Universidad de La Salle
Ciencia Unisalle

Ingeniería Ambiental y Sanitaria | Facultad de Ingeniería

1-1-2000

Factibilidad técnica para el aprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de agua residual en el sector de sacrificio de aves en Bogotá

Gilma Llinnet Ruiz Acosta
Universidad de La Salle, Bogotá

Oscar Orlando Torres
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Citación recomendada

Ruiz Acosta, G. L., & Torres, O. O. (2000). Factibilidad técnica para el aprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de agua residual en el sector de sacrificio de aves en Bogotá. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1401

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

FACTIBILIDAD TECNICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN EL SECTOR DE SACRIFICIO DE AVES EN BOGOTÁ

GILMA LLINNET RUIZ ACOSTA

OSCAR ORLANDO TORRES

Monografía para optar al título de

Ingeniero Ambiental y Sanitario

Director

HUMBERTO DÍAZ

Ingeniero Ambiental y Sanitario

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ, D. C.

2000

FACTIBILIDAD TECNICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN EL SECTOR DE SACRIFICIO DE AVES EN BOGOTÁ

GILMA LLINNET RUIZ ACOSTA

OSCAR ORLANDO TORRES

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ, D. C.

2000

LISTADO DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Subproductos generados por las empresas en la fase de sacrificio 32

Cuadro 2. Composición química y propiedades típicas de los lodos 95

Cuadro 3. Resultados de las caracterizaciones 96

Cuadro 4. Comparación de costos entre tratamientos 127

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Aturdimiento eléctrico 16

Figura 2. Sacrificio mecánico 17

Figura 3. Escaldado 18

Figura 4. Pistola de cloaca 22

Figura 5. Evisceración 22

Figura 6. Chiller de vísceras 24

Figura 7. Chiller 25

Figura 8. Desprese 27

Figura 9. Diagrama de flujo del proceso industrial 28

Figura 10. Diagrama de flujo producción de harina de carne 34

Figura 11. Histograma uso de agua 38

Figura 12. Consumo de agua por unidad de pollo 39

Figura 13. Balance de agua por proceso 40

Figura 14. Histograma caracterizaciones empresa N° 1 44

Figura 15. Histograma caracterizaciones empresa N° 2 45

Figura 16. Histograma caracterizaciones empresa N° 3 46

Figura 17. Histograma caracterizaciones empresa N° 4 47

Figura 18. Histograma caracterizaciones empresa N° 5 48

Figura 19. Histograma caracterizaciones empresa N° 6 49

Figura 20. Histograma caracterizaciones empresa N° 8 50

Figura 21. Histograma caracterizaciones empresa N° 9 51

Figura 22. Histograma caracterizaciones empresa N° 10 52

Figura 23. Histograma caracterizaciones empresa N° 11 53

Figura 24. Histograma caracterizaciones empresa N° 12 54

Figura 25. Histograma caracterizaciones empresa N° 13 55

Figura 26. Histograma caracterizaciones empresa N° 14 56

Figura 27. Canal de recolección 60

Figura 28. Tanque de equalización 61

Figura 29. Tamiz Rotativo 62

Figura 30. Tamiz Estático 62

Figura 31. Trampa de grasas 63

Figura 32. Coagulación y Floculación 65

Figura 33. Vista planta del sistema DAFF 66

Figura 34. Vista frontal del sistema DAFF 67

Figura 35. Variación del volumen de lodos en función de su contenido de sólidos 71

Figura 36. Unidades integrantes de los métodos para el procesamiento del lodo 100

Figura 37. Comparación de costos 127

Figura 38. Costo de transporte por distancia recorrida 129

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Indicadores de contaminación	42
Tabla 2. Relación de químicos utilizados en la coagulación y la floculación	64
Tabla 3. Criterios microbiológicos para biosólidos Clase A	74
Tabla 4. Criterios microbiológicos para biosólidos Clase B	74
Tabla 5. Límites para patógenos en los dos tipos de lodo conforme a la norma EPA	75
Tabla 6. Número de huevos helmintos presentes en el lodo de diferentes partes del mundo	83
Tabla 7. Producción per – capita de lodo por pollo	88
Tabla 8. Costo del lodo para cada una de las empresas	90
Tabla 9. Químicos utilizados en las empresas caracterizadas	92
Tabla 10. Comparación norma EPA Vs. Muestras	97
Tabla 11. Resultados de Salmonella spp. y coliformes totales y fecales	97
Tabla 12. Relación de costos de terreno y maquinaria	104
Tabla 13. Relación de equipos y terreno necesario para el compostaje	111

Tabla 14. Lista de equipos necesarios para el funcionamiento de una planta de incineración 122

Tabla 15. Costo de transporte 128

Tabla 16. Maquinaria y equipo necesario para la producción de harina de carne 135

LISTADO DE ANEXOS

Pág.

ANEXO 1. Ordenanza para el manejo de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales no domésticas, que comprende el almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final. 155

ANEXO 2. Localización geográfica del sector en estudio. 167

ANEXO 3. Resultados de las caracterizaciones realizadas a los lodos. 169

ANEXO 4. Información suministrada por las empresas. 173

ANEXO 5. Formatos de encuesta e información. 176

GLOSARIO

A continuación se incluyen algunas definiciones de términos que ayudarán a la fácil comprensión del proyecto desarrollado.

Abono o fertilizante: Todo producto que aplicado al suelo o a los vegetales suministra uno o más elementos nutrientes necesarios para el desarrollo y crecimiento de los vegetales.

Aguas Residuales: Líquidos de composición variada cuya calidad original se ha alterado en consecuencia de su uso.

Alimento para animales: Todo producto que suministrado a los animales contribuye a su desarrollo, crecimiento y producción con uno o más elementos nutrientes. La definición incluye los concentrados, los alimentos para regímenes especiales, los suplementos y sales mineralizadas.

Almacenamiento Temporal: Se entiende como la retención de los lodos en el lugar de generación o en otro lugar adecuado, bajo responsabilidad del generador, por un período de tiempo determinado.

Aplicación en el Suelo: La colocación de los biosólidos en los suelos para tomar alguna ventaja de su contenido de nutrientes o de sus propiedades de mejorador de suelos.

Biosólido: Lodo que puede ser biológico y utilizado en reciclaje agrícola.

Canal: Nombre que se le da al pollo después de la fase de evisceración.

Carga: Es el producto de la concentración promedio por el caudal promedio determinados en el mismo sitio, o la cantidad de residuos sólidos generados; se expresa en Kg/día.

Caudal: Volumen de líquido descargado en un tiempo determinado.

Concentración: Relación existente entre el peso y el volumen del líquido o sólido que lo contiene.

Contaminación del agua: Es la alteración de sus características físicas, químicas o bacteriológicas como resultado de las actividades humanas, que puede producir enfermedad y la muerte del consumidor.

CRETIB: Conjunto de pruebas (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infeccioso) para determinar si un lodo de una planta de tratamiento de aguas residuales es un residuo peligroso.

DBO_5: Demanda Bioquímica de oxigeno a 5 días. Medición indirecta de carga orgánica, expresada en mg/L.

Disposición Final: Comprende las actividades de depósito permanente de los lodos o residuos, en sitios y condiciones adecuadas para evitar daños al medio ambiente.

DQO: Demanda Química de Oxigeno. Medición indirecta de carga orgánica por medios químicos, expresada en mg/lt.

Escaldado: Consiste en sumergir al animal muerto en un baño de agua caliente (60°C), con el fin de eliminar las bacterias y facilitar la remoción de las plumas.

Evisceración: Consiste en eliminar de la canal la mayor parte de los órganos que contiene en sus cavidades; también se eliminan la cabeza, el cuello y los tejidos asociados.

Generador: Toda persona natural o jurídica, pública o privada, cuya actividad genera lodos y es responsable de los efectos que causen sus lodos durante el manejo, transporte, tratamiento y disposición final.

Lodo: Sólidos acumulados y separados de los líquidos, del agua o agua residual durante un proceso de tratamiento, o decantación en un cuerpo de agua.

Lodo asimilable como Biosólido: Aquel que por sus características físico químicas y biológicas, equivale a los provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y pueden tener un fin benéfico al reusarlos.

Lodo asimilable como Residuo Urbano: Aquel que sus parámetros biológicos superan los límites de la tabla 3, Anexo 1, sin embargo, puede ser llevado a biosólido por algún tratamiento.

Lodo no asimilable como Residuo Urbano: Aquel que por sus características físico químicas y biológicas, no llega a ser catalogado como biosólido o residuo urbano, pero tampoco se cataloga como lodo peligroso.

Manejo: Comprende las fases de envasado, etiquetado, almacenamiento, traslado en el lugar de generación, tratamiento, reuso y/o reciclaje de los lodos.

Monocelda: Unidad de disposición en la cual se depositan una sola clase de residuos que contengan características similares y al mezclarse no interactúen.

Pienso: Porción de alimento seco que se da al ganado.

Reciclaje: Operación de separar y clasificar selectivamente los residuos para volver a utilizarlos convenientemente.

Residuo Peligroso: Cualquier tipo de residuo que tenga características corrosivas, reactivas, tóxicas, explosivas, inflamables y biológico infecciosas; las cuales podrían causar daños a la salud humana y afectar al medio ambiente.

Residuos Sólidos: Todos los objetos, sustancias o elementos en estado sólido, que se abandonan, botan o rechazan.

Reuso: Acción de volver a usar un desecho, sin previo tratamiento.

Tanque de Equalización: Este tanque tiene como fin regular los caudales picos generados en la industria, debido a que se presentan variaciones en los caudales.

Tasa de Aplicación de biosólidos: Se refiere a la cantidad de biosólidos que pueden ser dispuestos en un período de tiempo, según el sitio destinado para este propósito.

Tiempo de exposición: Es el lapso de duración de un episodio o evento.

Toxicidad: Propiedad de una sustancia elemento o compuesto, de causar daños en la salud humana o la muerte de un organismo vivo.

Tolva de almacenamiento: Tanque donde se descargan los subproductos correspondientes a la jornada de trabajo. Suelen ser construidas en acero al carbono, aunque ya se hacen en acero inoxidable, material mucho más higiénico; estas son generalmente elevadas.

Tratamiento de residuos sólidos: El proceso de transformación física, química o biológica de los residuos sólidos para modificar sus características o aprovechar su potencial y en el cual se puede generar un nuevo residuo sólido de características diferentes.

SST: Sólidos Suspendidos Totales. Sólidos que permanecen en suspención en las aguas. Se expresa en mg/L.

Vertimiento Líquido: Cualquier descarga líquida hecha a un cuerpo de agua o a un alcantarillado.

RESUMEN

El proyecto propuesto contempla el desarrollo de tres partes principales:

La primera de ellas se refiere al diagnóstico preliminar de las empresas, con respecto a la generación de lodos en los diferentes sistemas de tratamiento. Para obtener un diagnóstico que refleje el estado actual de las empresas, se realizará un análisis del proceso industrial teniendo en cuenta el uso de agua, comportamiento histórico de los vertimientos, manejo de subproductos y residuos sólidos y de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales industriales utilizados por este sector, el análisis preliminar permitirá identificar y cuantificar la producción de lodos, así como los métodos de aprovechamiento, tratamiento y disposición final que se realizan en las plantas de beneficio de aves.

La segunda parte se refiere a la ***identificación de las diferentes alternativas disponibles para el tratamiento y/o aprovechamiento de los lodos del sector avícola.*** Para la identificación de dichas alternativas se establece la calidad del lodo que se produce en las plantas de tratamiento de agua residual, teniendo en cuenta los parámetros establecidos por la legislación ambiental vigente a nivel internacional (Norma EPA 40 CFR), considerando su posible uso a nivel nacional o local. En la descripción de las alternativas se tiene en cuenta las

variaciones técnicas y económicas para poder tener así una mejor y detallada evaluación.

Finalizada la identificación de alternativas, se procede a la ***evaluación de las alternativas para el tratamiento y/o aprovechamiento de los lodos generados.*** Para hacer dicha evaluación se diseñó una matriz la cual detalla cada una de las variables que se tuvieron en cuenta para la descripción de los procesos de tratamiento o aprovechamiento. A partir de esta matriz se deduce que el mejor tratamiento para este tipo de lodo es el tratamiento químico alcalino, y el mejor aprovechamiento es el reciclaje agrícola.

INTRODUCCIÓN

Las tendencias hacia la implementación de tecnologías más limpias obligan a revisar los procesos productivos donde estén involucrados unos requerimientos mínimos ambientales. Los vertimientos industriales y los residuos generados por el sector industrial de beneficio de aves, son de gran importancia por su alto contenido de nutrientes y material orgánico, para las autoridades ambientales competentes. (Departamento Administrativo del Medio Ambiente –DAMA-).

Los residuos y subproductos de un proceso productivo retoman importancia para su adecuado manejo y aprovechamiento. Por lo tanto, es necesario difundir y educar a los productores para que vean en sus residuos una industria de grandes posibilidades y ampliar sus fronteras de aprovechamiento.

A finales de 1996 la Federación Nacional de Avicultores de Colombia –FENAVI-, Regional Bogotá, se acercó al DAMA con el fin de obtener asesoría ambiental, ya que estaban catalogados como unos de los sectores industriales más contaminantes en materia de vertimientos líquidos. Los programas desarrollados en la fase 1 y fase 2, permitieron a los empresarios tomar decisiones acertadas, midiendo los recursos físicos, económicos y tecnológicos

a su alcance para adquirir los equipos y realizar las obras de infraestructura que les permitieran entregar vertimientos dentro de las normas ambientales vigentes. Las inversiones ascendieron a un total aproximado de $7.000 millones de pesos, para las 14 plantas de beneficio, según informe realizado por el DAMA.

