuales y RRSS	Generación de empleo			
FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS														
Agua	Consumo de Agua	-2 2	0 0	-1 1	0 0	0 0	-3 3	0 0	-2 2			0	4	-18
	Calidad físico-química y bacteriológica	-1 2	-1 1	-2 1	0 0	-1 1	-3 3	0 0	-2 1			0	6	-17
	Temperatura	0 0	0 0	-2 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0			0	1	-2
Aire	Calidad del aire	0 0	0 0	-1 1	-2 1	0 0	0 0	0 0	0 0			0	2	-3
	Olores	-1 0	-1 0	-1 0	-2 1	-1 3	-1 3	-1 0	0 0			0	7	-8
	Ruido	-1 0	-2 1	0 0	-1 1	0 0	0 0	-2 1	0 0			0	4	-5
Suelo	Calidad del suelo	-1 0	-2 1	-1 0	0 0	-2 3	-2 2	-1 0	-1 0	-3 2		0	8	-18
Socio-económico	Salud	0 0	0 0	-1 0	-2 0	-1 0	-1 0	-2 0	-1 0	-3 1	0 0	0	7	-3
	Economía										+3 2	1	0	6
<b>AFECTACIONES POSITIVAS</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
<b>AFECTACIONES NEGATIVAS</b>		5	4	7	4	4	5	4	4	2	0		39	
<b>AGREGACIÓN DE IMPACTOS</b>		-6	-5	-6	-5	-10	-25	-2	-6	-3	6			-68

Así, se observa que la acción más agresiva sobre el medio ambiente es el “Lavado de Vísceras” con una valoración de -25, mientras que los factores ambientales más afectados son el “Consumo de Agua” y la “Calidad del suelo”, con una valoración de -18, seguidos de cerca por el factor “Calidad físico- química y bacteriológica del agua” el cual tiene una valoración de -17. Con estos resultados se puede constatar que la etapa más agravante del proceso productivo del camal en estudio es el lavado de vísceras, pues esta acción influye negativamente tanto en el consumo de agua potable como en la calidad de los efluentes, así como la calidad del suelo por el inadecuado manejo de los residuos sólidos.

Se puede observar también en la matriz, cómo el Medio Socio-económico se encuentra afectado positivamente por la generación el empleo y la actividad económica que se promueve directa e indirectamente en el camal de Antonio Ante.

## **CAPÍTULO 4.**

### **PROPUESTA DE ACCIÓN**

Luego de haber realizado un breve diagnóstico ambiental del camal de Antonio Ante, se pudo constatar que la problemática radica en la disposición tanto de residuos sólidos como líquidos, razón por la cual se propuso como objetivo del presente proyecto de tesis, mejorar su gestión, a través de alternativas de mejora e implementación del sistema de compostaje y el diseño de un pantano artificial. En este capítulo se pre-dimensionan y calculan costos de las mencionadas propuestas de acción.

#### **4.1 VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE COMPOSTAJE PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL CAMAL DE ANTONIO ANTE**

##### **Descripción de la opción:**

En la actualidad, en el camal de Antonio Ante produce alrededor de 30 026 kg de residuos sólidos por mes, los cuales no son entregados al dueño del animal sacrificado, siendo desechados.

Estos residuos son en su totalidad de naturaleza orgánica (estiércol, contenido ruminal, tracto intestinal, pedazos de piel, músculo, grasa, pelos), razón por la cual pueden ser sometidos a diferentes métodos de estabilización biológica, cada uno con requerimientos, procedimientos y productos resultantes diferentes. Sin embargo, por su baja complejidad en implementación y operación, se propone utilizar el método de compostaje.

El compostaje de este tipo de residuos es un proceso aerobio en que los microorganismos, en medio oxigenado, descomponen los residuos orgánicos alimenticios. El producto final, compost, está conformado de minerales y humus (material orgánico complejo)<sup>12</sup>

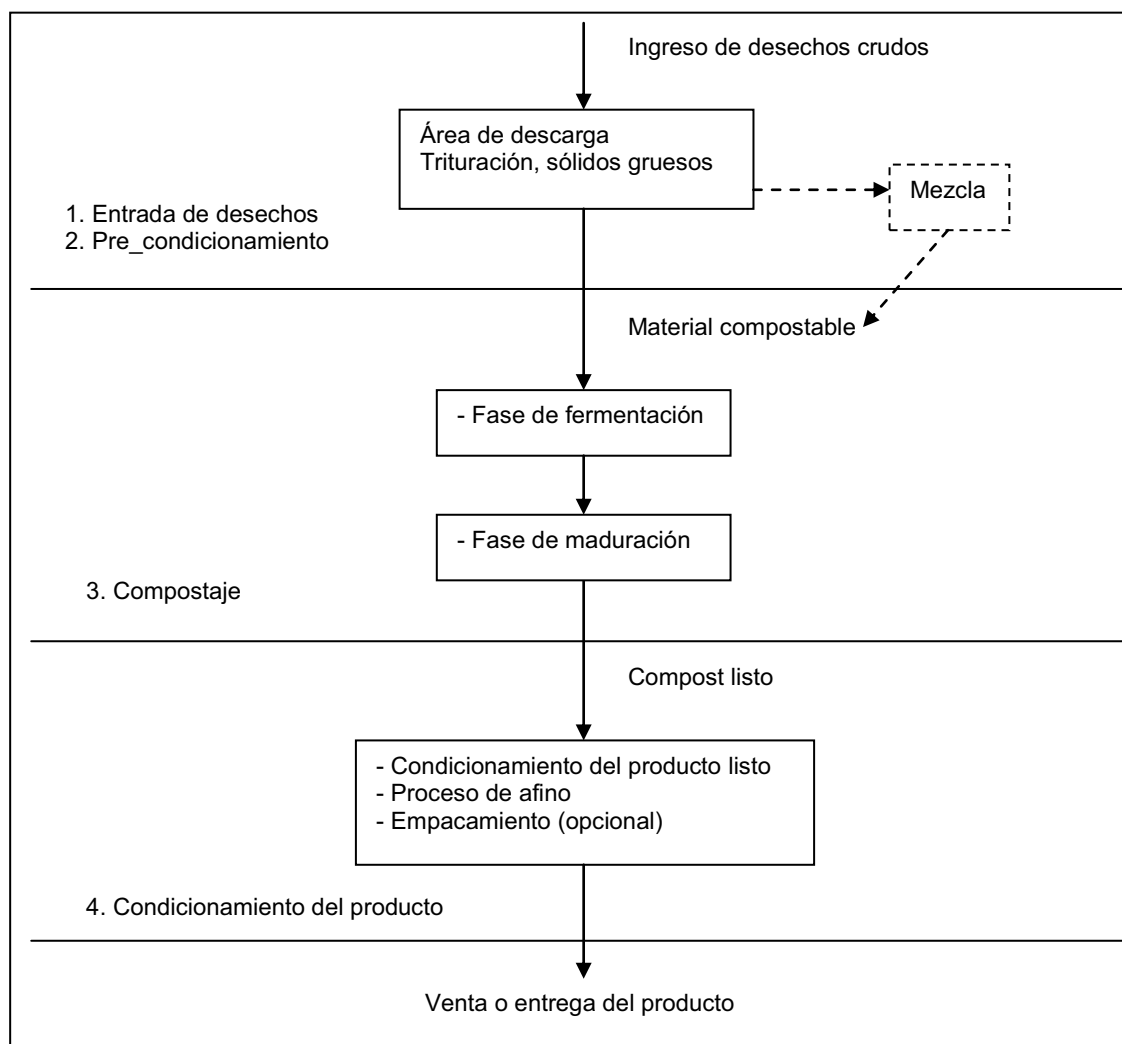
El compostaje es un proceso simple, que requiere relativamente poco espacio, infraestructura, mano de obra y herramienta menor para su elaboración. Adicionalmente, genera valor agregado al material orgánico tratado, al convertirlo en abono orgánico ambientalmente amigable y de alta calidad. Un uso adecuado de estos desechos, no solamente redundará en beneficio de la producción agropecuaria del Cantón, sino que también contribuirá a mejorar la protección al ambiente, pues al formarse el compost aeróbicamente no se forma metano con lo que se contribuye a evitar la formación de uno de los gases que contribuyen a aumentarla temperatura de la tierra por el efecto invernadero; también se contribuye a reciclar al suelo la energía del sol convertida en materia orgánica. Al realizar este tratamiento de la materia orgánica (compostaje) se contribuye en la disminución de los desechos domiciliarios orgánicos, se reduce la contaminación y se fomenta la producción.

Se plantea un compostaje de tipo artesanal, es decir sin la utilización de tecnología, herramientas mecánicas o eléctricas, debido a que la capacidad de producción de residuos del camal de Antonio Ante es relativamente baja.

Se utilizará el método de compostaje natural en pilas estáticas aireadas, en el cual la fracción orgánica de los residuos sólidos se lleva a un patio y se coloca en pilas de forma triangular. La aeración necesaria para el desarrollo del proceso de descomposición biológica se obtiene por volteos periódicos con la ayuda de una pala.

En la planta de compostaje se pueden diferenciar varias zonas, todas ellas relacionadas, a continuación se describe el proceso a utilizarse en el camal (ver figura 17).

Figura 17. Diagrama de flujo de la planta de compostaje manual propuesto



Fuente: Manual de Compostaje para Municipios

#### 4.1.1 TÉCNICA

Para determinar la viabilidad de implementación de compostaje en hileras, lo primero que se hace es una evaluación técnica, determinando si la opción se puede ejecutar con los medios disponibles. Se prestará atención a los siguientes puntos:

#### **4.1.1.1 Nuevos procedimientos de producción**

El proceso productivo del camal no se verá afectado por la implementación de nuevos procesos. Sin embargo, será necesario destinar un día a la semana una persona que se encargue del volteo de las hileras de compostaje.

#### **4.1.1.2 Instalaciones**

Para la implementación del compostaje en hileras no es necesario ningún tipo de construcción, sin embargo, es necesario seleccionar adecuadamente el terreno en donde se van a colocar las hileras. Además, es aconsejable implementar una cubierta sencilla para evitar que en los días de lluvia se inunde el sistema de compostaje.