Además de los aspectos económicos, esta industria tiene la obligación de evitar la contaminación, aprovechando al máximo los residuos generados. La disponibilidad y el alto valor nutricional de estos residuos, han motivado a investigar técnicas o métodos que le den un valor agregado a los residuos, de tal forma que incentive su comercialización.

Los proponentes, junto con el DAMA y FENAVI quieren, a través de este trabajo contribuir a la adopción de procesos que aporten positivamente al desarrollo sostenible.

La meta básica de este proyecto es formular diferentes alternativas para el aprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales de los beneficiaderos de aves en Bogotá, de una forma que sea compatible con las preocupaciones ambientales.

Al recopilar información general del proceso industrial y de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales utilizados, se busca entregar un

análisis general del sector, así como el funcionamiento y la eficiencia de las plantas de tratamiento.

Con el fin de dar cumplimiento al objetivo principal de este trabajo, se determinará la producción mensual de lodos y se realizarán caracterizaciones de estos, para encontrar el manejo técnico y la factibilidad económica de las diferentes alternativas de aprovechamiento para los lodos.

En la recolección de información, como fuentes primarias se pueden enumerar las visitas de campo realizadas al sector industrial en estudio y a una de las empresas que procesan los subproductos, además de estas también se aplicaron encuestas al 72% de la población involucrada en el proceso.

Como fuentes secundarias de información se pueden mencionar, la documentación existente en bibliotecas publicas (LAA) y privadas (unisalle, uniandes), en los centros de documentación de ACODAL y DAMA y algunas leyes, decretos y reglamentaciones expedidas por el Ministerio de la Salud, Ministerio de Agricultura, Ministerio del Medio Ambiente y otras instituciones competentes como el DAMA.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 POBLACIÓN DE ESTUDIO

Las 14 plantas de beneficio de aves que están ubicadas en el perímetro urbano de Bogotá e inscritas en FENAVI, será la población industrial en estudio. Estas cuentan con un expediente ante la autoridad ambiental competente (DAMA) y no serán designadas por la razón social, sino por un número designado, esto con el fin de respetar la integridad de las empresas.

Cada una de ellas en colaboración con FENAVI y el DAMA, contribuyeron con el estudio en las actividades de visitas a sus instalaciones, complemento de la información requerida y muestreo de los lodos.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El sector de beneficio de aves siempre se ha considerado como una de las actividades más criticas en Bogotá, debido a la cantidad, variedad y composición de los vertimientos y residuos que genera.

Por lo tanto las autoridades ambientales competentes, han realizado una serie de exigencias a este sector industrial, como son el plan de manejo ambiental para cada una de las empresas, el seguimiento y monitoreo de los vertimientos industriales, con el fin de dar cumplimiento a la Resolución 1074 de 1997 expedida por el DAMA.

Debido a esto las empresas han adquirido unos sistemas de tratamiento para los vertimientos industriales acorde con sus necesidades. Como resultado de este tratamiento, se generan lodos que concentran los contaminantes originalmente presentes en el agua y que por sus características pueden afectar a los componentes hídrico, geológico y social.

El almacenamiento y la disposición final de los lodos, es una actividad que no se realiza en las empresas, ya que estos son combinados con los subproductos provenientes del proceso, generalmente con las plumas y vendidos como tal.

Estos lodos no se pueden disponer directamente en los rellenos sanitarios, debido a su alto porcentaje de humedad y su desconocida composición generando así nuevos problemas.

Los lodos al ser dispuestos con los subproductos, se subestiman en cuanto al valor comercial que puedan tener y la posibilidad de ser comercializados. Por esta razón este estudio hará una caracterización de ellos, con el fin de

encontrar el mejor aprovechamiento técnico y económico que se le pueda dar, o el tratamiento adecuado para su segura disposición.

Con relación a los métodos de tratamiento y disposición de los residuos generados, la totalidad de las empresas venden los subproductos a terceros, como son Inagro, Indalpe, Proteicol y Julio Fernández, para la obtención de harina de carne con el fin de alimentar animales, cabe anotar que el 70% de las empresas cuenta con tolvas adecuadas para el almacenamiento de subproductos derivados del sacrificio de aves.

La utilización de los lodos orgánicos con fines agrícolas, ha sido, y continúa siendo, una práctica habitual en muchos países del mundo.

En España y particularmente en Valencia, los lodos de depuración de las aguas residuales, de diferentes sectores industriales, han sido utilizados tradicionalmente como enmienda orgánica en agricultura por su contenido de materia orgánica y nutrientes como el fósforo y nitrógeno así como de otros oligoelementos necesarios para la fertilización y enriquecimiento de los suelos y el desarrollo y crecimiento de los vegetales.

En Colombia, se presenta una debilidad respecto a la legislación del manejo de lodos provenientes de las plantas de tratamiento, así como su tratamiento y disposición final, por esta razón y teniendo en cuenta que en Colombia no

existe legislación para realizar el análisis de lodos se tendrá en cuenta legislación de otros países, como son Ecuador y Estados Unidos.

De las visitas efectuadas a algunos de los establecimientos en estudio, se pudo apreciar que no existen registros de generación de lodos ni se realizan análisis de caracterización de los mismos. Dado que uno de los objetivos del proyecto es conocer la cantidad de lodos generados, se utilizaron ecuaciones referentes a la producción de estos en las unidades de tratamiento.

1.3 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL SECTOR

Según información proporcionada por el DAMA, Bogotá cuenta con 14 Plantas de beneficio inscritas a FENAVI, estas se encuentran ubicadas principalmente en cuatro zonas industriales de la ciudad (Anexo 2):

- Localidad N° 16 Puente Aranda el 40%
- Localidad N° 10 Engativá el 28%
- Localidad N° 9 Fontibón el 30%
- Localidad N° 7 Bosa el 2%

2. GENERALIDADES

Dentro de las generalidades se tendrá en cuenta el marco legal vigente y se hará una descripción del proceso industrial.

2.1 MARCO LEGAL

2.1.1 Legislación Nacional

2.1.1.1 Ley 99 de 1993

La ley consagra en 118 artículos, preceptos que se preocupan fundamentalmente de los siguientes asuntos.

LEY 99 DE 1993	
Asunto	**Regulación**
Principios generales	- Acoge la Declaración de Río de Janeiro de 1992. - Instaura los estudios de impacto ambiental como requisito previo a la realización de ciertas obras. - Determina la importancia de coordinación institucional.
Define Desarrollo sostenible	- El que conduzca el crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el desarrollo de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.

Asunto	Regulación
Participación ciudadana	- Consagra al público el derecho de intervenir, el derecho de petición de informaciones acerca de elementos contaminantes y su relación con la salud humana y las llamadas “acciones populares”. - Designa el procedimiento y competencia de la acción de cumplimiento (acción que puede entablar todo ciudadano para que se cumplan las leyes o actos administrativos relacionados directamente con la protección y defensa del medio ambiente).
Acciones de reparación	- Permite al Estado cobrar a los particulares indemnización por daños ambientales.
Concertación	- Facilita y permite la concertación con el sector privado.
Licencias Ambientales	- Señala autoridades y procedimientos para la expedición de las licencias ambientales.
Medidas Preventivas y sanciones	*Medidas preventivas:* - Amonestación. - Decomiso preventivo. - Suspención obra o actividad. *Sanciones*: - Multas. - Suspención de registro o licencia. - Cierre temporal o definitivo del establecimiento. - Revocatoria o caducidad del permiso. - Acciones civiles o penales a que haya lugar.

2.1.1.2 Decreto 1753 de 1994

Licencias ambientales.

DECRETO 1753 DE 1994	
Asunto	**Regulación**
Licencia ambiental	- Requisitos, condiciones y obligaciones para prevenir, mitigar, corregir o compensar los efectos ambientales del proyecto o actividad autorizada. *Licencias de:* - Zoocriaderos, floricultura, granjas pecuarias, piscícolas y avícolas. - Industria manufacturera de productos alimenticios.

2.1.1.3 Normatividad vigente de agua

Decreto 1594 de 1984.
Resolución 2314 de 1986.
Resolución Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá 055 de 1987.
Resolución 1074 de 1997 – DAMA.

ASUNTO	REGULACIÓN
Prohibición general vertimientos residuos líquidos.	- Todo vertimiento a las calles calzadas y canales o sistemas de alcantarillado para aguas lluvias. - Inversión residuos líquidos a un acuífero. - Utilización de aguas del acueducto para diluir vertimientos.
Descargas prohibidas	Se prohibe hacer las siguientes descargas en cualquier alcantarillado. - Basuras o desechos sólidos. - Cualquier sustancia sólida, líquida o gaseosa, combustible, inflamable, corrosiva o explosiva. - Vertimientos líquidos que contengan sustancias en cantidades que puedan provocar obstrucción del flujo en los colectores o interferir con la operación normal del sistema de alcantarillado como escoria, arena, lodo, plumas, brea etc. O cuyas temperaturas sean superiores a 40°C. - Vertimientos líquidos que contengan partículas sólidas que no se dejen arrastrar libremente bajo las condiciones flujo en el colector. - Vertimientos líquidos que contengan sustancias que se solidifiquen o se tornen apreciablemente viscosas.
Regulación vertimientos	- Se establece las tablas de control de concentraciones de minerales y otras sustancia que pueden aparecer en los vertimientos. - Se ordena para usuarios altamente contaminantes el tratamiento especial de residuos líquidos. - Se prohibe el vertimiento de residuos sin tratar. - Obligación de registro de vertimientos y permiso de vertimientos (formulario único de registro de vertimientos).
Planes de cumplimiento	- La autoridad ambiental directamente o por delegación en las ESP, podrán exigir al usuario la realización de obras para el pretratamiento y tratamiento de sus vertimientos, para lo cual se establecerá un plan de cumplimiento por parte del suscriptor como requisito indispensable para la expedición del permiso provisional.

2.1.1.4 Normatividad vigente de residuos sólidos

Decreto 2104 de 1983
Resolución 2309 de 1986.
Ley 430 de 1998.

ASUNTO	REGULACIÓN
Determina Parámetros generales para el manejo de basuras y desechos sólidos	- Define claramente el manejo, almacenamiento, presentación, recolección. Transporte, transferencia, tratamiento, disposición sanitaria y recuperación de basuras. - Establece responsabilidades y obligaciones en el manejo de las basuras y el aseo de vías públicas. - Introduce el estudio de impacto ambiental como pre – requisito para la autorización sanitaria de funcionamiento de las entidades de aseo, especificando su contenido mínimo.
Plan de cumplimiento	Este deberá contener información detallada de almacenamiento, recolección y transporte, diagrama de flujo, puntos de generación de residuos especiales, cantidades y tipos de residuos, alternativas de manejo para cada una sitio de localización y tratamiento final, así como el cronograma de implantación, especificaciones técnicas y programa de transporte.

2.1.1.5 Legislación Avícola

Decreto 2182 de 1970
Resolución 301 de 1972
Decreto 843 de 1969
Resolución 870 de 1969
Resolución 755 de 1971
Resolución 261 de 1971
Resolución 1764 de 1971
Resolución 81 de 1972
Resolución 131 de 1972
Resolución 1599 de 1972

ASUNTO	REGULACIÓN
Creación de la comisión Nacional de Avicultura.	- Creación, composición, dirección y funcionamiento de la Comisión. - Solución de los problemas relacionados con la producción, procesamiento, calidad y mercadeo de las aves y sus productos.

ASUNTO	REGULACIÓN
Creación del consejo de programación de la industria avícola.	- Creación, funciones e integración del consejo de programación de la industria avícola. - El consejo de programación de industria avícola actuará en coordinación con la Comisión Nacional de la avicultura.
Disposiciones para el control de la industria y comercio de abonos, alimentos para animales y acondicionadores del suelo	- Registro de los productos ya mencionados. - Duración y renovación de los registros. - Fijación de medidas preventivas con el fin de controlar los riesgos para la salud en la producción, distribución y aplicación de los productos ya mencionados. - Control y vigilancia. - Sanciones y otras disposiciones.
Normas generales sobre la calidad de las aves destinadas a la producción.	- Registro de productores, importadores y de los productos, control oficial y sanciones.

2.1.2 Legislación Internacional

2.1.2.1 Ordenanza para el manejo de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales no domésticas. (CEPIS - Ecuador).

Comprende el almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final.

ASUNTO	REGULACIÓN
Actividad Industrial	- Dirigido a bodegas industriales, emplazamientos agropecuarios o agroindustriales, locales de comercio o prestación de servicios, que produzcan u originen aguas residuales, las cuales luego de un proceso de depuración en sistemas de tratamiento de aguas residuales, generen lodos.
Permiso de generación	- Deberán efectuar el registro de la cantidad, frecuencia y calidad de sus lodos ante la unidad administrativa a cargo del medio ambiente y tramitar el permiso correspondiente. - Presentar un plan de contingencias relacionado con el manejo de los lodos. - Condiciones de exclusión de residuos no peligrosos. (tabla N°2, anexo 1)

ASUNTO	REGULACIÓN
Clasificación de lodos	- La unidad administrativa a cargo del medio ambiente hará una clasificación de los lodos
Permiso de Almacenamiento Temporal	- Podrán ser almacenados temporalmente siempre y cuando el sitio de almacenamiento reúna condiciones para operar, sin que se produzca daños a la salud o afecte al medio ambiente.
Tratamiento	- El tratamiento de los lodos catalogados(peligros o no peligrosos) deberá cumplir con las normas establecidas la unidad administrativa del medio ambiente.
Permiso de Disposición	- Todo generador de lodos, previo a la disposición final de sus lodos, deberá solicitar el permiso de disposición a la unidad administrativa a cargo del medio ambiente.
Alternativas de disposición	- Todo generador de lodos provenientes del tratamiento de aguas no domésticas, será responsable de los efectos que causen sus lodos durante el manejo, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final. - Tasas de aplicación de biosólidos (tabla N° 6, Anexo 1)

2.1.2.2 CEN/TC 308

CEN = comité europeo de estandarización

TC = comité técnico

Disposición de lodo proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

ASUNTO	REGULACIÓN
Problemas Tóxicos en la composición de lodos.	- Reducción en los parámetros de metales pesados en lodos producidos en plantas de tratamiento de agua residual industrial del 50 al 90%. - Los productores del lodo serán los encargados de realizar su tratamiento y disposición final, tratando de dar un manejo efectivo a estos residuos.
Parámetros y operación de los lodos para ser utilizados en la agricultura.	- Parámetros físicos y químicos de lodos para ser utilizados en agricultura. - Estudio físico del suelo donde el lodo puede ser utilizado.