##### **a) Selección y ubicación del terreno.**

La ubicación adecuada de un proyecto de compostaje es importante para la óptima ejecución de las operaciones de recolección, transporte y tratamiento de los desechos orgánicos.

Una de las ventajas que presenta el camal de Antonio Ante es la de poseer un amplio terreno (en la parte sur - este del camal), al que no se le está dando ningún uso actualmente, y una parte de éste puede ser utilizada para el proyecto de compostaje.

Como el volumen del material disminuye con el progreso de la biodegradación, se pueden combinar dos pilas para hacer una, con el fin de economizar el espacio. Si se combinan pilas, es importante que sean pilas que tengan aproximadamente la misma edad, para no mezclar compost maduro con compost sin maduración<sup>24</sup>.

Existen varios criterios de ubicación que deben tomarse en cuenta para un proyecto de compostaje. Así se tiene:

- Distancia del proyecto a la fuente de recuperación de materia orgánica: La distancia del terreno donde se ubicará el compostaje es adecuada, puesto que no es alejada del sitio de origen de los residuos, siendo una ventaja para la futura operación del proyecto, pues se ahorra tiempo y no se requerirá de vehículos para el transporte de la materia orgánica.
- Camino fácilmente accesible: el terreno a utilizarse para el proyecto es aledaño a las instalaciones de sacrificio del camal, razón por la cual este no es un inconveniente para la implementación del proyecto en el área disponible.
- Terreno sin riesgos de inundación: El terreno seleccionado no presenta desnivel y por lo tanto no es propenso a inundaciones. Sin embargo, se propone colocar una sencilla estructura a manera de invernadero (techo de plástico), esto para evitar que en días de lluvia se disperse el material compostable o se altere el proceso debido al incremento de sus niveles de humedad requeridos.
- Acceso a fuentes fijas de agua: Técnicamente el compostaje debe asegurar una humedad adecuada por lo cual la cercanía a fuentes fijas de agua es muy importante para la descomposición de materiales. El terreno seleccionado cumple con este requisito.
- Tamaño y capacidad del terreno: El terreno es lo suficientemente amplio para la recepción de una cantidad dada de materia orgánica y el tratamiento de la misma. A continuación se presenta el dimensionamiento del proyecto de compostaje.



***DIMENSIONAMIENTO:***Datos:

$$RS = 30\,026 \text{ kg/mes} = 7\,506,5 \text{ kg/semana}$$

$$\delta_{RS}^{(*)} = 625 \text{ kg/m}^3$$

- (Reducción de volumen de los RS = 30%)

$$TR = 6 \text{ meses} = 24 \text{ semanas}$$

$$a = 2 \text{ m}$$

$$h = 1 \text{ m}$$

$$L = 6 \text{ m}$$

$$A = (a \cdot h) / 2 = 1 \text{ m}^2$$

(\*) *Dato experimental tomado del estudio "Caracterización de Residuos Sólidos, Efluentes Residuales y Evaluación de Impactos Ambientales en tres mataderos de ganado en la Provincia de Loja-Ecuador" de Duque Paola y Chinchay Luis, (2008)*

Donde:

RS: Residuos sólidos

$\delta_{RS}$ : Densidad de los residuos sólidos

$V_{\text{final}}$ : Volumen final de los residuos sólidos

$V_{\text{inicial}}$ : Volumen inicial de los residuos sólidos

TR: Tiempo de retención

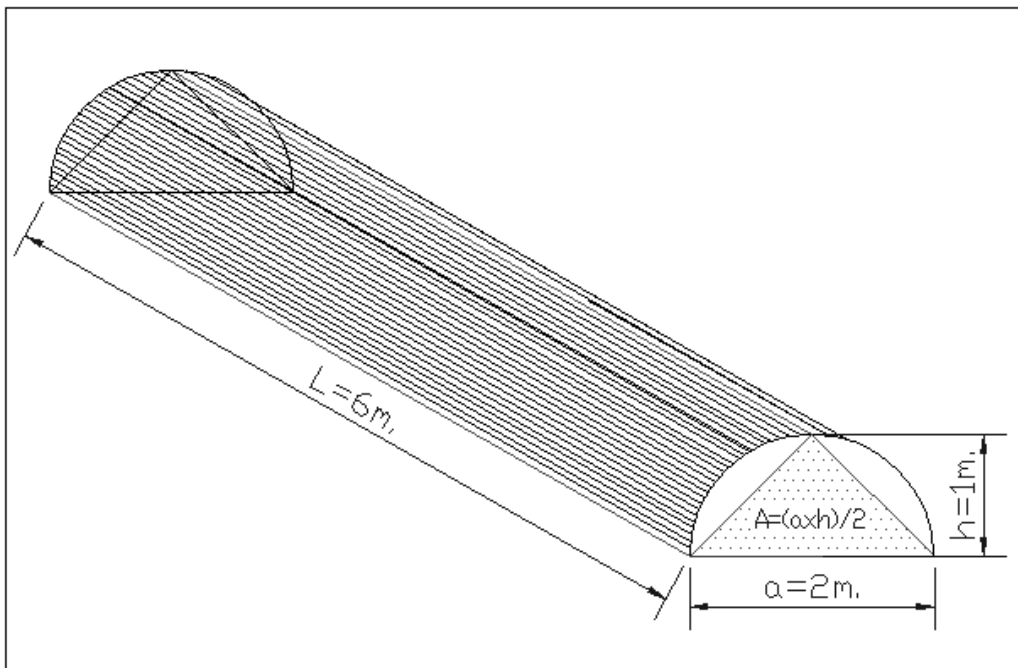
a: ancho de la hilera de compostaje (figura 18)

h: altura de la hilera de compostaje (figura 18)

L: longitud de la hilera de compostaje (figura 18)

A = área de la hilera (figura 18)

Figura 18. Perfil de una hilera de sección triangular y sus dimensiones



Cálculos:

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (4.1)$$

$$\text{-----} \quad \rightarrow V_{\text{inicial}} = 12,01 \text{ (m}^3\text{/semana)}$$

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (4.2)$$

$$\text{---} \quad \rightarrow V_{\text{final}} = 4 \text{ (m}^3\text{/semana)}$$

$$\text{-----} \quad \text{---} \quad (4.3)$$

$$\text{-----} \quad \rightarrow V_{\text{promedio RS}} = 8 \text{ (m}^3\text{/semana)}$$

(4.4)

$$\rightarrow V_{\text{hileras}} = 192 \text{ (m}^3\text{)}$$

(4.5)

$$\rightarrow \text{Longitud}_{\text{hileras}} = 192 \text{ (m)}$$

(4.6)

$$\rightarrow \text{No. hileras} = 32$$

Las hileras se dispondrán en 4 columnas y 8 filas con un separación de 1 m entre cada hilera, como muestra la figura 19.

El área de terreno requerida para implementar el sistema de compostaje en hileras será:

$$\rightarrow A_{\text{terreno}} = 621 \text{ (m}^2\text{)}$$

#### a) Cubierta del área de compostaje

A pesar de que el camal en estudio no se encuentra en una zona de alta pluviosidad, es recomendable la implementación de una cubierta, para impedir que en los días de lluvia el compostaje se moje, evitando así que se produzcan condiciones anaeróbicas, y por ende la producción de metano y malos olores.

Cuando se construye el techo, es importante que no impida el ingreso de viento. Se recomienda hacer una construcción ligera abierta a los 4 lados. El techo se

puede cubrir con plástico resistentes a fuertes vientos. La figura 20 muestra un ejemplo de como se podría cubrir el área de compostaje.

Figura 19. Perfil de una hilera de compostaje y sus dimensiones

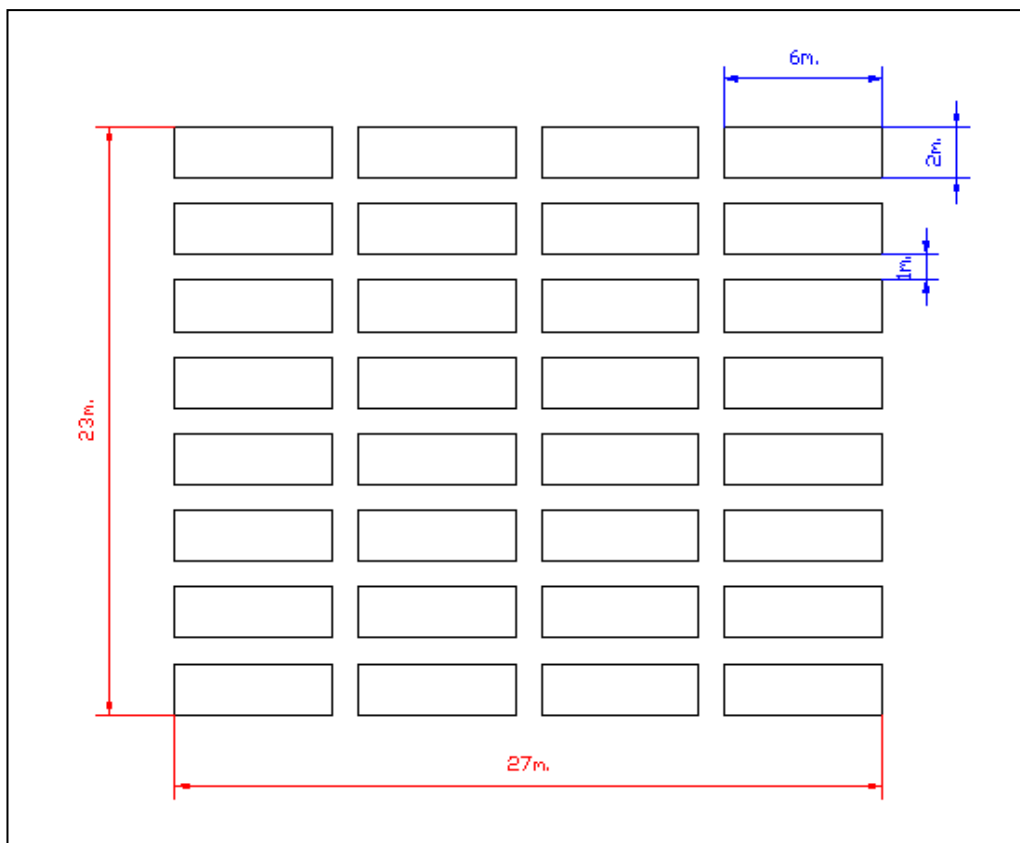
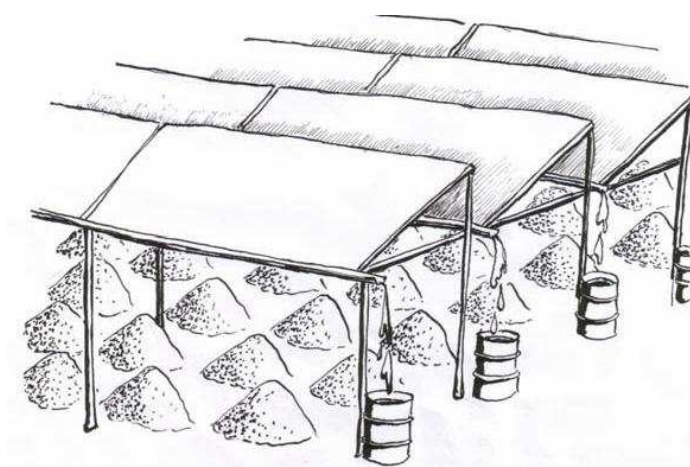


Figura 20. Cubierta del área de compostaje



Fuente: Manual de Compostaje para Municipios  
Elaboración: DED/ Ilustre Municipalidad de Loja

Se pueden poner ductos para conducir el agua de lluvia a recipientes. De esta manera, se puede acumular el agua de lluvia que puede ser usada para el riego de las hileras de compostaje en caso que sea necesario.