2.1.2.3 Norma EPA 40 CFR – Apartado 503

Regulación e implementación de biosólidos.

ASUNTO	REGULACIÓN
Manejo de biosólidos	- Regula el uso y la disposición de biosólidos y lodos derivados de las plantas de tratamiento de agua residual. - Entrega los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el manejo de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua residual como biosólidos.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL

2.2.1 Aspectos Técnicos del Sacrificio de Aves

2.2.1.1 Granjas avícolas

La preparación de las aves para el sacrificio empieza en la granja por lo menos una semana antes de la fecha prevista para el mismo. A partir de ese momento el granjero tiene que asegurarse de que la dieta no contiene medicamentos que puedan dejar residuos peligrosos en la carne.

El día antes del sacrificio el encargado debe comenzar los preparativos. Hay que quitar los alimentos del alcance de las aves entre las 20 y las 8 horas antes del sacrificio con el objeto de que el tracto digestivo no esté repleto de alimentos en el momento de la matanza.

Los pollos se cogen de las patas cuatro o cinco a la vez y se introducen en las jaulas. Hay dos tipos de jaulas; en primer lugar están las jaulas sueltas, que miden aproximadamente 30 cm de alto, 60 cm de ancho y 70 cm de largo. La mayor parte de estas jaulas se fabrican actualmente de plástico. Una vez llenas las jaulas, se cargan manualmente en los vehículos de transporte. El segundo tipo de cajas es usualmente metálico y se encuentran fijas al vehículo.

Durante la captura y enjaulado de las aves hay que proceder con delicadeza utilizando iluminación reducida. Las jaulas tienen que ser suficientemente grandes para permitir acomodar las aves sin que disminuya su capacidad de movimiento. Las jaulas están diseñadas usualmente para contener un determinado número de animales de un tamaño dado y si se mete un número excesivo de aves se encontrarán en condiciones anormales produciéndose sufrimientos innecesarios.

2.2.2 Transporte

En el transporte, las jaulas deben cargarse de forma que queden espacios libres entre ellas para mantener una ventilación adecuada y asegurar que cada ave disponga de aire suficiente.

Las aves no deben transportarse durante más de 15 – 18 horas sin alimento, ni agua. Se debe asegurar que las aves no reciban alimentos antes del sacrificio.

2.2.3 Matadero

La planta de beneficio se divide en dos áreas procesadoras principales: una para recepción, sacrificio y desplumado; la otra para evisceración, procesamiento final y empacado. Se pretende que la separación de las dos

áreas facilite la higiene al alejar las fases más sucias del proceso, de la preparación del producto final.

Las aves recibidas en la planta deberán tener un ayuno de 4 a 10 horas. Este tiempo permite que el buche se vacíe y el contenido intestinal disminuya a un punto satisfactorio. De este modo, el ayuno reduce el contenido del buche e intestino que podrían contaminar los cuerpos de las aves durante la evisceración.

El grado de automatización y los pasos específicos del procesamiento varían de una planta a otra.

2.2.3.1 Muelles de descarga

Las jaulas sueltas se descargan de los vehículos y se llevan por medio de una cinta transportadora hasta los ganchos, en cuyo momento se sacan las aves y se cuelgan manualmente de los ganchos, quedando cabeza abajo. Este es el punto de inicio de líneas de movimiento continuo que llevan a las aves a las operaciones de matanza, desplumado y evisceración. Las jaulas se llevan a una maquina lavadora de jaulas para su limpieza antes de volver a cargarlas en un vehículo limpio.

La ley de sacrificio de aves en Inglaterra, exige que las aves colgadas antes del aturdimiento o sacrificio no se mantengan cabeza abajo durante un período de más de tres minutos. Pero es conveniente mantener las aves en esa posición

durante un breve período de tiempo ya que durante el mismo las aves se adaptan a dicha postura llegando a la zona de aturdimiento en una posición que permite su manipulación con mayor facilidad.

2.2.3.2 Aturdimiento y sacrificio

Suspendidas de los ganchos, las aves pasan del muelle de descarga a la zona de aturdimiento, en la que se les conmociona eléctricamente y se les secciona el cuello con un cuchillo. El corte se hace usualmente en la unión del cuello a la cabeza, sin afectar el esófago o la traquea.

Existen dos tipos básicos de equipos de aturdimiento eléctrico: los de alto voltaje, que funcionan alrededor de los 500 V y los de bajo voltaje, que operan entre 70 y 100 V. Los equipos de alto voltaje usualmente constan de una placa regulable inclinada, la cual contacta la cabeza del ave, cerrando así un circuito entre dicha placa y el gancho en que esta suspendida. Los aturdidores de bajo voltaje pueden ser manuales o de baño de agua.

El método del baño de agua consiste en un recipiente con agua en contacto con la corriente eléctrica y en el que se introduce la cabeza del ave, cerrando entonces un circuito con el gancho de suspensión. En el baño de agua hay que emplear un voltaje inferior al de los métodos de placas (figura 1).

Figura 1. Aturdimiento Eléctrico

Cuando un ave es aturdida adecuadamente se produce un espasmo electropléctico, cuya manifestación es una contracción inmediata de todos los músculos esqueléticos. La cabeza se arquea hacia arriba, al igual que las plumas de la cola y después de un estremecimiento inicial las patas quedan totalmente extendidas. En el momento de la electronarcosis el corazón se mueve más lenta y débilmente, pero se recupera después de unos 30 segundos, por lo que la sangría debe retrasarse durante este período para asegurarse que sea total y con ella la muerte del animal. Si las aves se aturden adecuadamente pero no se desangran bien pueden recuperarse y estar vivas al entrar en el tanque de escaldado.

En la actualidad se están desarrollando equipos automáticos que realizan la mayor parte de las actividades del matadero de aves. Hay en el mercado una degolladora automática que guía la cabeza del ave hasta un cuchillo giratorio que realiza la incisión. Estos equipos se emplean ya en varias empresas.

Las degolladoras automáticas (Figura 2) de cuellos pueden dejar vivas algunas aves ocasionalmente, por lo que es conveniente colocar un trabajador a la salida para que haga la incisión a las aves que escapen a la máquina. En este punto debe existir una iluminación adecuada.

Una vez cortados los vasos sanguíneos del cuello hay que dejar morir a las aves antes de introducirlas en el tanque de escaldado, el período mínimo aproximado es de 90 segundos.

Figura 2. Sacrificio Mecánico

El desangrado de las aves tiene lugar sobre un canal colector de sangre y aproximadamente se recoge la mitad de la sangre total de las aves.

2.2.3.3 Escaldado

Consiste en sumergir al animal en un baño de agua caliente (60°C), conocido como tanque de escaldado (figura 3), por 2 minutos con el objeto de eliminar las bacterias y facilitar la remoción de las plumas. El agua caliente se bombea sobre las aves y continuamente hay que añadir agua para compensar las pérdidas, tratando al mismo tiempo de mantener el agua relativamente limpia.

Las aves pueden sumergirse en el tanque varias veces, dependiendo de la velocidad de la línea de faenado. La temperatura de escaldado puede variar entre 50 y 80 °C, pero con frecuencia se utilizan las temperaturas más bajas.

Figura 3. Escaldado

Los pollos que se van a comercializar en fresco se escaldan entre 53 y 54 °C, mientras que los que se destinan a la congelación se someten a 56 °C. El agua del baño se calienta directamente por gas o por inyección de vapor. Pueden

añadirse detergentes para facilitar la penetración del agua en los folículos de las plumas, particularmente cuando las temperaturas de escaldado son las más bajas.

2.2.3.4 Desplume

Cuanto más elevada la temperatura de escaldado más fácil es el desplumado, pero con las temperaturas altas se desprenden las capas superficiales de la piel y si las canales se refrigeran en corriente de aire para la comercialización en fresco se produce la desecación superficial, haciendo que las canales no puedan venderse.

Las plumas se eliminan automáticamente con ayuda de máquinas desplumadoras construidas a base de unos cilindros que giran rápidamente y en los que hay gran cantidad de dedos, lengüetas o manguitos de goma que son los que le quitan las plumas a la canal. El ajuste preciso de estas máquinas es de la máxima importancia para asegurarse que las plumas se eliminan correctamente sin dañar la canal. Si las canales son de tamaños distintos el ajuste es difícil y se pueden producir daños mecánicos y/o desplumados defectuosos.

A medida que se arrancan, las plumas se arrastran con chorros de agua hasta una cisterna colectora y desde allí se llevan hasta la zona de subproductos no comestibles. Las plumas pueden transportarse con un sistema de cintas

mecánicas o por corriente de agua, que se filtra para eliminar las plumas antes de recircularla.

Cuando las canales salen de los equipos de desplumar son inspeccionadas por un trabajador que se encarga de eliminar las plumas que hayan podido quedar.

2.2.3.5 Corte de Uñas, Pico y Patas

La cortadora de patas consta de un cuchillo giratorio y una guía que coloca las patas en la posición correcta. El corte de las patas automático las separa sin dañar las articulaciones. Posteriormente al corte de patas, picos y uñas se procede al lavado con agua.

2.2.3.6 Evisceración

Como existen varias enfermedades de las aves que solo pueden apreciarse en la canal eviscerada, hay que realizar este proceso para poder llevar a cabo una adecuada inspección. La evisceración hay que hacerla en condiciones higiénicas sin que contamine la canal ni las vísceras con el contenido del tracto digestivo.

Para la evisceración, las canales se cuelgan en una segunda cadena de ganchos y el proceso tiene lugar en una nave contigua. La evisceración consiste en eliminar de la canal la mayor parte de los órganos que contiene en sus cavidades; también se eliminan la cabeza, el cuello y los tejidos asociados.

Estos dos procesos se realizan sobre una canaleta por el que circula agua que arrastra las partes no comestibles. Las partes comestibles que se quitan durante la evisceración se transportan en corriente de agua por canales hasta la zona de procesado de las menudencias o subproductos comestibles. Para ahorrar agua, a veces se transportan en seco y en dicho proceso se dispone de una serie de puntos de descarga en la línea de evisceración en los lugares en que se quitan las cabezas, patas y partes no comestibles, así como los comestibles, transportándose desde dichos puntos, mediante conducciones apropiadas a sus respectivos lugares de procesamiento, evitando en todo momento que caigan al suelo.

A continuación se libera con la mano la tráquea, el esófago y el buche. Seguidamente se corta la cabeza, en este caso se puede extraer la tráquea, el esófago y el buche, al mismo tiempo que la cabeza. Finalmente se secciona todo el cuello, el que es enviado a la zona de menudencias.

Para extraer los órganos de las cavidades, existen equipos automáticos que hacen el corte circular alrededor del ano (figura 4) y extraen la cloaca y la parte final del intestino, que se dejan colgando.

Figura 4. Pistola de Cloaca

Al hacer estos cortes hay que procurar no dañar el tracto intestinal, y una vez efectuados, la canal está preparada para la evisceración.

La evisceración puede hacerse manual o automáticamente (Figura 5). En todo caso se extraen de la cavidad los intestinos, la molleja, el corazón, el hígado, el bazo, y en ocasiones también los pulmones.

Figura 5. Evisceración

Cuando la evisceración es manual, el trabajador sostiene la parte posterior de la canal con una mano e introduce la otra debajo del hueso de la espalda. Entonces se saca el contenido de la cavidad al exterior.

Después, el hígado y el corazón se separan del resto de las vísceras y una vez eliminada la vesícula biliar se lavan en un chorro de agua antes de enviarlos a la zona de preparación de las menudencias.

A continuación se procede a cortar el tracto alimentario por el esófago, justamente por delante del proventrículo. De esta forma se suelta totalmente el conjunto de las vísceras, que pueden extraerse de la cavidad. Si ya se había quitado el buche, porque ya se habían extraído la cabeza y el cuello, el resto del tracto intestinal puede sacarse simplemente con una ligera tracción hacia la cavidad abdominal. El proventrículo y el intestino pueden separarse entonces de la molleja, usualmente con unas tijeras, aunque también se puede hacer manualmente o con máquinas automáticas. La molleja se abre por un corte de tijera, se elimina el contenido con agua corriente y se quita la pared membranosa interna. Esta última operación se efectúa comúnmente con una máquina de cilindros. La pared interior de la molleja se pone en contacto con otros cilindros que la despegan y separan.

Si los pulmones se han extraído durante la evisceración lo normal es tirarlos con los intestinos, pero si aún están en la canal hay que quitarlos en esta etapa.

A continuación, se procede a revisar si se han completado todas las maniobras del faenado de la canal, después esta continúa hacia las duchas.

2.2.3.6.1 Menudencias

Existen muchas formas de procesar las partes comestibles o menudencias (corazones, hígados, mollejas y cuellos) pero todas incluyen el lavado y enfriamiento tan rápidamente como sea posible. Las menudencias se lavan al extraerlos de la canal en la zona de evisceración y se llevan a la zona de procesamiento.