➤ Detalle de materiales necesarios para la cubierta:

La cubierta tendrá soportes (palos de madera) cada 2 hileras de compostaje como muestra la figura 21, donde las líneas rojas muestran las secciones en las que se dividirá la cubierta, y los vértices corresponden a los extremos de los soportes de la cubierta.

Por lo tanto, es necesario 25 palos de madera para los soportes de la cubierta, de los cuales 20 serán de 3 m de longitud y 5 de 2,5 m (esto debido a la inclinación que tendrá la cubierta en cada sección de la misma, como muestra la figura 22). Para el techo, se necesitarán 32 palos de madera, de los cuales 8 medirán 7,5 m, 8 de 7 m, 8 de 6 m y 8 de 6,5 m.

En total se necesitará: 288,5 m de madera.

Figura 21. Vista superior de la cubierta del área de compostaje

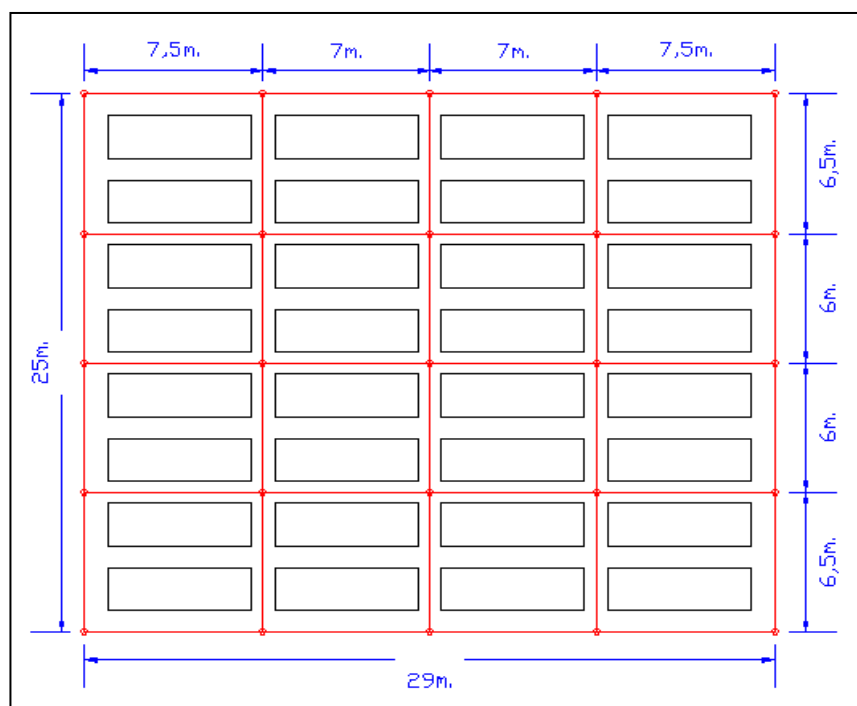
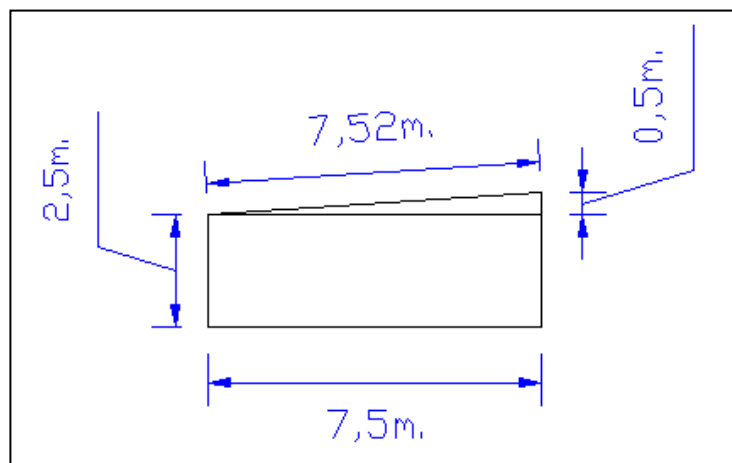


Figura 22. Vista frontal de la cubierta del área de compostaje



El área de la cubierta es de 725 m<sup>2</sup>, por lo tanto se necesitará aproximadamente 800 m<sup>2</sup> de plástico.

#### 4.1.1.3 Equipos

- Para la trituración de residuos gruesos es necesaria un hacha de carnicería.

Figura 23. Hacha de carnicería



- Para el volteo de las hileras se requiere de una pala de mano con punta redonda (figura 24).

- Para el proceso de afino se puede utilizar un tamiz manual construido con marco de madera y malla de metal con aperturas de 10 a 15 mm. Se recomienda construir un tamiz vertical que se apoye sobre 2 soportes. Las dimensiones apropiadas para el tamiz serán 1.5 m de altura y 1 m de ancho<sup>23</sup>.(Figura 25)

Figura 24. Pala de mano con punta redonda



Figura 25. Tamiz para compost



Fuente: Aprovechemos nuestra basura, produzcamos abono natural

Elaboración: DED/ Ilustre Municipalidad de Loja

- En cuanto al control de humedad del proceso de compostaje, no se necesitan instrumentos, se puede medir con un método simple: Se toma una pequeña cantidad del material en la mano y se apreta el material. Si salen 2 - 5 gotas de agua, la humedad es buena. Si sale menos agua, se necesita regar; si sale más, el riego debe ser interrumpido<sup>23</sup>.

Figura 26. Medición de la humedad



Fuente: Aprovechemos nuestra basura, produzcamos abono natural

Elaboración: DED/ Ilustre Municipalidad de Loja

#### 4.1.1.4 Requerimiento de personal

No es necesario implementar personal extra, el trabajo puede realizarlo uno de los operarios del camal, un día a la semana. Esta persona deberá ser capacitada para formar las hileras de compostaje, llevar el control de humedad de las mismas y realizar el volteo periódico.

### 4.1.2 AMBIENTAL

#### 4.1.2.1 Beneficios Medioambientales

- Al reducirse el volumen de basura que se envía al relleno (360 ton./año), se prolonga la vida útil del mismo, menos consumo de terreno, menor impacto al paisaje, al suelo y a las aguas subterráneas<sup>25</sup>.
- Los residuos orgánicos, que poseen un alto grado de humedad (como los residuos del camal), son los principales generadores de lixiviados dentro de un relleno sanitario. La mezcla de residuos orgánicos húmedos con residuos



peligrosos como baterías y químicos, puede causar un lixiviado muy tóxico, el cual puede contaminar el manto freático o el suelo, con futuras consecuencias negativas en la salud y el medio ambiente<sup>25</sup>.

- El compostaje, permite aportar nutrientes y proporcionar estructura al suelo, mejorando sus características<sup>25</sup> (calidad, permeabilidad, retención, etc.), sirviendo como estabilizador contra la erosión.

- El compost es un fertilizador natural que no produce sobrecarga química al suelo<sup>24</sup>.

#### **4.1.2.2 Efectos Negativos Medioambientales**

##### *4.1.2.2.1 Contaminación olfativa*

Se pueden producir emisiones olfativas provenientes de los residuos crudos. Los gases más importantes para el impacto olfativo son limonen, pentan, campher, alcanes y pentilfuran. Las emisiones olfativas no son peligrosas, patógenas o contaminantes en la concentración emitida, que es muy baja, pero estos gases ya se sienten en una concentración de algunas ppm<sup>24</sup>. El impacto de estas emisiones puede ser la molestia para los habitantes vecinos y para los propios trabajadores del camal.

#### **• Medidas para Limitar el Impacto de las Emisiones**

- Selección del Lugar: se recomienda instalar las hileras de compostaje en el rincón más alejado del lote. Además, los obreros encargados del compostaje deben trabajar con mascarilla.
- Tratamiento del Aire: No hay necesidad de tratamiento del aire en las plantas manuales de compostaje. Es suficiente cubrir las pilas o los lechos con pasto, compost grueso u otro material adecuado. Ese material absorbe las emisiones que difunden afuera durante el proceso de compostaje.

#### 4.1.2.2.2 Contaminación del agua (por aguas lixiviadas)

Las aguas lixiviadas se producen especialmente durante las primeras semanas del compostaje (pre- fermentación y comienzo de la fermentación intensiva), debido al alto contenido de agua de los desechos sólidos y al riego necesario para mantener la humedad suficiente.

#### • Medidas para Limitar el Impacto de las Aguas Lixiviadas

Para evitar la contaminación del suelo y, por consecuencia, de las aguas subterráneas, se recomienda seleccionar un terreno con suelo arcilloso para la planta de compostaje. Además se recomienda implementar canaletas de recolección de aguas alrededor del área de compostaje, las aguas recolectadas pueden ser enviadas a la planta de tratamiento de efluentes del camal.

#### 4.1.2.2.3 Contaminación del suelo

No existe contaminación del suelo, debido a que no se van a compostar residuos con contenido de metales pesados.