El primer proceso es un lavado adicional, uno de los métodos consiste en disponer de una serie de baños de agua, uno para hígados y corazones, otro para las mollejas y un tercero para los cuellos (Figura 6). Los baños contienen agua y hielo, disponiendo de dosificadores de agua y de termómetros para controlar el que se mantengan las condiciones higiénicas exigidas. Las menudencias se agitan mediante paletas giratorias y se extraen de los baños por el extremo opuesto de la entrada.

Figura 6. Chiller de Vísceras

2.2.3.7 Refrigeración

Hay que proceder seguidamente a la refrigeración preliminar de las canales desde la temperatura de alrededor de los 35°C, que es la que tienen al salir de la zona de evisceración, y este enfriamiento se hace en agua.

Las canales destinadas a la congelación se enfrían usualmente en agua con hielo. El sistema más común es el enfriamiento continuo por inmersión en agua (Figura 7).

Figura 7. Chiller

En este método se introducen muchas canales en un baño común, el número de estas depende de la capacidad promedio de los chillers. Usualmente se dispone al menos de dos tanques en serie y las canales se pasan sucesivamente por los mismos. El primer tanque contiene solo agua (Pre -

Chiller o Chiller de lavado). Y el segundo, contiene hielo o agua refrigerada. (Chiller de enfriamiento).

Existen dos argumentos en contra de los enfriadores continuos de inmersión: uno es que no son higiénicos y el otro es que las canales absorben agua durante el proceso y esta agua se vende al mismo precio de la canal, defraudando por tanto a los consumidores. Con respecto a la cuestión higiénica se puede argumentar que un tanque convenientemente utilizado puede de hecho mejorar la calidad higiénica de la carne, y la captación de agua es defendida por algunos que dicen que los consumidores son conscientes de este hecho y por ello el precio es inferior al de las canales refrigeradas al aire. Sin embargo, es esencial el control de la higiene y de la captación de agua

La mayor parte de las canales de los beneficiaderos se comercializan en fresco, con una vida comercial limitada de aproximadamente 5 días, aunque dependiendo en gran medida del tratamiento que hayan recibido durante el almacenamiento, ya que en condiciones óptimas las canales adecuadamente preparadas pueden mantenerse en buenas condiciones durante 14 días.

2.2.3.8 Desinfección

Este proceso se realiza en dos formas diferentes, mediante el empleo de soluciones en cloro y por la circulación de agua en contra corriente al flujo del producto. Ambas permiten la descarga inmediata de los restos de sangre y una limitación de la multiplicación de bacterias.

2.2.3.9 Empaquetado

Las aves se dejan escurrir, se descuelgan, se pesan, se clasifican, se despresan (figura 8) y se empacan para su distribución en venta.

Figura 8. Desprese

Figura 9. Diagrama de Flujo del Proceso

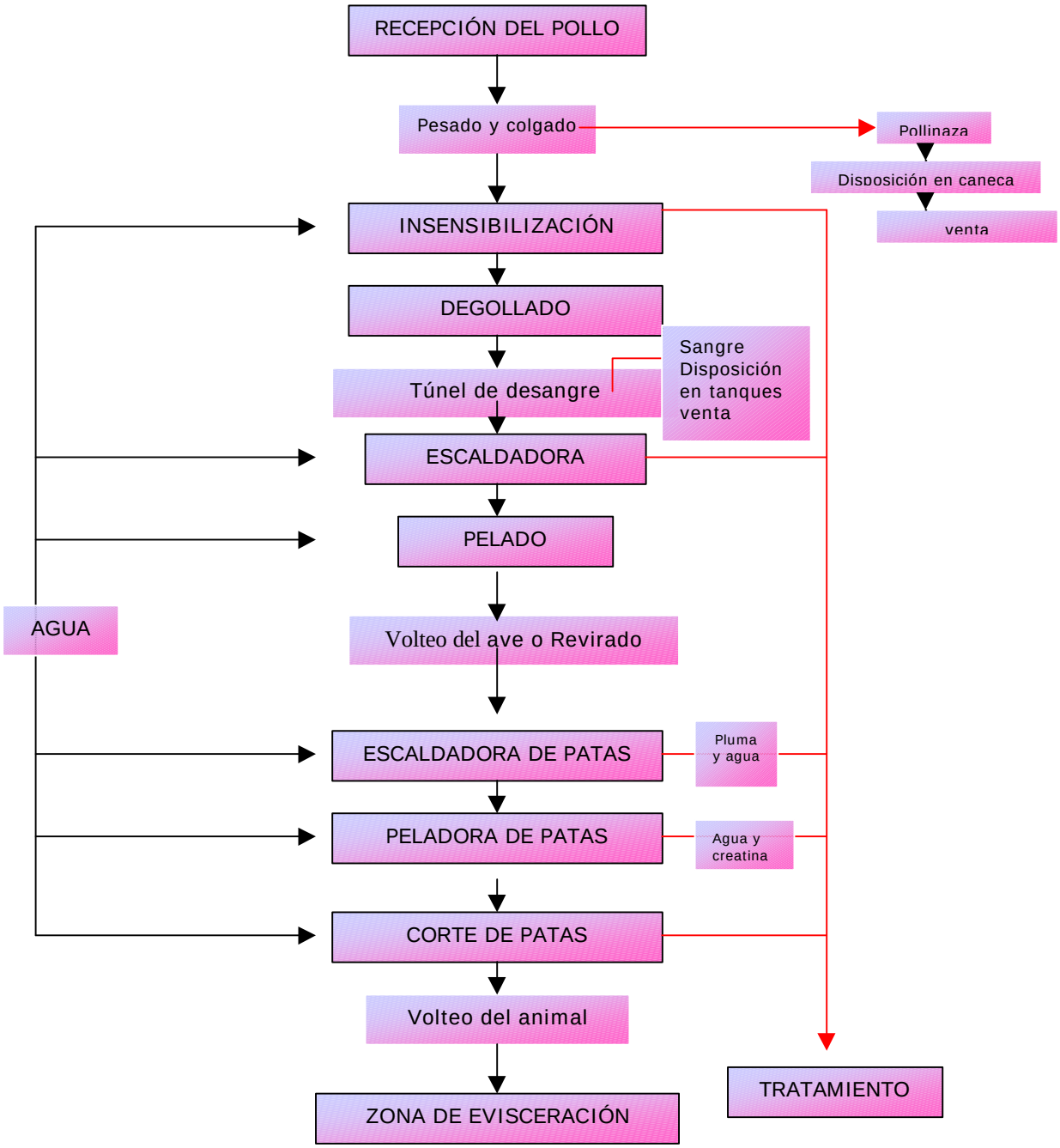
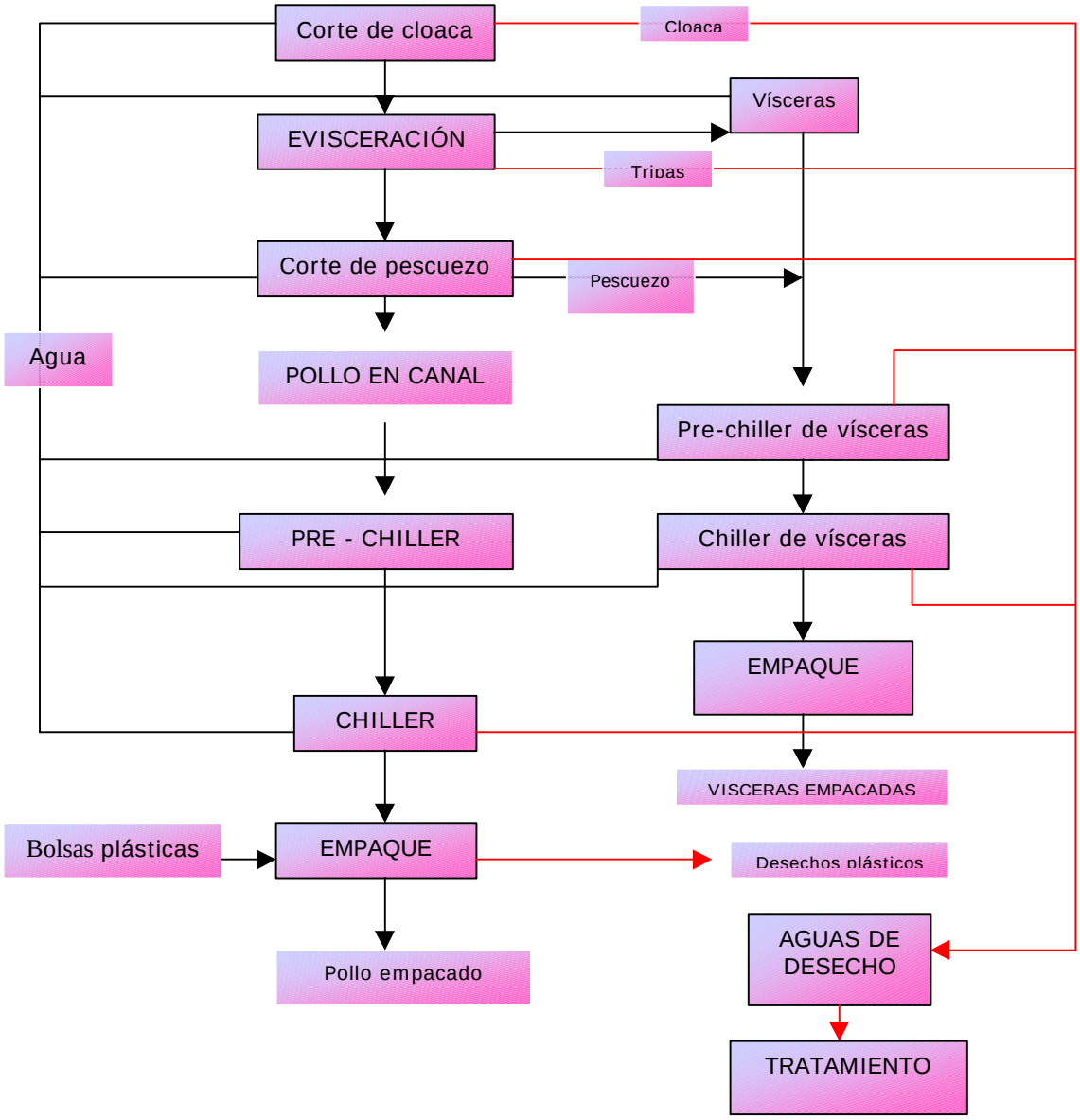


Figura 9. Continuación



2.3 SUBPRODUCTOS

2.3.1 Generalidades

Como subproducto se entiende todas las partes obtenidas en el proceso de sacrificio de animales, que no están incluidas en la canal. Cuando se sacrifican aves para el mercado, se produce no solamente carne y menudencias para el consumo humano, sino que todas las partes del animal tienen su valor comercial como materia prima para la industria, llegando a utilizar un 100% de los subproductos de un ave, si se hace pleno aprovechamiento del animal.

Es necesario aprovechar los subproductos por dos razones:

* Para evitar problemas de contaminación en los vertimientos
* Para obtener productos (harinas, grasas, alimentos balanceados para animales, extractos de carne, ligantes para embutidos y proteínas de alta calidad.) que tienen un alto valor económico.

Los subproductos cárnicos están compuestos de:

* Hidratos de carbono
* Proteínas
* Lípidos
* Sales minerales
* Vitaminas
* Agua

La calidad de las proteínas que se pueden obtener a partir de estos subproductos es comparable, a veces, a la de los huevos y leche en polvo.

Las proteínas constan de una serie de aminoácidos, algunos de los cuales son esenciales para el desarrollo y crecimiento de los animales superiores.

Los principales subproductos generados en esta actividad son la sangre, las vísceras y las plumas, aunque en algunos casos estos residuos se encuentran combinados con otros como cabezas, buches, tráqueas y lodos. Por lo tanto las cantidades reportadas en algunas empresas son mezclas de estos residuos.

En el Cuadro N° 1 se presentan las cantidades de los subproductos generados en la fase de sacrificio de las empresas, con base en la cantidad de aves sacrificadas por día y de acuerdo con la información suministrada por las empresas en los expedientes de la autoridad ambiental, que en este caso es el DAMA. Las empresas 1, 2, 3, 7, 11 y 12 no contienen estos datos dentro del expediente, por lo tanto no están involucradas en el siguiente cuadro.

CUADRO N°1

Subproductos generados por las empresas en la fase de sacrificio

RESIDUOS	CANTIDAD GENERADA (TON/AÑO)							
	Empresa 4 15000 aves/día	Empresa 5 15000 aves/día	Empresa 6 34000 aves/día	Empresa 8 25000 aves/día	Empresa 9 15000 aves/día	Empresa 10 18000 aves/día	Empresa 13 17000 aves/día	Empresa 14 35000 aves/día
Sangre	548	539	ND	420	364	470	547	150
Plumas	134	142	421	708	1024	510	385	600
Vísceras	1242	1708	1260	780	1042	804	710	300
Pollos desecho	30	ND	ND	180	ND	24	ND	ND
Desprese	25	ND	421	52	ND	20	60	ND
Cutículas	25	ND	ND	36	ND	48	ND	ND
Hollejos de patas	ND	ND	421	ND	14.6	24	ND	ND
Total	2004	2382	2523	2176	2444	1900	1702	1050

ND: No Disponible
Fuente: Expedientes del DAMA consultados por el autor

2.3.2 Clasificación

2.3.2.1 Subproductos comestibles

Dentro de los subproductos comestibles encontramos las vísceras como el hígado, corazón y molleja, también están en este grupo la cabeza, el cuello y las patas. El músculo esquelético, constituye la mayor parte de la porción comestible de la canal.

2.3.2.2 Subproductos no comestibles

Los demás subproductos provenientes de las aves, a saber: la sangre, que constituye alrededor del 8% del peso corporal de un pollo de una o dos semanas de edad; las plumas, las cuales representan de 4 a 9% del peso

corporal del ave viva, dependiendo de la especie, edad y sexo; los intestinos, que alcanzan a tener una longitud de casi 125 cm en el pollo maduro, etc., utilizados en otras industrias.

2.3.3 Aprovechamiento

En los beneficiaderos, se obtiene diariamente una serie de subproductos de la matanza tales como: sangre, vísceras, plumas, cabezas, etc. Estos subproductos tienen un valor económico apreciable.

La transformación de todos estos subproductos en harina de carne se viene realizando en instalaciones como la que se presenta en la figura 10. En dichas instalaciones, los subproductos cárnicos, junto con la sangre, plumas y lodos son cargados en un cooker y sometidos a altas temperaturas (110 – 130°C) durante 5 horas aproximadamente, produciéndose la evaporación del agua contenida y descargando la harina a un molino. Posteriormente la harina pasa por un tamiz, donde se entrega el producto final, según información obtenida en la visita realizada a una de las empresas que procesa los subproductos y la revisión de su respectivo expediente en el DAMA.

Para su transformación en harinas y grasas, es necesario evaporar la mayor parte del agua y separar la fase sólida no grasa (hidratos, proteínas, sales y vitaminas).

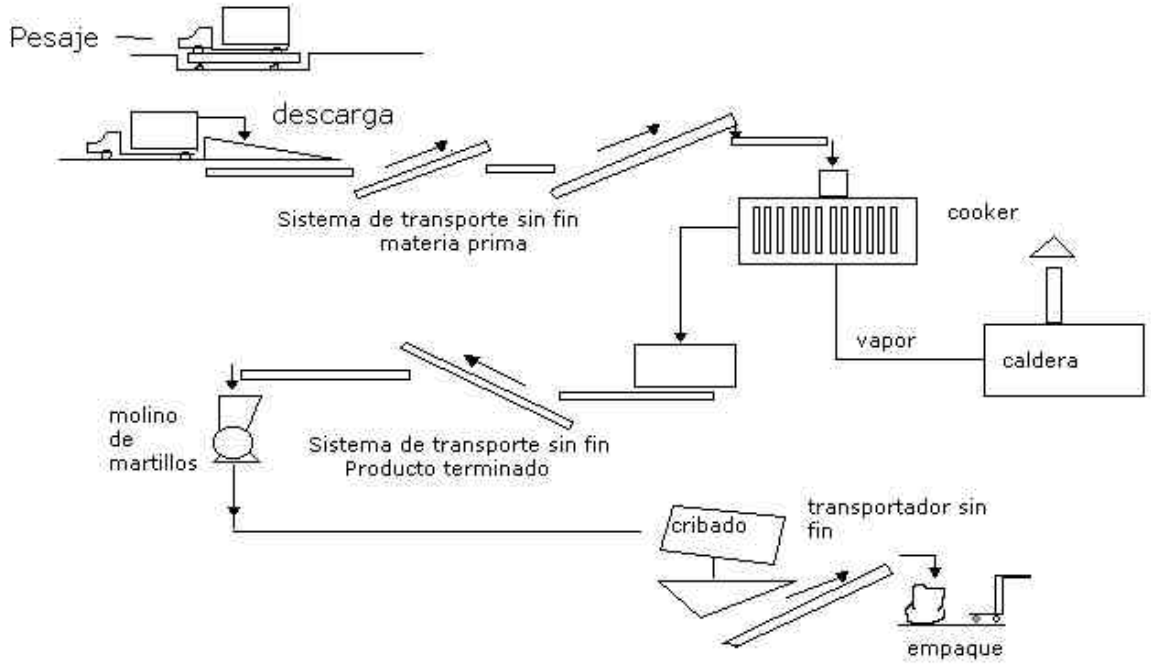


Figura 10. Diagrama de flujo producción de harina de carne

Los productos finales obtenidos de los subproductos deben ser lo más puros posibles.

Por ejemplo de la sangre se puede obtener productos para la fabricación de: harinas y piensos proteínicos, aditivos para embutidos, cubiertas de papel, plásticos, etc.

La sangre presenta una DBO de 165000 mg/lt y su recuperación significa una reducción en la carga contaminante alrededor del 45%.

En las empresas en estudio, la sangre es recogida por medio de canales y transportada hasta la tolva de almacenamiento de sangre, para luego ser

procesada con los otros subproductos para producir harina de carne, la cual se utiliza como pienso o materia prima de los concentrados.

2.3.3.1 Harina de Sangre

La sangre, es un producto muy rico en proteínas por lo que se puede obtener una harina de las siguientes características[1]:

Humedad:	6-11%
Proteínas:	83-85%
Grasa:	0.8-1.2%
Sales y otras sustancias:	4-5%

La harina de sangre, es producida a partir de la deshidratación de la sangre entera obtenida en las salas de sacrificio.

La harina de sangre se utiliza como fuente de proteínas para preparar "alimentos equilibrados" para el ganado, animales domésticos y aves de corral. Contiene alrededor del 80% de proteínas, constituye una fuente excelente de aminoácidos esenciales, especialmente en triptofano y lisina. La harina de sangre presenta un alto coeficiente de digestibilidad (99%) si se compara con la harina de carne y hueso (87 – 89%) o con la harina de pluma (53 – 55%)[2].

La sangre desecada se utiliza también como fertilizante orgánico y contiene alrededor del 12% de nitrógeno y vestigios de fósforo, hierro, cobre y otros minerales.

[1] Aprovechamiento integral de subproductos de matadero. A. Madrid Vicente. Madrid, 1979.
[2] Aprovechamiento de los subproductos cárnicos. A. Madrid Vicente. Madrid, 1999.

2.3.3.2 Alimentos para animales

A. Alimentos no procesados

* Residuos cárnicos de uso directo

Los residuos cárnicos de uso directo son una mezcla de subproductos triturados con harina vegetal que con algún producto conservador se da directamente a los animales. Su período de conservación es corto (1 – 6 días) por no haber sufrido ningún tratamiento térmico.

* Productos esterilizados después de su envasado

Son los que una vez efectuada la mezcla y enlatado, son sometidos a temperaturas lo suficientemente altas (120 – 130°C) durante períodos determinados de tiempo (1 – 2 horas) para conservarlos posteriormente sin problemas.

B. Alimentos procesados

* Secos

Cuando tienen menos de un 10 – 12% de agua, tienen la apariencia de una harina o un pienso proteínico que se ha prensado en diversas formas (galletas, tacos.).

* Semi - húmedos

Cuando contienen del 20 al 25% de agua. Tienen el aspecto de carne picada y se suelen presentar conglomerados en forma de croquetas y hamburguesas. La

mezcla inicial se hace solo con los residuos cárnicos, la soja y la grasa animal, que sufren la pasterización a 100°C, durante 10 minutos, agregando posteriormente el resto de los componentes (azucares, sales, vitaminas.).

Después, se vuelve a calentar la mezcla total y se enfría para su texturizado. Aquí se les da la forma de croquetas. Se envasan convenientemente y se someten después a esterilización o congelación para su mejor conservación.

2.4 CONSUMO DE AGUA

En este sector industrial el agua es utilizada en la mayoría de los procesos, por lo tanto, se puede decir que el consumo es alto, para todas las empresas. Teniendo en cuenta las encuestas realizadas a cada una de las empresas y los datos suministrados por ellas, se hará el análisis en el comportamiento histórico del consumo de agua y en el balance hídrico.

2.4.1 Comportamiento Histórico del Uso de Agua

En la figura 11 se observa el comportamiento histórico del consumo de agua promedio de las empresas. Este comportamiento, se toma promedio debido a que todas las empresas tienen las mismas actividades y no difieren la una de la otra en el tipo de proceso, también por que no todas las empresas entregaron la información del consumo mensual de agua.

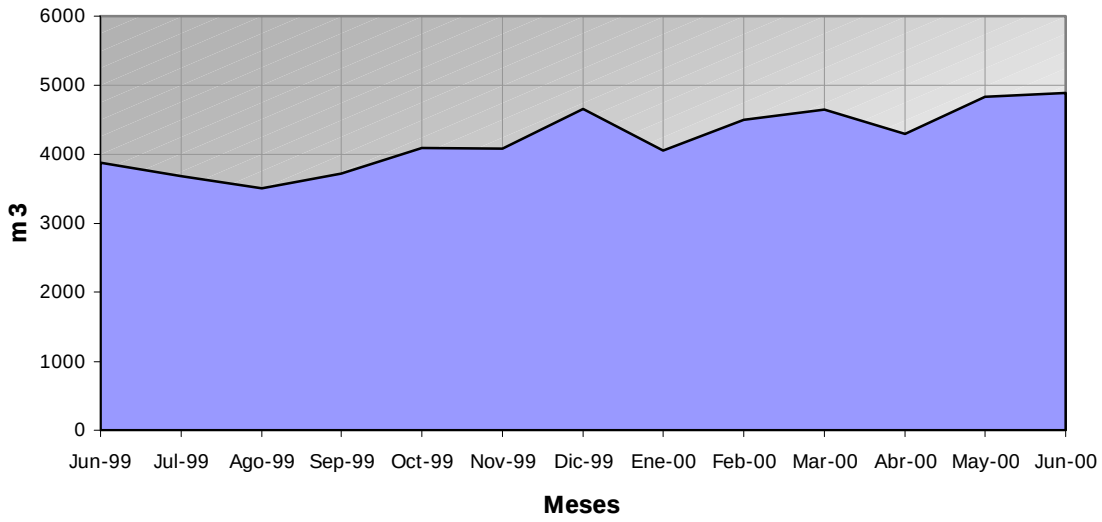


Figura 11. Histograma uso de agua

En la gráfica se puede observar el incremento del uso de agua. Esto se debe al incremento de la producción de pollo en canal como se puede ver en el anexo 4, pero también demuestra que las empresas no han implementado ningún sistema de ahorro y uso eficiente del agua.

La Mayoría de las empresas utilizan la misma cantidad de agua por pollo sacrificado, que oscila entre 7 y 10 lt/pollo (Figura 12), donde se nota que este

uso por lo general es constante y directamente proporcional a la cantidad de pollo en canal. La diferencia radica en el uso de agua y lavado de pisos.

Se observa que la empresa No 4 presenta un desfase en el uso de agua por pollo con relación a las otras empresas, esto probablemente se debe a un gasto incontrolado en ciertas fases del proceso o a la información que presento durante la visita.

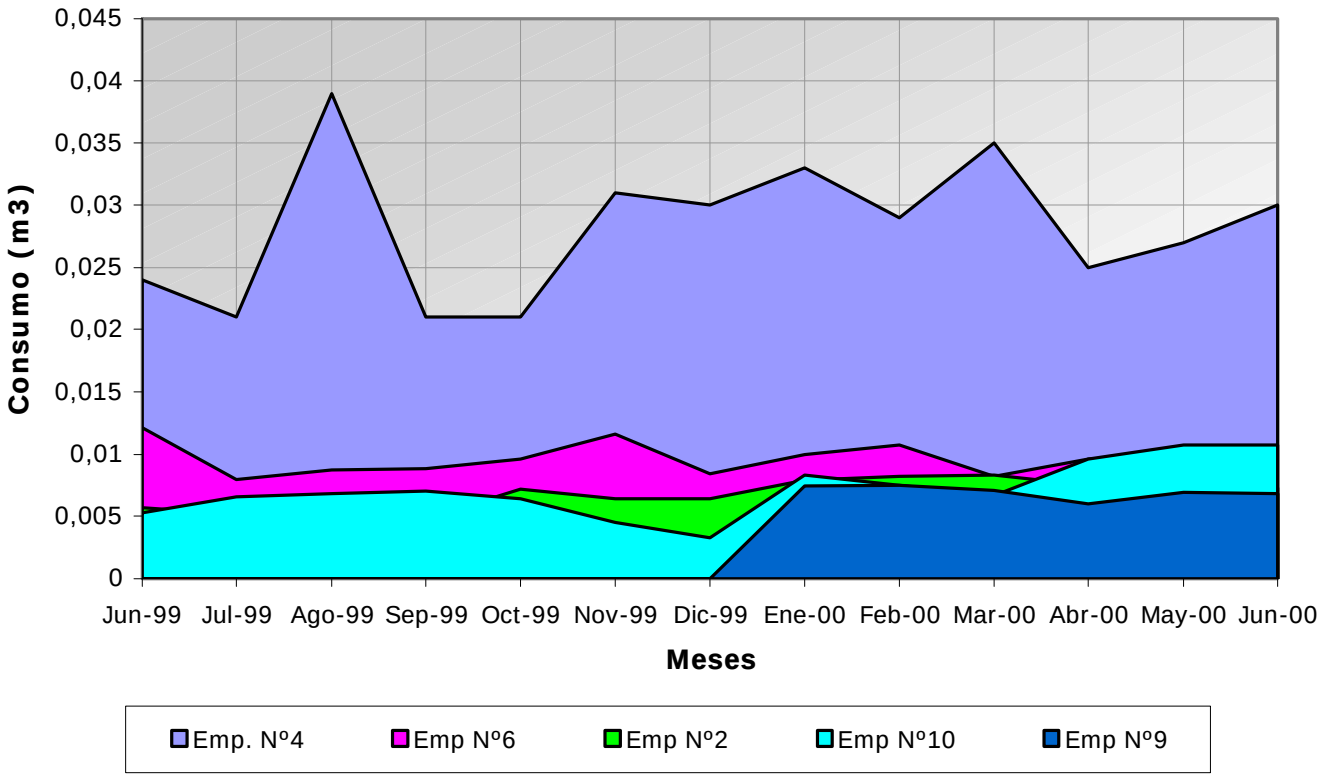


Figura 12. Consumo de agua por unidad de pollo

2.4.2 Balance Hídrico

El balance hídrico se generalizó para todas las empresas, ya que las operaciones unitarias del proceso son iguales para cada una de ellas, lo único que varia es la tecnología utilizada. Los datos obtenidos para este punto se obtuvieron a partir de las encuestas que se realizaron a cada una de las empresas.