### 4.1.3 ECONÓMICA

#### 4.1.3.1 Costos de Inversión y de Operación

##### ➤ Preparación del terreno

- Área requerida para implementar el compostaje: 621 m<sup>2</sup>
- Eficiencia de una persona para limpiar el área: 1 m<sup>2</sup>/5 min = 12 m<sup>2</sup>/h
- Tiempo requerido para limpiar el terreno: 52 h = 6,5 d/persona (considerando una jornada de 8 h/d). Si se contrata a 3 personas, se requerirán 2 días aproximadamente para preparar el terreno.

- Basándose en el salario básico de nuestro país (año 2010), el jornal es de \$ 8,0

\_\_\_\_\_

Entonces el costo de limpieza del terreno será:

\_\_\_\_\_

⇒ Costo de limpieza del terreno= \$ 48

➤ Cubierta para el área compostaje

- Palos de madera: 126,5 m
- Costo de los palos de madera de 8 cm de diámetro: \$ 3 / m
- Plástico: 800 m<sup>2</sup>.
- Precio del plástico: \$ 0,25 /m<sup>2</sup>

➤ Herramientas

- Hacha de carnicero (para trocear los residuos gruesos): \$ 57 (1 unidad por año)
- Pala de punta redonda (para volteo de hileras): \$10 (1 unidad por año)
- Materiales para elaborar el tamiz:
  - Malla (1,5 m x 1m y orificios 12 mm) = \$ 5
  - Marco del tamiz: \$ 8

➤ Personal

- 1 persona delegada del proceso de compostaje: \$ 100 /mes (solamente se encargará del volteo y supervisión de las hileras una vez por semana)
- Equipamiento para la persona encargada:
  - 1 overol por año: \$ 40
  - 6 pares de guantes por año: \$ 12
  - 1 par de botas/año: \$ 60
- Contratación de un experto para curso de capacitación a trabajadores: \$ 300

➤ Compra de saquillos para el compost termiando

- Compost producido: 1 008,6 kg compost/mes = 12 104 kg compost/año
- Sacos de costal necesarios: 2 402 sacos (de 50 kg de capacidad)
- Costo de los sacos: \$ 0,15 /saco

Cuadro 13. Costos de inversión y operación de la planta de compostaje

Descripción	Costo Anual (\$)
<u>EMPLAZAMIENTO</u>	
Preparación del terreno	48
Palos de madera para la cubierta	379,5
Plástico para la cubierta	200
<u>HERRAMIENTAS</u>	
1 Hacha	57
1 Pala	10

**Cuadro 13. CONTINUACIÓN**

Tamiz	13
<u>PERSONAL</u>	
Salario	1 200
Equipamiento	112
Curso de capacitación	300
<u>OTROS</u>	
Saquillos para compost	360,3
<b><u>TOTAL</u></b>	<b>2679,8</b>

#### 4.1.3.2 Ingresos

➤ Venta del compost

El precio de venta del compost listo se debe determinar según las condiciones locales (demanda del mercado local). En el Ecuador, los precios de venta del compost varían entre \$ 1,20 / saquillo (Riobamba) y \$ 3 / saquillo (Loja).

En el caso del camal de Antonio Ante se recomienda vender el producto en \$ 1,50 /saquillo, pues se debe tomar en cuenta que es un precio simbólico al que pueden tener acceso los pequeños agricultores del cantón.

Anualmente se producirán 120 104 kg de compost, es decir, 2 402 saquillos de 50 kg de cada uno. Por lo tanto, se obtendrán \$ 3 603 /año proveniente de la venta del compost.

#### 4.1.3.3 Balance anual de ingresos y egresos de la planta de compostaje

Cuadro 14. Costos e ingresos anuales del compostaje

<b>COSTOS (\$/año)</b>	<b>INGRESOS (\$/año)</b>
2 679,8	3 603
<b><u>DIFERENCIA:</u> \$ 923,2 / año</b>	

Como indica el balance anterior, es posible obtener una modesta utilidad con la producción de compost, la cual servirá para que el proyecto siga en marcha, pues al cabo de dos años la inversión inicial estará cubierta y a partir del siguiente año la planta de compostaje será auto - sustentable.

El monto de esta utilidad puede variar a razón de que parte del compost puede ser usado para parques y espacios verdes del cantón o bien puede ser donado para escuelas o colegios si así lo requieran.

Se debe recordar que el compostaje no es un negocio, lo importante es que no habrá pérdidas económicas, y que el proyecto de compostaje podrá seguir en marcha con ese pequeño rédito anual producto de las ventas. Es decir, es viable desde el punto de vista económico.

## **4.2 VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PANTANO ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL CAMAL DE ANTONIO ANTE**

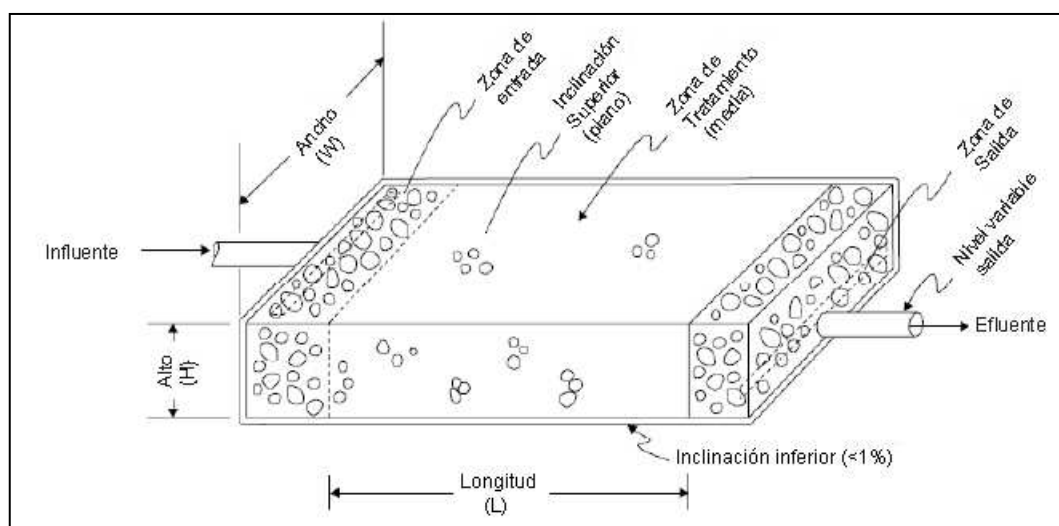
### **Descripción de la opción:**

Debido a las características físico – químicas de los efluentes del camal, se propone como opción de tratamiento, la construcción de un pantano o humedal artificial de flujo subsuperficial. Como se describe en el capítulo 2, estos sistemas

consisten en una cama de grava plantada con vegetación (macrófitas), donde el agua fluye debajo de las superficies de grava, y la cual proporciona nutrientes a las plantas emergentes<sup>26</sup> (figura 27).

El humedal construido es precedido por una unidad que proporciona tratamiento primario de las aguas residuales. El tratamiento primario puede ser alcanzado por una variedad de tecnologías, sin embargo, se propone el uso de un tanque de sedimentación abierto, por ser sencillo y fácil de mantener. (figura 28).

Figura 27. Diseño genérico para una celda de un humedal construido tipo SSF



Fuente: Humedales Construidos para el tratamiento de aguas negras

Elaboración: Bren School of Environmental Science and Management, University of California

#### 4.2.1 TÉCNICA

El primer aspecto que se debe tomar en cuenta es la selección del terreno que se va a usar para la construcción del humedal artificial. Una ubicación ideal debe tener un nivel o inclinación natural muy suave, sombra parcial, y estar cerca de la fuente de aguas residuales. Para la uniformidad del flujo, un cimiento firme es necesario. Los humedales construidos para tratar aguas residuales no deben ser construidos en áreas donde los suelos estén inundados<sup>26</sup>. En el caso del canal de

Antonio Ante, el terreno donde se podría implantar el sistema de tratamiento de aguas, tiene las características antes mencionadas.

Figura 28. Esquemática que muestra una poza de estabilización emparejada con un humedal construido.



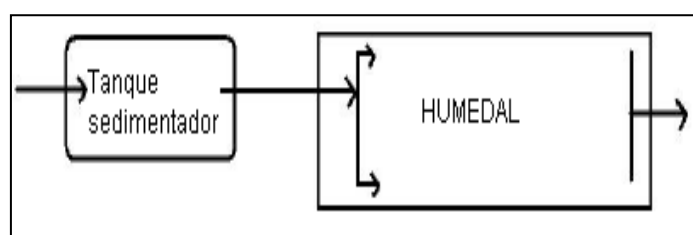
Fuente: Humedales Construidos para el Tratamiento de Aguas negras

Elaboración: Bren School of Environmental Science and Management, University of California

#### 4.2.1.1 El Tratamiento primario: Tanque de Estabilización (sedimentación)

Para las aguas residuales, un sistema de tratamiento primario debe estar ubicado corriente arriba del humedal construido<sup>26</sup>. El sistema que se propone para el pretratamiento de las aguas residuales es un tanque rectangular de sedimentación de flujo horizontal.

Figura 29. Esquema de la opciones de tratamiento primario y secundario.





### a) Diseño del tanque de sedimentación

Para el diseño, se considerará un tanque sedimentador ideal de forma rectangular y con flujo horizontal.