En la figura 13, se puede observar que a la salida del proceso existe una perdida de 4.6%, lo cual se explica en la cantidad de agua que es absorbida por el pollo durante la hidratación en los chiller y el agua que se evapora durante todo el proceso.

2.5 VERTIMIENTOS

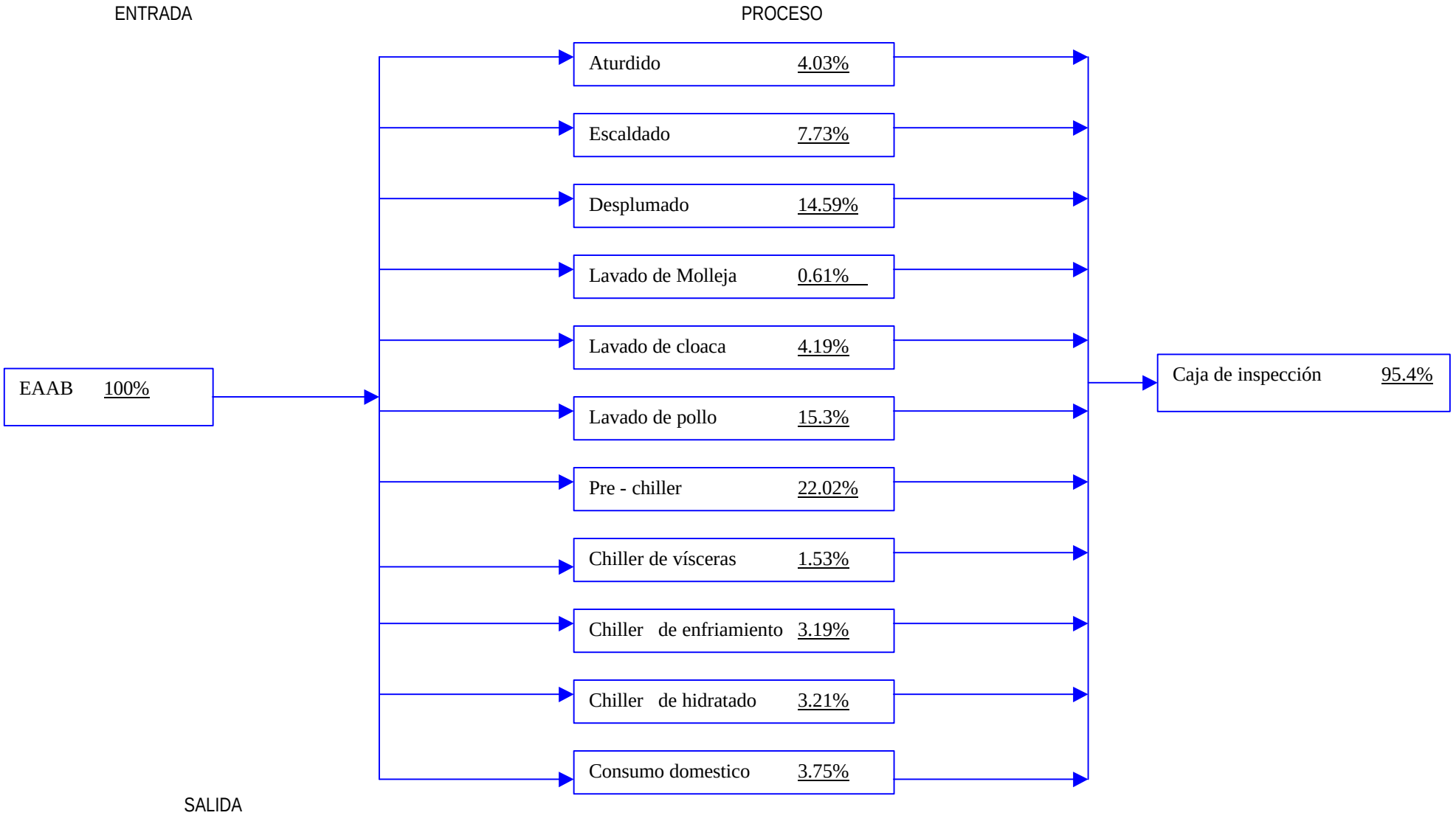
2.5.1 Identificación de los puntos de contaminación

La procedencia de las aguas residuales con mayor carga contaminante, del proceso productivo de la empresa se puede observar a continuación:

* Zona de sacrificio

En esta zona se generan aguas sangrosas con arrastre de sólidos (pollinaza), debido a la limpieza del canal de desangre y lavado de pisos y paredes salpicadas de sangre. Estas aguas son recogidas por medio de rejillas hasta el

FIGURA 13. Balance de agua por proceso



tanque equalizador. La sangre es conducida a una tolva de almacenamiento, para luego ser vendida como subproducto.

* Zona de escaldado y desplume

Esta zona es llamada zona sucia, debido a la cantidad de residuos y plumas que se generan en esta etapa. Las aguas residuales generadas en el tanque de escaldado presentan altas concentraciones de grasa. El agua de esta zona es recolectada por rejillas para ser conducida hacia el tanque de equalización.

* Zona de evisceración

También catalogada como zona sucia, debido a que es aquí donde se hace la separación de los subproductos ya sean comestibles o no. El agua es recogida por canales y transportada al tanque de equalización. Las vísceras comestibles son llevadas a los chillers de vísceras, y las no comestibles son conducidas a las tolvas de almacenamiento para ser vendidas como subproducto.

* Zona de Chillers

La zona de chillers es donde se genera la mayor cantidad de caudales y agua contaminada de todo el proceso. Las cargas son muy altas en los parámetros de aceites, sólidos y carga orgánica.

* Zona de empaque y almacenamiento

El agua residual de esta zona proviene del escurrimiento del hielo, estas aguas son recolectadas por rejillas y canales en la mayoría de los casos, y conducidas al tanque de equalización.

* Actividad de lavado de las instalaciones

Esta actividad es general en toda el área de la empresa, el lavado se realiza después de terminada la producción. El agua tiene como característica la presencia de aceites, grasas y sólidos.

2.5.2 Cargas contaminantes teóricas

El sector analizado se caracteriza por una alta producción de vertimientos ricos en materia orgánica y sólidos suspendidos, aspectos asociados a la naturaleza de los materiales procesados. La sangre y el lavado de pisos son otros factores contaminantes del agua. En la tabla 1 se presentan los principales indicadores de contaminación en cuanto a vertimientos y generación de residuos sólidos.

Tabla 1. Indicadores de contaminación

Caudal (m^3/1000 aves)	**DBO** (Kg/1000 aves)	**DQO** (Kg/1000 aves)	**Sólidos suspendidos** (Kg/1000 aves)	**Grasas** (Kg/1000 aves)	**Residuos sólidos** (Kg/1000 aves)
12.34	13.61	67.1	12.6	0.59	338

Fuente: Valoración del impacto ambiental de la gran industria manufacturera del distrito capital. DAMA. 1997

2.5.3 Calidad de los Efluentes

Para realizar el análisis de las caracterizaciones se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: aceites y grasas, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, DBO_5 y DQO, debido a la gran importancia que representan para el control de los efluentes de este sector industrial y la facilidad de evaluar la eficiencia de los sistemas de tratamiento para cada una de ellas, además de ser los parámetros de control exigidos por la legislación vigente, la Resolución 1074 de 1997.

A continuación se realizará el análisis por empresa, basado en las caracterizaciones remitidas por ellas ante el DAMA y las suministradas para el desarrollo de este proyecto. En los casos en donde no se contó con la información requerida, se asumió la continuidad de los parámetros en el tiempo con el fin de establecer la gráfica a evaluar.

El periodo de tiempo utilizado para realizar las gráficas de las caracterizaciones de cada una de las empresas es diferente, debido a que la información primaria y secundaria no se encuentra en el mismo lapso de tiempo, ya que ninguna empresa tiene la información mes por mes, que es la manera en que se trabajan las gráficas.

2.5.3.1 Histograma de caracterizaciones por empresa

* **Empresa N° 1**

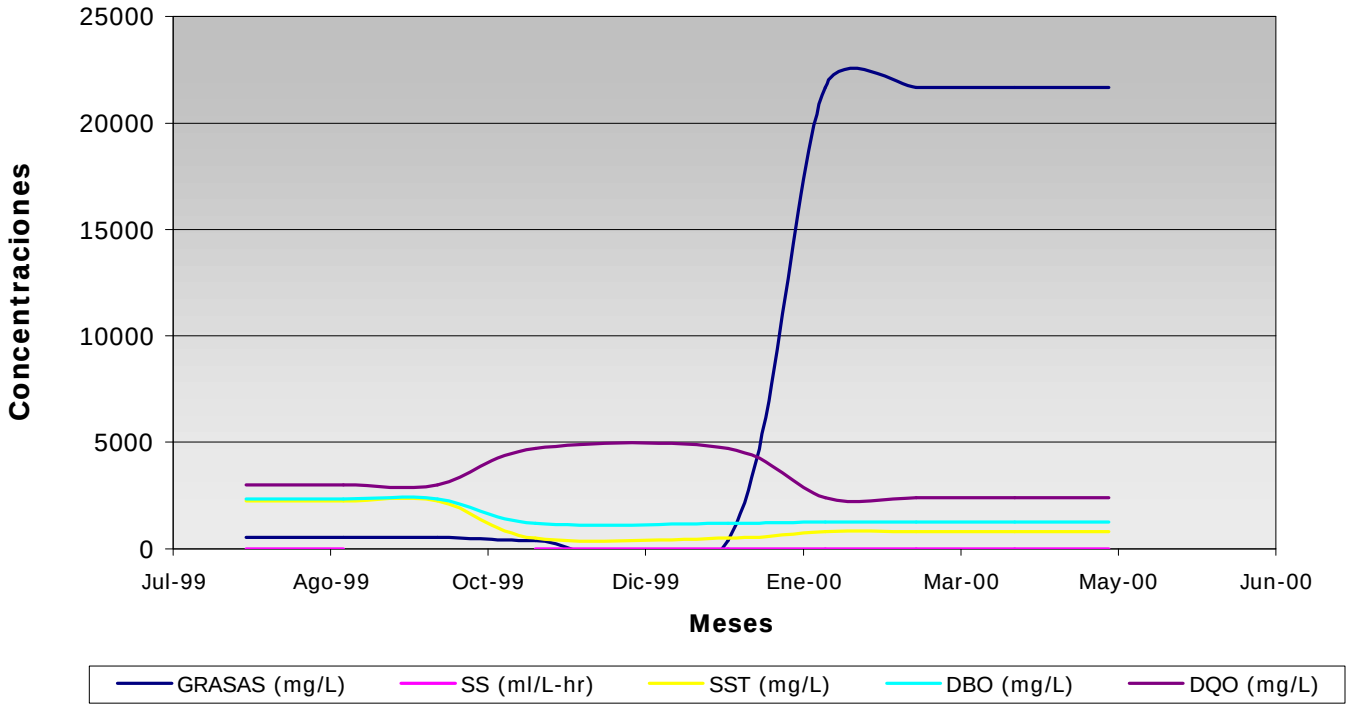


Figura 14. Histograma caracterizaciones empresa N° 1

En la empresa N° 1, se observa un comportamiento ascendente de los parámetros evaluados, los últimos valores obtenidos de esta empresa se realizaron en marzo del presente año, los cuales sobrepasan los valores permitidos por la Resolución 1074 de 1997, lo que conllevó a una suspención parcial de la actividad industrial, por parte de la autoridad ambiental. Este problema de vertimientos se ha venido corrigiendo por medio de la construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales y que

actualmente se encuentra en la etapa de acondicionamiento. La información es de fuente secundaria.

* **Empresa N° 2**

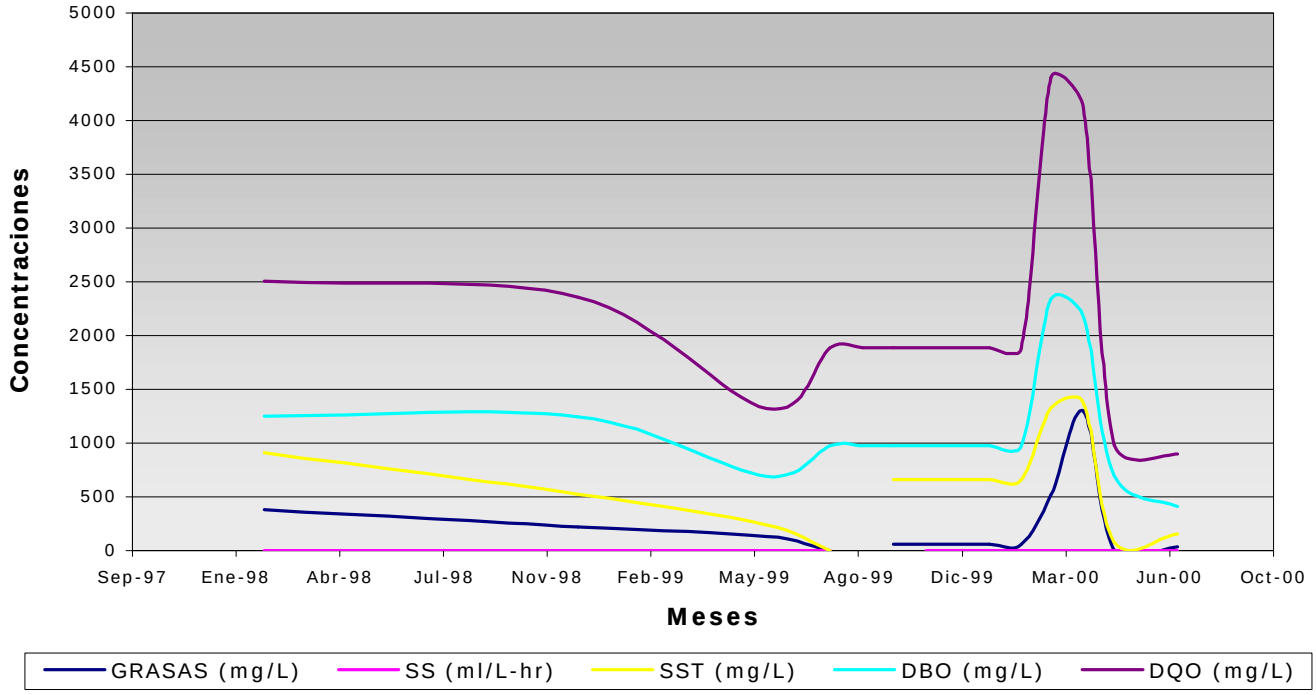


Figura 15. Histograma caracterizaciones empresa N° 2

En la Figura 15, se puede observar el comportamiento constante del efluente en el transcurso del tiempo hasta febrero de 2000, donde los parámetros sobrepasan la Resolución 1074 de 1997. En abril del 2000 se presenta un ascenso en la concentración de los parámetros, el cual conlleva a la Autoridad Ambiental a hacer una sanción. Posteriormente la empresa toma las medidas necesarias para el control del afluente, instalando los sistemas de tratamiento, los cuales en estos momentos se encuentran en funcionamiento y cumpliendo

con la norma establecida para los efluentes. La fuente de información es primaria y secundaria.

* **Empresa N° 3**

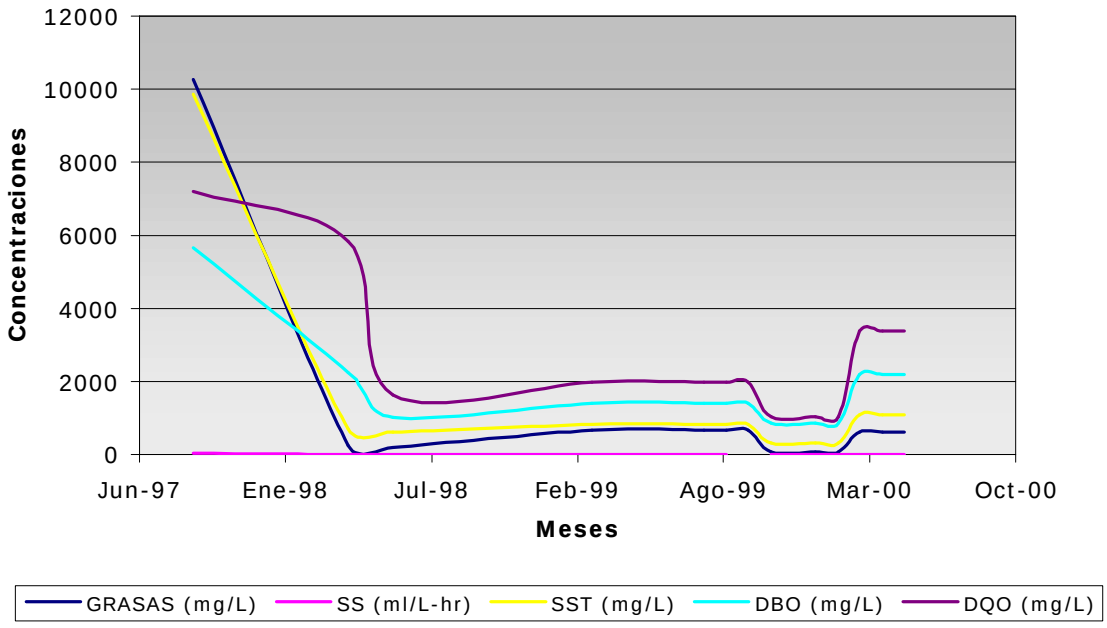


Figura 16. Histograma caracterizaciones empresa N° 3

En la gráfica se muestra un descenso en el primer año y una estabilización de las concentraciones en los meses posteriores, sin cumplir con la norma establecida. Actualmente la planta de tratamiento se encuentra en fase de construcción, por lo tanto no se tienen caracterizaciones recientes. La gráfica se realizó con los datos encontrados en los expedientes del DAMA.

* **Empresa N° 4**

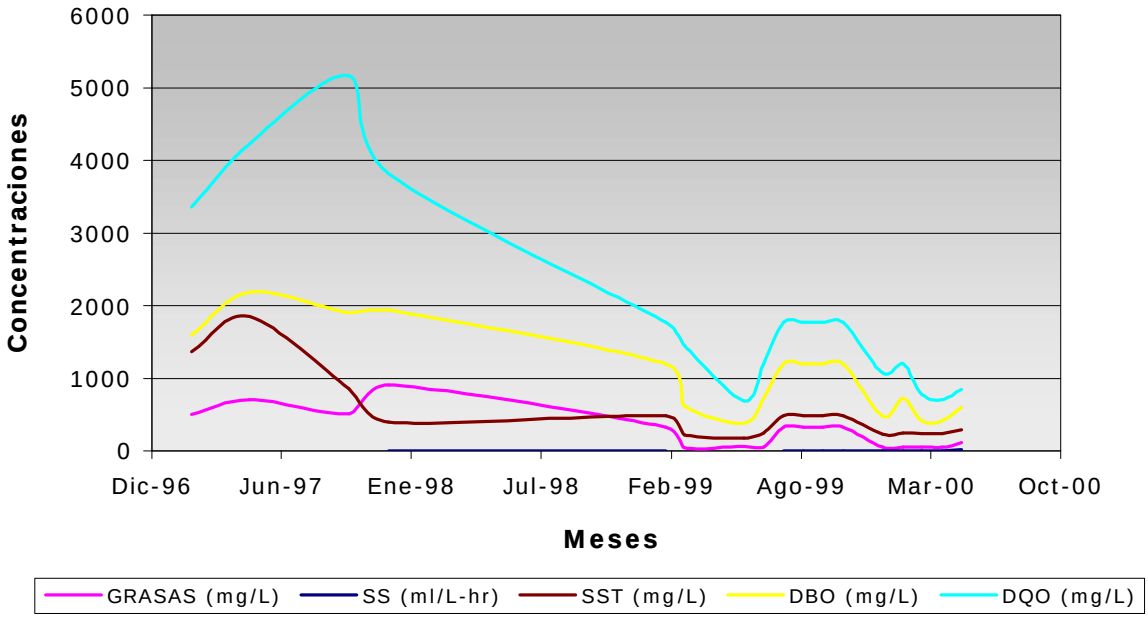


Figura 17. Histograma caracterizaciones empresa N° 4

En esta empresa se presenta el comportamiento normal que se ha venido presentando en el resto de las empresas evaluadas, la implementación de la planta se realizó entre los meses de febrero y agosto de 1999, por esta razón se presentan alzas en los niveles de contaminación. La planta en la actualidad se encuentra en etapa de funcionamiento y cumpliendo con los parámetros establecidos por la Resolución 1074 de 1997, según la última caracterización entregada por la empresa. La información es de fuente primaria y secundaria.

* **Empresa N° 5**

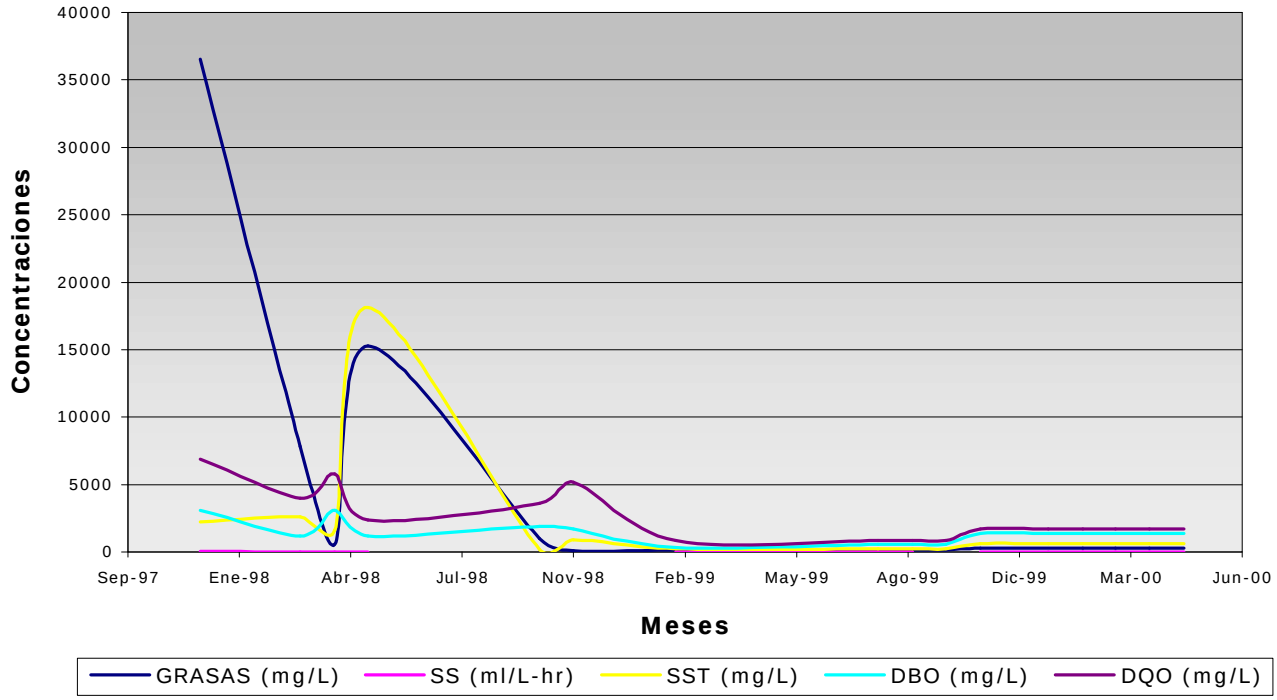


Figura 18. Histograma caracterizaciones empresa N° 5

En el histograma de caracterizaciones de la empresa N° 5, se encuentra el comportamiento de los parámetros del efluente constante, no sufriendo grandes variaciones desde la instalación de la planta de tratamiento y cumpliendo con los parámetros requeridos por la Resolución 1074 de 1997. Los datos fueron obtenidos de las caracterizaciones encontradas en los expedientes del DAMA.

* **Empresa N° 6**

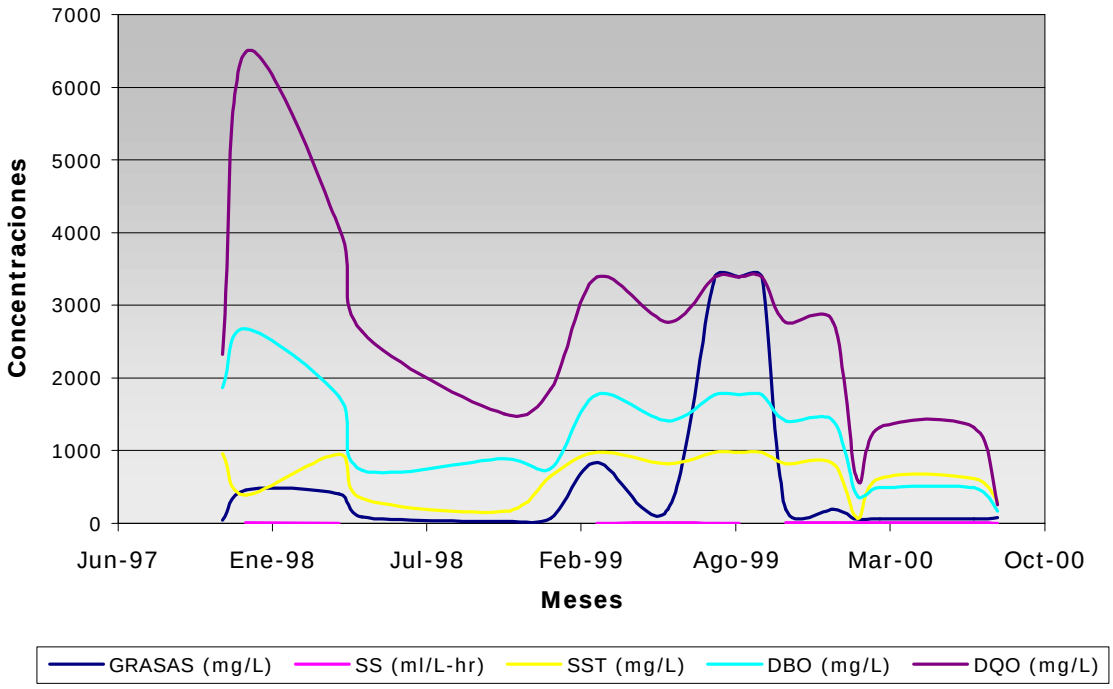


Figura 19. Histograma caracterizaciones empresa N° 6

En la empresa Nº 6, las caracterizaciones siempre se encontraron por encima de la norma establecida por la Resolución 1074 de 1997. La instalación de la planta de tratamiento de agua industrial, se realiza en agosto de 1999, logrando así la disminución de las cargas contaminantes y cumpliendo hasta el momento con la norma establecida. La planta de tratamiento se encuentra en el momento en fase de funcionamiento. La información es de fuente primaria y secundaria.

* **Empresa No 7**

La empresa N° 7 no ha remitido las caracterizaciones solicitadas por la autoridad ambiental a partir de junio de 1999, por lo tanto no fue posible realizar el histograma de las caracterizaciones a dicha empresa.