Se puede determinar la eficiencia de un tanque de sedimentación en cuanto a la remoción de partículas suspendidas usando como base la velocidad de sedimentación ( $S$ ) de una partícula, la cual en el tiempo de retención ( $T$ ) atravesará sólo toda la profundidad ( $H$ ) del tanque. Usando estas anotaciones (figura 30) la siguiente fórmula es aplicable:

$$- \quad (4.7)$$

$$- \quad (4.8)$$

$$- \quad (4.9)$$

$S_0$ = velocidad de sedimentación (m/h)

$T$ = tiempo de retención (h)

$Q$ = caudal ( $m^3/h$ )

$H$ = profundidad del tanque (m)

$L$ = longitud (m)

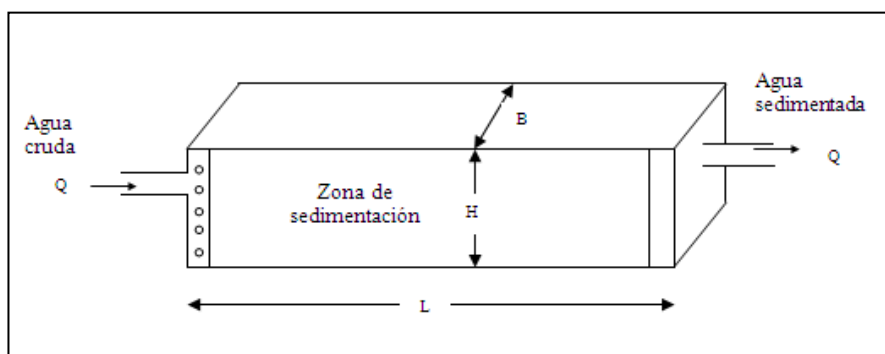
$B$ = ancho del tanque (m)

Si se supone una distribución pareja de todas las partículas suspendidas en el agua en toda la profundidad del tanque, las partículas que tengan una velocidad de sedimentación ( $s$ ) mayor a  $s_0$  serán removidas completamente en una parte proporcional  $s:s_0$ <sup>31</sup>.

Este análisis muestra que la eficiencia de asentamiento básicamente depende sólo de la relación entre el caudal de entrada y el área de superficie del tanque.

A esto se le conoce como “carga de superficie”, y es independiente de la profundidad del tanque. En principio, no existe diferencia en la eficiencia de sedimentación entre un tanque poco profundo y uno profundo<sup>31</sup>.

Figura 30. Tanque de sedimentación rectangular de flujo horizontal



Fuente: Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales para Países en Desarrollo  
Elaboración: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)

Cuanto menor sea la carga de superficie, mejor será la clarificación del agua: el agua sedimentada tendrá menos turbiedad.

Las consideraciones anteriores ignoran los efectos de turbulencia, de cortocircuitos y de socavación del fondo (sedimentador ideal). Para mantener estos efectos al mínimo, el tanque debe tener por lo menos 2 m de profundidad, y la relación entre la longitud ( $L$ ) y el ancho ( $B$ ) debe estar entre 3 y 8. La velocidad de flujo, calculada como  $V_o = Q/BH$ , estará entonces en la escala de 4 a 36 m/h.

La limpieza del tanque se hará manualmente, y su profundidad debe ser adecuada para acomodar el lodo que se acumula en el fondo entre las limpiezas.

## b) Dimensionamiento del tanque de sedimentación

—

(4.9)

$$Q^{(*)} = 9,4 \text{ E-}04 \text{ m}^3/\text{s} = 3,384 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$T^{(**)} = 5 \text{ h.}$$

(\*)Valor obtenido del estudio: "Aforos y caracterización de efluentes en el camal Antonio Ante", elaborado por el Ing. Carlos Falconí, INBIOTEC (2006).

(\*\*)Tiempo de retención de asumido.

— (4.8)

$$\text{—————}; \quad BLH = 16,92 \text{ (m}^3\text{)}$$

La profundidad del tanque (**H**) será de **3 m**. Por lo tanto  $BL = 5,64 \text{ m}^2$ .

Para una relación:

— (4.10)

Reemplazando en la anterior ecuación se tiene:  $B(3B) = 5,64 \text{ m}^2$

Las dimensiones del tanque serán entonces:

$$B = 1,37 \text{ m} \approx 1,5 \text{ m}$$

$$L = 4,11 \text{ m} \approx 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 6,75 \text{ m}^2$$

$$- ; \quad \text{—} ; \quad S_o = 0,6 \text{ m/h}$$

La remoción media de sólidos suspendidos de tanques de sedimentación es del 50 al 60%<sup>8</sup>

Según los resultados de la campaña de muestreo, los efluentes del camal de Antonio Ante, tienen una carga promedio de sólidos suspendidos totales igual a

656 mg/L (cuadro 9), asumiendo una remoción del 50% de los sólidos, se retendrá entonces 328 g lodo/m<sup>3</sup> de agua clarificada. Con la velocidad de sedimentación de 0,6 m/h, se tiene una carga superficial de lodo acumulado de 546,6 g/m<sup>2</sup>/hora.

Sólidos Sedimentables Totales= \_\_\_\_\_ (cuadro 9)

Contenido de materia seca (%) — \_\_\_\_\_ materia  
seca.

Para efectos de cálculo, se puede expresar los sólidos sedimentables totales en relación de masa:

Sólidos Totales Sedimentables = \_\_\_\_\_ = 7,7% materia seca

Densidad de la materia seca \_\_\_\_\_

Densidad de la materia seca \_\_\_\_\_

Carga superficial del lodo acumulado = \_\_\_\_\_

Acumulación de materia seca \_\_\_\_\_

Acumulación de materia seca \_\_\_\_\_

De tal forma que para una acumulación permisible de 0,5 m, se espera un intervalo de 70,4 h o 3 días entre las limpiezas<sup>31</sup>.

#### 4.2.1.2. Humedal Artificial

El diseño hidráulico es crítico para obtener buenos rendimientos en la eficiencia de depuración. En los modelos de diseño se asume un flujo en condiciones uniformes y de tipo pistón<sup>8</sup>.

Para llegar a poder intentar acercarse al modelo ideal (flujo pistón) es muy importante realizar un cuidadoso diseño hidráulico y los métodos constructivos apropiados<sup>8</sup>.

El flujo del agua en el interior del humedal debe romper las resistencias creadas por la vegetación, capa de sedimentos, raíces y sólidos acumulados en el humedal<sup>8</sup>.

La energía para romper esta resistencia está dada por la pérdida de carga entre el ingreso y salida del humedal, para dar esta energía se le asigna al fondo del humedal una pendiente con una salida de altura variable<sup>8</sup>.

Para el diseño del humedal se deben considerar los siguientes criterios:

1. Se consideran reactores biológicos.
2. Se considera que el flujo a través del medio poroso es flujo tipo pistón y en forma uniforme.
3. La ley de Darcy describe el flujo a través del medio poroso<sup>8</sup>.

Existen dos tipos de humedales de flujo subsuperficial:

- Humedal subsuperficial de flujo horizontal.
- Humedal subsuperficial de flujo vertical.

En este estudio se diseñará un humedal de flujo subsuperficial de flujo horizontal.

### a) Diseño del humedal de flujo subsuperficial de flujo horizontal.

Para el diseño de este tipo de humedales los pasos a seguirse son:

- Cálculo del área necesaria.
- Profundidad del humedal.
- Pendiente del humedal.
- Sustrato.
- Relación largo-ancho

### b) Dimensionamiento

#### CÁLCULO DEL ÁREA SUPERFICIAL

El cálculo del área superficial se realiza en función al parámetro contaminante que se desea disminuir o remover, en el caso de este estudio, el diseño se realizará para disminución de la DBO<sub>5</sub>.

El área superficial se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{A_s}{Q} = \frac{C - C_0}{K_T \cdot h \cdot \eta} \quad (4.11)$$

Donde:

$A_s$  = área superficial (m<sup>2</sup>)

$Q$  = caudal de diseño del humedal (m<sup>3</sup>/s)

$C$  = concentración del efluente (mg/L)

$C_0$  = concentración del afluente (mg/L)

$K_T$  = Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura (d<sup>-1</sup>)

$h$  = profundidad del humedal (m)

$\eta$  = porosidad del medio granular (%)

La constante de reacción de primer orden se calcula mediante la siguiente ecuación:

**(4.12)**

Donde:

$T_2$  = temperatura del agua (°C)

### Sustrato

Es el medio donde crecen las plantas, los microorganismos y se realizan los principales procesos de depuración.

Para el diseño se recomienda utilizar grava con menos de 30 mm. de diámetro que es la que funciona mejor<sup>8</sup>.

Si se utiliza grava con diámetros muy grandes de sustrato, origina que se incremente la velocidad del paso del agua, resultando un flujo turbulento y que no se cumpla la ley de Darcy para el diseño<sup>8</sup>.

Caso contrario ocurre con grava de tamaño demasiado pequeño, esta reduce la velocidad del paso del agua originando zonas con presencia de agua en la superficie y flujos preferenciales, pero tienen la ventaja de proporcionar una mayor área superficial para la actividad microbiana y la adsorción<sup>8</sup>.

Debido a estas consideraciones, se utilizará como sustrato para el diseño del humedal : Arena con grava.

En el siguiente cuadro se muestran las características principales de los sustratos usados en los humedales.

Cuadro 15. Características propias de materiales empleados en el diseño y construcción de humedales de flujo horizontal.

Tipo de medio	Tamaño efectivo $D_{10}$ (mm)	Porosidad, $\eta$ (%)	Conductividad hidráulica, $K_s$ ( $m^3/m^2/d$ )
Arena gruesa	2	28 a 32	100 -1 000
Arena con grava	8	30 a 35	500 – 5 000
Grava fina	16	35 a 38	1 000 – 10 000
Grava mediana	32	36 a 40	10 000 – 50 000
Roca gruesa	128	38 a 45	50 000 – 250 000

Fuente: Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo subsuperficial

Elaboración: EPA

Datos:

$$Q^{(a)} = 9,4 \text{ E-04 } m^3/s = 3,384 \text{ m}^3/h = 81,216 \text{ m}^3/d$$

$$C_0^{(b)} = 565,6 \text{ (mg/L)}$$

$$C^{(c)} = 56,56 \text{ (mg/L)}$$

$$h^{(d)} = 1,5 \text{ (m)}$$

$$\eta^{(e)} = 35\%$$

$$T_2^{(f)} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

<sup>(a)</sup> Valor obtenido del estudio: "Aforos y caracterización de efluentes en el camal Antonio Ante", elaborado por el Ing. Carlos Falconí, INBIOTEC (2006).

<sup>(b)</sup> Máxima concentración de  $DBO_5$  obtenida en el muestreo de los efluentes del camal de Antonio Ante (ver cuadro 9.)

<sup>(c)</sup> Se estima una reducción del 90% de la  $DBO_5$

<sup>(d)</sup> En este diseño se asume una altura de 1,5 m, considerando que el lecho consta de varias capas de sustrato.

<sup>(e)</sup> Porosidad promedio de la arena con grava que es el sustrato a utilizarse en el diseño del humedal.



<sup>(f)</sup> Se asume 20 °C como temperatura ambiente del agua.

La constante de reacción de primer orden será por lo tanto:

Y el área superficial del humedal será:

$$\frac{\text{---}}{\text{---}}$$

### Relación Largo - Ancho

Para calcular el ancho del humedal se considera la ley de Darcy, para flujo en medio poroso:

*Principio de Darcy para flujos porosos:*

$$\text{---} \quad (4.13)$$

Donde:

Ac= área vertical (m<sup>2</sup>)

Q = caudal medio (m<sup>3</sup>/s)

K<sub>s</sub> = conductividad hidráulica (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d)

S = pendiente

Datos:

Q = 3,384 m<sup>3</sup>/h = 81,216 m<sup>3</sup>/d

K<sub>s</sub><sup>(a)</sup> = 1 000 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d)

$$S^{(b)} = 0,5\% = 0,005$$

<sup>(a)</sup> Conductividad hidráulica promedio de la arena con grava (ver cuadro 15).

<sup>(b)</sup> La pendiente del humedal generalmente varía de 0,1 a 1%, siendo el valor usual de 0,5% <sup>31</sup>.

Entonces:

---

El ancho del humedal (m) se determina en función del área vertical y la profundidad del nivel de agua a tratar (ver la siguiente ecuación)

$$\text{—} \quad (4.14)$$

Por lo tanto el ancho del humedal será:

---

El largo del humedal se determina en función del ancho y al área superficial como muestra la siguiente ecuación:

$$\text{—} \quad (4.15)$$

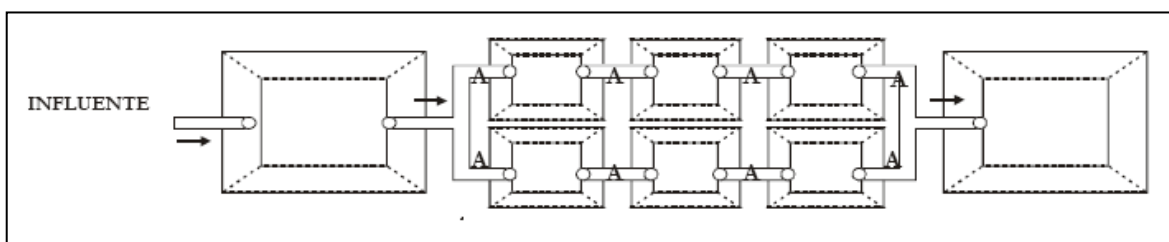
Entonces el largo del humedal será:

---

Por lo tanto la relación: — , valor recomendado por diferentes autores.

Se propone establecer 6 módulos de humedal, dispuestos en paralelo en 2 filas de 3 módulos cada una como muestra la siguiente figura.

Figura 31. Diagrama de flujo de la posición relativa de la laguna de sedimentación del agua de entrada (influyente), celda de humedales artificiales y disposición final.



Fuente: Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM

Elaboración: Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG

Por lo que aproximando los valores calculados se tienen las siguientes dimensiones para cada una de las celdas:

$$L \approx 30 \text{ m} / 3 = 10 \text{ m.}$$

$$W \approx 12 \text{ m} / 2 = 6 \text{ m.}$$

$$\text{Área de cada humedal} = 60 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de todo el humedal} = 360 \text{ m}^2$$

### c) Vaciado, Excavación, Graduación

La celda debe ser graduada planamente de un lado a otro con una pendiente uniforme leve hacia el flujo (0,05%). La compactación uniforme de la tierra es necesaria para proteger la integridad del recubrimiento externo e interno<sup>26</sup>.

Figura 32. Un sitio excavado y graduado que muestra una pendiente leve ( $\sim 1\%$ ) en la dirección del flujo



Fuente: Humedales Construidos para el Tratamiento de Aguas negras

Elaboración: Bren School of Environmental Science and Management, University of California

#### **d) Construcción**

El recubrimiento debe ser puesto en el lugar una vez de que la tierra en el sitio sea preparada, como se puede ver en la figura 33.

Luego, las estructuras de la entrada y salida pueden ser construidas, seguida por la adición de la grava al sistema.

##### ➤ Recubrimiento

Un recubrimiento debe ser utilizado en humedales de tratamiento de aguas residuales para prevenir la infiltración de agua contaminada en manto subterráneo.

El recubrimiento debe ser fuerte, grueso, y liso, y debe ser protegido de la perforación por piedras punteagudas o grava. Los materiales propuestos para

este fin son: una capa de cemento, sobre esta una geomembrana y por último una de geotextil.

Figura 33. El sitio de la construcción que muestra un recubrimiento plástico sintético para humedales



Fuente: Humedales Construidos para el Tratamiento de Aguas negras

Elaboración: Bren School of Environmental Science and Management, University of California

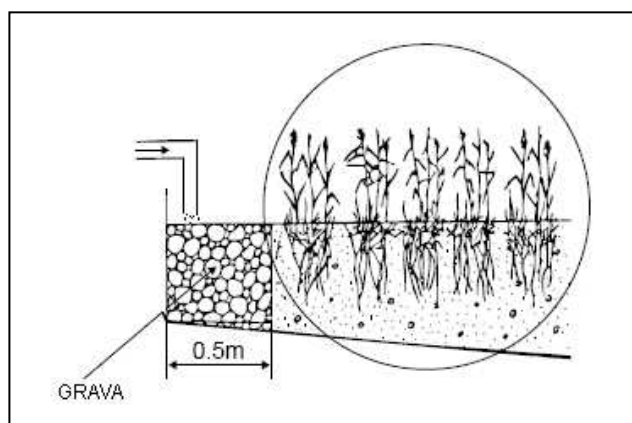
#### ➤ Tuberías

Al inicio se propone colocar una tubería de PVC proveniente del tanque de sedimentación, ubicada sobre una columna de grava (de 0,5 m de ancho) a la entrada del humedal, (como muestra la figura 34), esto debido a que se permite el ajuste rápido de la distribución del flujo y facilita el pasaje de sólidos asentados.

Al igual que para la entrada del afluente, para la salida se propone la utilización de una tubería PVC de 110 mm de diámetro, dispuesta desde el fondo del lecho en forma de "L" (como indica la figura 35), aquí no es necesaria la columna de grava.

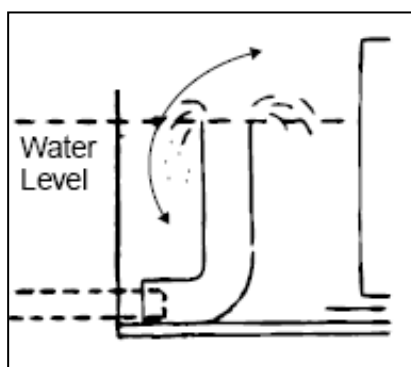
A lo largo del lecho, se debe colocar una tubería de drenaje, PVC de 110 mm de diámetro, perforada a manera de flauta (cada orificio tendrá 0,5 pulg. de diámetro), esto para facilitar el flujo horizontal del agua a través del humedal.

Figura 34. Entrada del humedal



Fuente: Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters  
Elaboración: Environmental Protection Agency (EPA)

Figura 35. Tubería de salida del humedal



Fuente: Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters  
Elaboración: Environmental Protection Agency (EPA)

En total, se requerirán 30 m de tubo PVC de 110 mm para el drenaje y 12 m de tubos PVC de 110 mm para las entradas y salidas (cada tubería de entrada y salida tendrán 1 m, y dado que son 6 módulos de humedal, se necesitarán 12 m)

➤ Lecho

De acuerdo al dimensionamiento del humedal, la profundidad del lecho es de 1,5 m, el cual tendrá la siguiente distribución:

Borde libre	0,30 m
Arena gruesa $\Phi$ 2 mm	0,60 m
Gravilla $\Phi$ 16 mm	0,20 m
Grava $\Phi$ 32 mm	0,40 m

Fondo del lecho

**e) El establecimiento de la vegetación**

Aunque la vegetación en un humedal de flujo subsuperficial no es un factor significativo en la remoción de nutrientes, como se mencionó en el capítulo 2, las plantas (macrófitas) más recomendables son los helófitos.

En el caso de este estudio, se eligió la utilización de carrizos (*Phragmites spp.*), ya que es una planta que se desarrolla de manera natural en el cantón Antonio Ante ya que éste presenta las condiciones climáticas favorables para su crecimiento (clima templado seco, y una temperatura ambiente promedio de 16 °C).

Además, esta planta tiene varias ventajas debido a que se trata de una planta durable, de rápido crecimiento y que no es una fuente alimenticia para aves o la vida silvestre. Además, no se requiere su poda y durante épocas de invernales tiene la ventaja de proporciona un aislamiento térmico debido a la acumulación de detritos vegetales sobre el lecho de grava.

La vegetación debe ser plantada firmemente debajo de la capa primera de grava para prevenir crecimientos de plantas indeseables<sup>26</sup>.

Las condiciones húmedas deben ser mantenidas después de la siembra para motivar el crecimiento inicial. El nivel del agua puede ser aumentado lentamente a medida que los nuevos brotes se desarrollan y crecen. Pero, si el nivel del agua excede las puntas de los renuevos verdes, las plantas se morirán. Permitir entre 0,3 y 1 m entre de cada mata.

Al cabo de unas pocas semanas del crecimiento de plantas, las aguas residuales pueden ser introducidas.

#### **f) Mantenimiento**

El mantenimiento de una laguna de estabilización y humedal construido debe implicar sólo un día a la semana o menos (US EPA1999) :

- Cosechando de plantas generalmente no es requerido para humedales tipo SSF, pero trabajo anual, incluyendo quitar, quemar, afinar, o replantar de vegetación puede ser beneficioso si el flujo es dañado. Una dispersión uniforme de la comunidad de plantas debe ser mantenida para asegurar el tratamiento efectivo.
- El humedal debe ser revisado con regularidad para uniformidad de flujo, y para los olores indeseables. La invasión de plantas, de insectos, y de animales deben ser observados y quitados.
- Si se desea, se puede monitorear el agua químicamente para asegurar el funcionamiento del humedal o investigar la eficiencia del humedal construido. Esto aumentará el costo y el tiempo requerido para el mantenimiento, pero es un indicador útil del tratamiento exitoso de aguas residuales. Los parámetros importantes para controlar incluye pH, oxígeno disuelto (OD), los sólidos suspendidos (SS), y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)<sup>26</sup>.



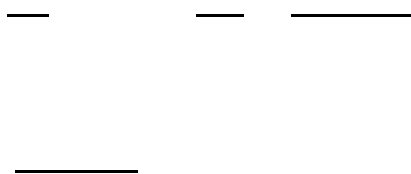
## 4.2.2 AMBIENTAL

### 4.2.2.1 Beneficios medioambientales

- Con la aplicación del humedal artificial como tratamiento de las aguas residuales del camal, se estaría evitando al ambiente una carga orgánica contaminante aproximada de 1 509<sup>(\*)</sup> (kg DBO<sub>5</sub>/año).

(\*)

**(4.16)**



- No se requiere de energía eléctrica para la operación del humedal construido.
- En el humedal artificial no producen biosólidos ni lodos residuales que requerirían tratamiento subsiguiente y disposición.
- No produce olores, ni hay proliferación de vectores, esto es beneficioso para la salud de las personas que trabajan en el camal y de los vecinos del lugar.
- No produce un impacto visual, es estéticamente agradable a la vista.
- No requiere de la adición de productos químicos.
- El agua tratada puede ser reutilizada para limpieza de los suelos del camal o bien para riego de los terrenos aledaños, reduciendo así el consumo de agua potable.

#### 4.2.2.2 Efectos negativos medioambientales

- En el tanque de sedimentación hay producción de lodos residuales.
- A pesar de que las plantas del humedal no requieren una poda periódica, es recomendable hacerlo por lo menos una vez al año, por lo que habrán residuos vegetales.
  - Medidas para mitigar los efectos negativos:

Tanto los lodos residuales del tanque sedimentador, como las plantas provenientes de la poda del humedal, serán enviados al sistema de compostaje, conjuntamente con los residuos sólidos orgánicos provenientes del proceso de producción del Camal.

#### 4.2.3 ECONÓMICA

En el siguiente cuadro se muestra un desglose de los costos de construcción del humedal artificial.

Cuadro 16. Costos de inversión para la construcción del humedal artificial diseñado para el tratamiento de las aguas residuales del camal de Antonio Ante.

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (\$)</b>	<b>Costo Total (\$)</b>
Excavación /Compactación	<sup>(a)</sup> 540 m <sup>3</sup>	2,30 /m <sup>3</sup>	1 242
Enlucido horizontal de cemento	360 m <sup>2</sup>	6 /m <sup>2</sup>	2 160
Geomembrana de PP de 1 mm de espesor	360 m <sup>2</sup>	8 /m <sup>2</sup>	2 880
Geotextil	360 m <sup>2</sup>	3 /m <sup>2</sup>	1 080

**Cuadro 16. CONTINUACIÓN**

Arena gruesa	<sup>(b)</sup> 108 m <sup>3</sup>	20 /m <sup>3</sup>	2 160
Gravilla	<sup>(c)</sup> 72 m <sup>3</sup>	10 /m <sup>3</sup>	720
Grava	<sup>(d)</sup> 144 m <sup>3</sup>	20 /m <sup>3</sup>	2 880
Plantas	<sup>(e)</sup> 180 u.	0,50 /u	90
Tubo PVC de 110 mm	<sup>(f)</sup> 42 m.	4,20 /m	176,40
<b>Costo total de inversión</b>			<b>12 788,40</b>

<sup>(a)</sup> Dato obtenida de la multiplicación del área del humedal por la profundidad => 360 m<sup>2</sup> \* 1,5 m.

<sup>(b)</sup> Valor calculado mediante la multiplicación del área del humedal por la profundidad de la capa de arena => 360 m<sup>2</sup> \* 0,3 m.

<sup>(c)</sup> Valor calculado mediante la multiplicación del área del humedal por la profundidad de la capa de gravilla => 360 m<sup>2</sup> \* 0,2 m.

<sup>(d)</sup> Valor calculado mediante la multiplicación del área del humedal por la profundidad de la capa de grava => 360 m<sup>2</sup> \* 0,4 m)

<sup>(e)</sup> Se colocarán 2 plantas/m<sup>2</sup>, es decir, se necesitarán 180 plantas de carrizo.

<sup>(f)</sup> Incluyendo la tubería de drenaje, las tuberías de entrada y de salida de cada modulo de humedal se necesitan 42 m de tubo PVC de 110 mm.

**4.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

- El área total requerida para la implementación del sistema de compostaje y del humedal es de 840 m<sup>2</sup>. El camal sí dispone de esa área de terreno, por lo cual este factor no sería un problema para la implementación de las opciones de tratamiento de residuos antes analizadas. (Ver anexo 1)

$$\text{Área total requerida} = A_{\text{compostaje}} + A_{\text{sedimentador}} + A_{\text{humedal}}$$

$$\text{Área total requerida} = (621 + 6,75 + 360) \text{ m}^2$$

$$\text{Área total requerida} = 987,75 \text{ m}^2$$

- La inversión total requerida para la implementación de las opciones de tratamiento de residuos antes propuestas, es de \$ 15 468,2.

$$\text{Inversión total} = \text{Costo}_{\text{compostaje}} + \text{Costo}_{\text{humedal}}$$

$$\text{Inversión total} = \$ (2\,679,8 + 12\,788,40)$$

$$\text{Inversión total} = \$ 15\,468,2$$

Con la construcción del humedal no se obtienen réditos, pero con la venta del compost se puede estar obteniendo una ganancia anual aproximada de \$ 923,2, monto con el cual el período de retorno del capital invertido sería de 16 años.

Desde el punto de vista económico, el implantar las opciones de tratamiento antes analizadas, es poco atractivo, sin embargo, para este análisis económico no se ha tomado en cuenta los beneficios ambientales, los cuales son muy altos e invaluable. Además, en comparación con otras opciones de tratamiento, las escogidas son las más económicas, ya que no se necesita infraestructura complicada, ni equipos o maquinarias eléctricos, lo que no incrementaría los costos de energía eléctrica del camal, además, no se necesitan de operaciones de mantenimiento y operación periódicas, por lo que no se incrementarían costos en personal químicos o aditivos extra.

- Al aplicar el humedal artificial se estaría reduciendo la  $\text{DBO}_5$  del efluente del camal de 565,6  $\text{mgO}_2/\text{L}$  hasta aproximadamente 56,56  $\text{mgO}_2/\text{L}$ , valor que está muy por debajo del límite máximo permisible de descarga de los efluentes al sistema de alcantarillado, estipulado el TULSMA, LIBRO VI, ANEXO 1 (NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA), TABLA 11 (Límites de descarga al sistema de alcantarillado público), el cual es de 250  $\text{mgO}_2/\text{L}$ .

- El lodo obtenido del tanque sedimentador será enviado a la planta de compostaje para su tratamiento.
  
- En cuanto a los beneficios ambientales de la implementación del sistema de compostaje como del humedal artificial, los principales son los siguientes:
  - ✓ Con la aplicación del sistema de compostaje se estaría evitando el desecho de aproximadamente 360 ton/año de residuos al relleno sanitario de Antonio Ante, dándole más vida útil al mismo y por ende reduciendo la ocupación y contaminación del suelo.
  
  - ✓ En cuanto al uso del humedal artificial como tratamiento de las aguas residuales, se estaría reduciendo una carga orgánica al ambiente de aproximadamente 1 509 kg DBO<sub>5</sub> anual, ayudando así a la conservación de la calidad del recurso hídrico.

## **CAPÍTULO 5.**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- Del análisis de viabilidad de implementación del sistema de compostaje como opción de tratamiento de residuos sólidos del camal de Antonio Ante, se puede concluir que es una alternativa técnica, económica y ambientalmente factible de implementar y ejecutar.
  
- En cuanto al análisis de implementación del humedal artificial para tratamiento de efluentes líquidos, se puede concluir que es una opción técnica y ambientalmente viable, mas no económica, pues utilizando los rubros del compostaje, el período de retorno de la inversión total sería de 16 años, factor que la hace una opción poco atractiva, sin embargo, su aplicación resulta indispensable para evitar la contaminación de aguas tanto superficiales como subterráneas, preservando no sólo el recurso hídrico sino fundamentalmente la salud de las personas que utilizan las aguas del río Ambi (que es en donde desembocan las aguas de alcantarillado del Cantón, sin previo tratamiento), así como para conservación de la biodiversidad de la región.
  
- A pesar de no ser económicamente atractivo el implementar el humedal, es la opción más barata y efectiva respecto a los sistemas de tratamiento convencionales, y una de las mayores ventajas es que opera por sí solo, ahorrándose costos de operación, salarios, químicos extra, y energía eléctrica.
  
- La implementación de las dos opciones propuestas aseguraría las condiciones higiénicas del lugar, pues no habrá presencia de vectores, ratas y aves carroñeras

que es uno de los problemas que aqueja al camal, protegiendo así no sólo la salud de quienes trabajan ahí, sino de las personas que viven en sitios aledaños a las instalaciones del camal.

- Con respecto a la calidad del aire, en el proceso productivo del camal no se identificaron mayores impactos negativos ambientales, por lo que no se propone ninguna opción para tratamiento de emisiones gaseosas.

- Al aplicar las dos opciones de tratamiento propuestas se estaría aplicando una adecuada gestión de residuos generados en el proceso de faenamiento del camal de Antonio Ante, convirtiendo al proceso productivo en sustentable, es decir aprovechando los recursos como suelo y agua de manera óptima sin comprometer las posibilidades de atender las necesidades de generaciones futuras.

- Tanto el sistema de compostaje como el humedal artificial, 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.

- El costo de este proyecto hace viable su implementación, dependiendo de la decisión al respecto del Alcalde y Concejo Municipal, que deben cumplir con su responsabilidad social, de mantener un medio ambiente sano y libre de contaminación en su ámbito territorial.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- El Municipio de Antonio Ante debe elaborar y aprobar una ordenanza ambiental para prevenir y controlar los impactos negativos al medio ambiente, así mismo, se debería crear un sistema de incentivos para todas aquellas empresas e industrias que lleven una gestión ambiental en sus procesos.

- Para minimizar la generación de residuos sólidos de los camales, se recomienda realizar alianzas estratégicas entre los Municipios de la provincia de Imbabura, con el fin de crear de manera conjunta, una planta de procesamiento de sus residuos para la elaboración de sub – productos, como: concentrados para alimentos de animales a partir de la deshidratación de contenido ruminal, o harinas a partir de la deshidratación de sangre y calcinación de huesos. La bilis puede ser recolectada de manera conjunta y ser vendida a la industria farmacéutica, pues existen varias especialidades medicinales que contienen en su formulación principios activos naturales obtenidos de la bilis como tal o modificados químicamente.

- Del proceso de compostaje se puede aprovechar el lixiviado, elaborando biol que es un abono líquido muy apreciado por sus componentes nutricionales, sin embargo, esto incrementaría los costos de operación del sistema de compostaje, por lo que una vez más es aconsejable que esta labor se la realice de manera conjunta con otros camales de la región.

- El agua tratada podría ser recuperada y recirculada al proceso productivo del camal, reduciendo así el consumo de aproximadamente 187 m<sup>3</sup> de agua mensualmente (asumiendo que se reutiliza un 50% del agua tratada para limpieza del camal y lavado de tripas) , sin embargo, esto requeriría la implementación de una estructura de recirculación del agua, lo que incrementaría los costos de inversión y no se verían beneficios económicos, debido a que el camal al ser municipal no paga el consumo de agua potable.

- Con respecto a las operaciones de mantenimiento del humedal artificial, es recomendable realizar un monitoreo y seguimiento del mismo para obtener una eficiencia máxima de operación, esto se lo puede hacer mediante la colocación vertical de un tubo de PVC llamado registro, en el centro de cada módulo de humedal, en el interior de este registro se colocará una malla, la cual contendrá una columna del medio que se utilizó, en este caso: 60 cm de arena gruesa, 20 cm, de gravilla y 40 cm de grava, y cada cierto tiempo se sacará dicha



mallas del registro y se analizará el medio para controlar las condiciones y funcionamiento de todo el humedal.

- Las opciones de tratamiento estudiadas, no sólo son aplicables localmente, sino también pueden ser usadas a nivel regional, pues el esquema de solución puede ser replicado sin ningún problema en canales de otros cantones, siempre que sean de tamaño y características similares.

- Es aconsejable que cada gobierno municipal emplee parte del presupuesto en campañas de información acerca de la importancia de la optimización del uso de recursos, del uso racional del agua, de la reducción, reutilización y reciclaje de residuos, formando así una conciencia ambiental colectiva, pues el conocimiento del tema es la mejor forma de contribuir a la conservación del medio ambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Altamirano M. y C. Cabrera (2006). Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual. Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM).  
[www.scielo.org.pe/pdf/iigeo/v9n17/a10v9n17.pdf](http://www.scielo.org.pe/pdf/iigeo/v9n17/a10v9n17.pdf)
2. 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/capit6.html>
3. Balladares A. M. (2003). 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/rellenos.html>
4. Betancourt L. (2004). Plan de Manejo de Desechos Sólidos en la Gestión Ambiental Empresarial.  
<http://74.125.47.132/search?q=cache:7LWtmhgEXM8J:www.monografias.com/trabajos19/manejo-desechos-solidos/manejo-desechos-solidos.shtml+gesti%C3%B3n+de+desechos+solidos+y+liquidos&cd=4&hl=es&ct=clnk&gl=ec>
5. 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](http://www.cofepris.gob.mx/work/sites/cfp/resources/.../3/GUIA4.PDF)
6. Carrión G. (2008). Manual Técnico de Difusión Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para Albergues en Zonas Rurales. Plan Nacional de Calidad Turística del Perú (CALCUL).

[http://www.mincetur.gob.pe/Turismo/Otros/caltur/pdfs\\_documentos\\_Caltur/Gestion\\_Ambiental/Aguas\\_servidas.pdf](http://www.mincetur.gob.pe/Turismo/Otros/caltur/pdfs_documentos_Caltur/Gestion_Ambiental/Aguas_servidas.pdf)

7. Cointreau S. (2006). Solid Waste Advisor Banco Mundial. World Bank. <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTURBANDEVELOPMENT/EXTUSWM/0,,contentMDK:20239437~menuPK:463861~pagePK:210058~piPK:210062~theSitePK:463841,00.html#livestock10>
8. Delgadillo O. (2010) Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua en Bolivia (Centro AGUA).  
[http://books.google.com.ec/books?id=1kO2J5aDljQC&printsec=frontcover&dq=Depuraci%C3%B3n+de+aguas+residuales+por+medio+de+humedales+artificiales&hl=es&ei=NEfYTO7AJoqr8AbfooiQCw&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCcQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.ec/books?id=1kO2J5aDljQC&printsec=frontcover&dq=Depuraci%C3%B3n+de+aguas+residuales+por+medio+de+humedales+artificiales&hl=es&ei=NEfYTO7AJoqr8AbfooiQCw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCcQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false)
9. Duque P. y L. Chinchay (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.  
[www.aeisa.org.ec/.../R2%20Quito%20DUQUE-ECUADOR-1.doc](http://www.aeisa.org.ec/.../R2%20Quito%20DUQUE-ECUADOR-1.doc)
10. García J., Morató J. y J. Bayona. (2007). Depuración con Sistemas Naturales: Humedales Construidos. Universidad de Sevilla (US)- Congreso Iberoamericano Sobre Gestión y Planificación del Agua.  
[http://grupo.us.es/ciberico/archivos\\_word/99b.doc](http://grupo.us.es/ciberico/archivos_word/99b.doc).
11. Gómez S. E. (2006). Biodegradación de Asfaltenos del Prestige Mediante la Aplicación de las Técnicas de Compostaje – vermicompostaje.  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Compost>
12. Guerrero J. e I. Ramírez (2004). Manejo Ambiental de Residuos en Mataderos de Pequeños Municipios, Universidad Tecnológica de Pereira.

[www.utp.edu.co/php/revistas/.../docsFTP/12226199-204.pdf](http://www.utp.edu.co/php/revistas/.../docsFTP/12226199-204.pdf)

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. 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).  
[dialnet.unirioja.es/servlet/fichero\\_articulo?codigo=2244838](http://dialnet.unirioja.es/servlet/fichero_articulo?codigo=2244838).
15. Llagas W. A. y G. Enrique (2006). "Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM". Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG, 15, pp. 85-96.
16. López V. R. y A. Casp (2004). Tecnología de Mataderos. Madrid: Ediciones Mundi- Prensa.
17. Lugo S. (1998). Evaluación de los Proyectos de Compostaje en el Ecuador, Fundación Natura, Red Panamericana de Manejo Ambiental de Residuos (REPAMAR), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (G.T.Z.).  
<http://www.cepis.opsoms.org/eswww/repamar/gtzproye/compost/compost.html>
18. Mapfre Empresas. (2005). Minimización del riesgo medioambiental en los mataderos. Centro de Documentación FUNDACIÓN MAPFRE,  
[www.mapfre.com/documentacion/publico/.../imagen.cmd?...1](http://www.mapfre.com/documentacion/publico/.../imagen.cmd?...1)
19. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca del Ecuador. (2009). Panorama de la Cadena Agroindustrial de la Carne y Subproductos. SICA.  
<http://74.125.47.132/search?q=cache:k3pSfBSGO2AJ:www.sica.gov.ec/caden>

as/carne/docs/panorama.htm+mataderos+en+ecuador&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=ec

20. Moreno J. (2008). Compostaje, Madrid: Ediciones Mundi- Prensa.
21. Negrão C. R. (2002). Gestión Ambiental. Unesco.  
www.unesco.org.uy/geo/campinaspdf/3gestion.pdf
22. Productos AGRI-NOVA Science, El Compostaje, AGRI-NOVA.  
www.agri-nova.com
23. Röben E. (2001). Aprovechemos nuestra basura, produzcamos abono natural. I. Municipio de Loja, Ecuador.  
www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/guialcalde/...Compostaje/Compostaje.pdf
24. Röben E. (2002). Manual de Compostaje para Municipios, Deutscher Entwicklungsdienst (DED) e Ilustre Municipalidad de Loja.  
http://ecuador.ded.de/cipp/ded/lib/all/lob/return\_download,ticket,g\_u\_e\_s\_t/bid,575/check\_table,all/~/roeben\_2002\_manual.pdf
25. Rodríguez S. (2006). Manual de Compostaje Municipal. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).  
http://books.google.com.ec/books?id=4qzWh\_ulfXMC&printsec=frontcover&source=gbs\_ge\_summary\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
26. Setty K. (2007). Manual de Construcción: Humedales Construidos para el Tratamiento de Aguas negras. Bren School of Environmental Science and Management, University of California.  
www2.bren.ucsb.edu/.../Diseno\_Humedal\_AguasNegras.pdf

27. Signorini M. y S. Civit. (2006). Evaluación de Riesgos se los Rastros y Mataderos Municipales.  
<http://201.147.97.103/work/sites/cfp/resources/LocalContent/473/3/EVAL1.PDF>
28. Silva H. y J. Samperi. (2004). Guía Básica de Manejo Ambiental de Rastros Municipales, Centro de Producción más Limpia de Nicaragua (CPML).  
[www.incidencia.org.gt/...Ambientales/Manejo%20Ambiental%20de%20Rastros%20Municipales.pdf](http://www.incidencia.org.gt/...Ambientales/Manejo%20Ambiental%20de%20Rastros%20Municipales.pdf)
29. Silva L. y P. López. (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>
30. United States Environmental Protection Washington Agency, (2000), Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo subsuperficial, (EPA).  
[www.epa.gov/owm/mtb/cs\\_00\\_023.pdf](http://www.epa.gov/owm/mtb/cs_00_023.pdf)
31. Valencia M. G. (1976). Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales para Países en Desarrollo. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).  
<http://www.cepis.org.pe/bvsacd/scan/020867/020867-15.pdf>

## **ANEXOS**

**ANEXO 1.**

**PLANO DEL CAMAL DE ANTONIO ANTE**





## **ANEXO 2.**

### **VISTAS EN PERFIL DEL SISTEMA DE COMPOSTAJE Y DE UNA CELDA DE HUMEDAL ARTIFICIAL**



**ANEXO 3.**

**INFORME DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE  
LABORATORIO DE LAS MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES  
DEL CAMAL DE ANTONIO ANTE**