* **Empresa N° 8**

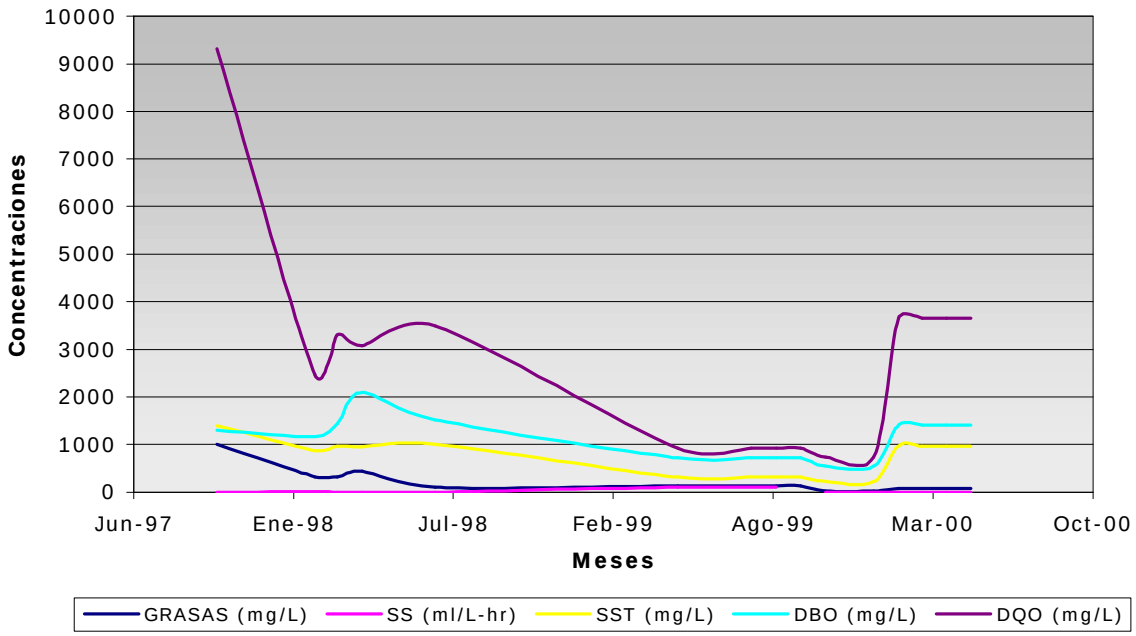


Figura 20. Histograma caracterizaciones empresa N° 8

Esta empresa ha tenido un comportamiento descendente en sus caracterizaciones, hasta lograr cumplir con la norma establecida por la autoridad ambiental. Sin embargo en el comportamiento del efluente en los últimos meses se puede observar el aumento de la carga, por consiguiente el

incumplimiento de la norma. Las caracterizaciones de la empresa fueron remitidas y realizadas por el DAMA, por lo tanto, esta información es de fuente secundaria.

* **Empresa N° 9**

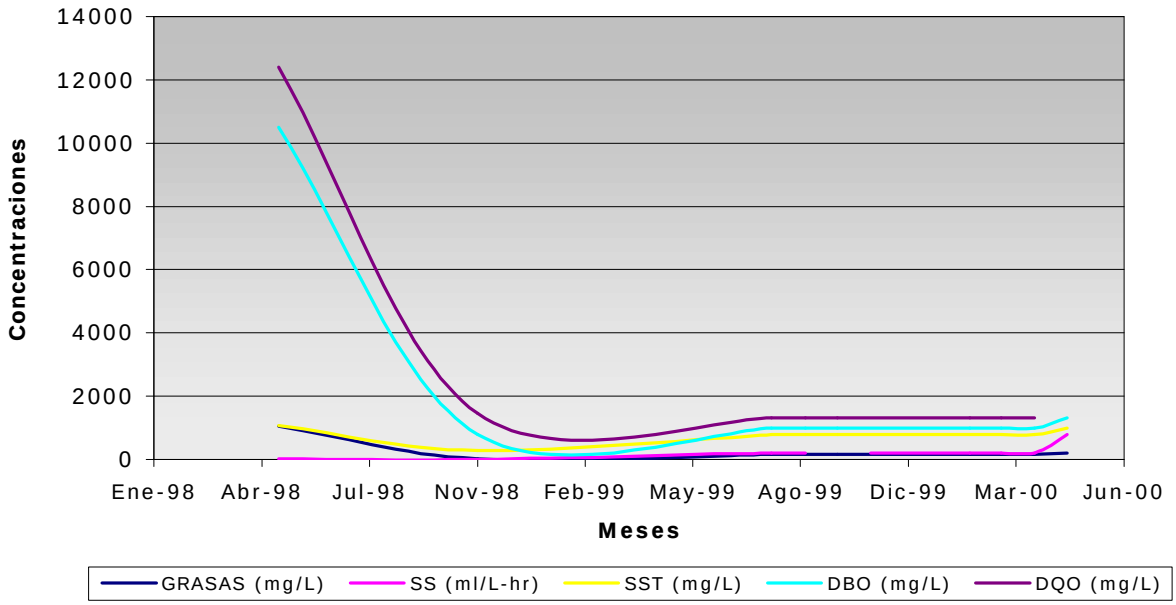


Figura 21. Histograma caracterizaciones empresa N° 9

El comportamiento de la carga contaminante del efluente de la empresa, tiene un comportamiento descendente a lo largo del año de muestreo, cumpliendo con la Resolución 1074 de 1997. La información de las caracterizaciones es de fuente secundaria.

* **Empresa N° 10**

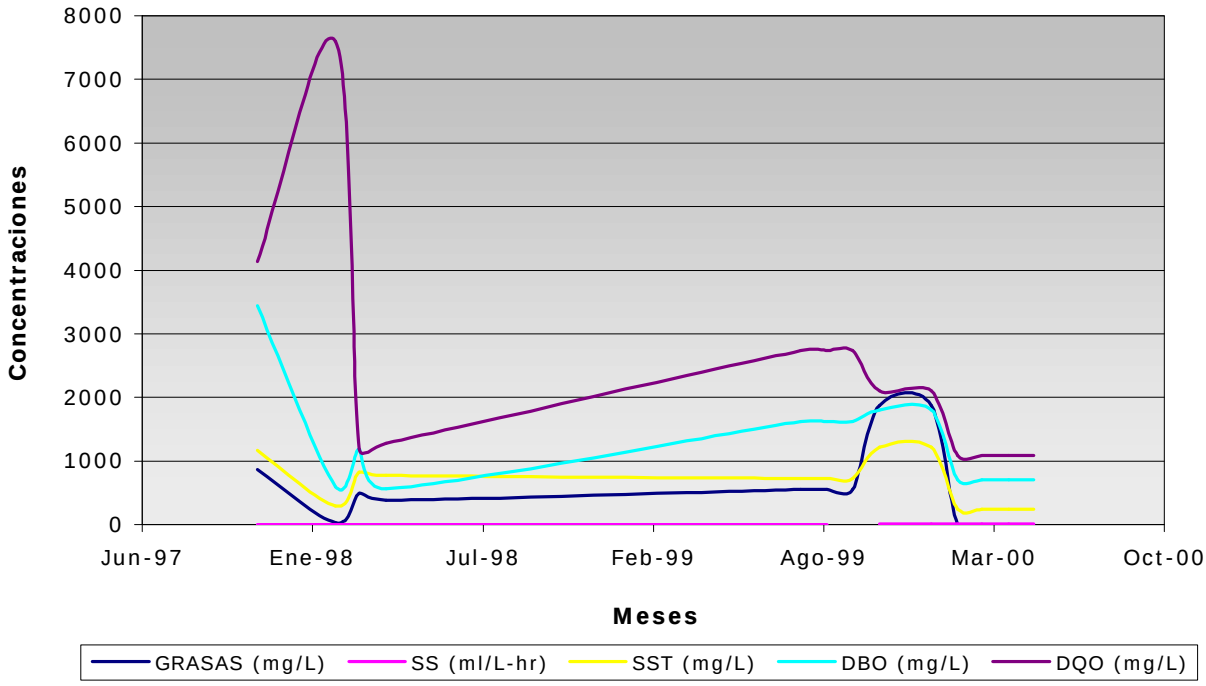


Figura 22. Histograma caracterizaciones empresa N° 10

El comportamiento del efluente de esta empresa es descendente hasta Marzo de 1998, esto se debe a los cambios realizados en cuanto a infraestructura y adquisición de nueva tecnología en el proceso de beneficio de aves. Posteriormente es ascendente hasta Septiembre de 1999, donde se presenta un incremento en la producción de pollo en canal. La instalación de la planta de tratamiento se lleva a cabo en estos meses, logrando cumplir con las normas establecidas por la Resolución 1074 de 1997. La información es de fuente primaria y secundaria.

* **Empresa N° 11**

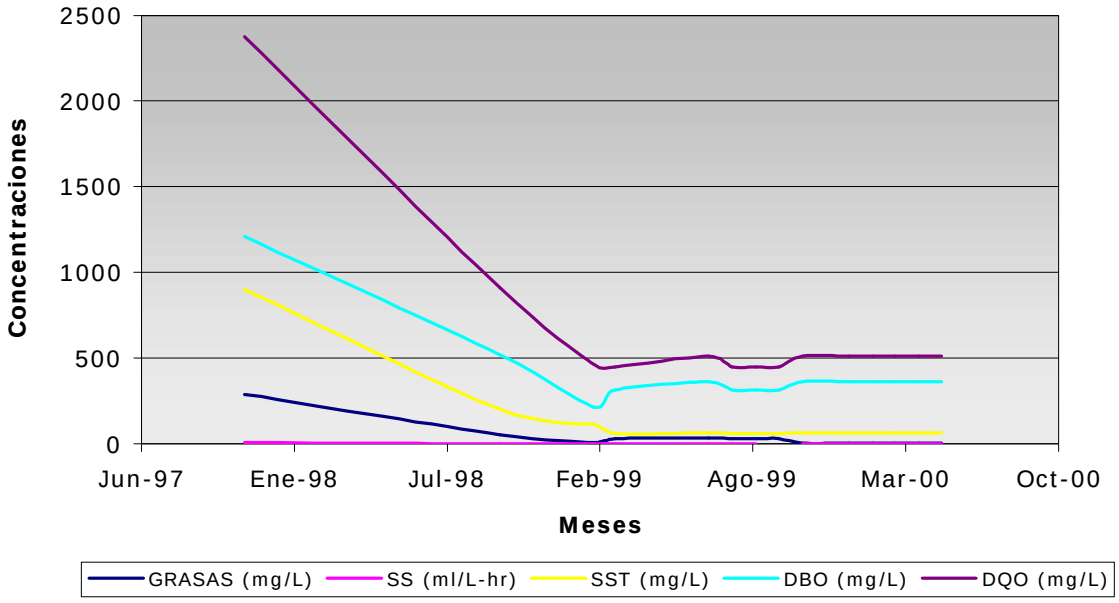


Figura 23. Histograma caracterizaciones empresa N° 11

El comportamiento general de la gráfica es descendente, cumpliendo a partir de febrero de 2000, con las normas establecidas para agua residual industrial. La fuente de información para el gráfico es de tipo secundario.

* **Empresa N° 12**

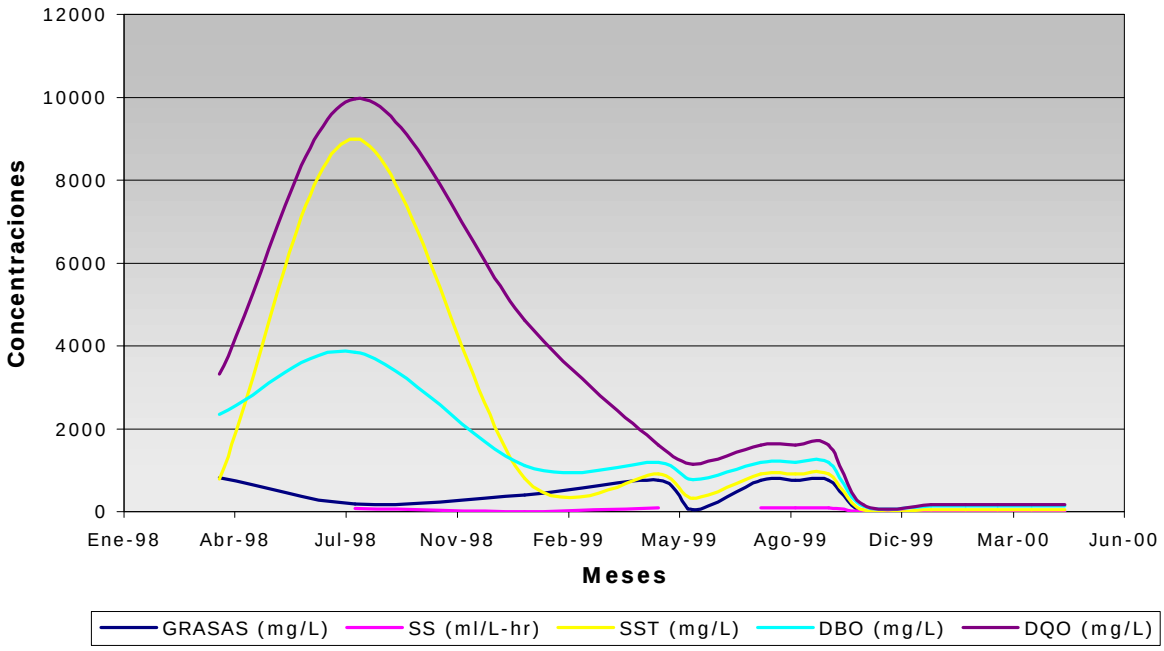


Figura 24. Histograma caracterizaciones empresa N° 12

El comportamiento general del efluente es descendente, logrando cumplir con la Resolución 1074 de 1997. Cabe anotar que esta empresa es la única que hace recirculación de agua para el lavado de pisos e instalaciones, por esta razón, la carga generada en el efluente cumple con las especificaciones. La fuente de información es de tipo secundario.

* **Empresa N° 13**

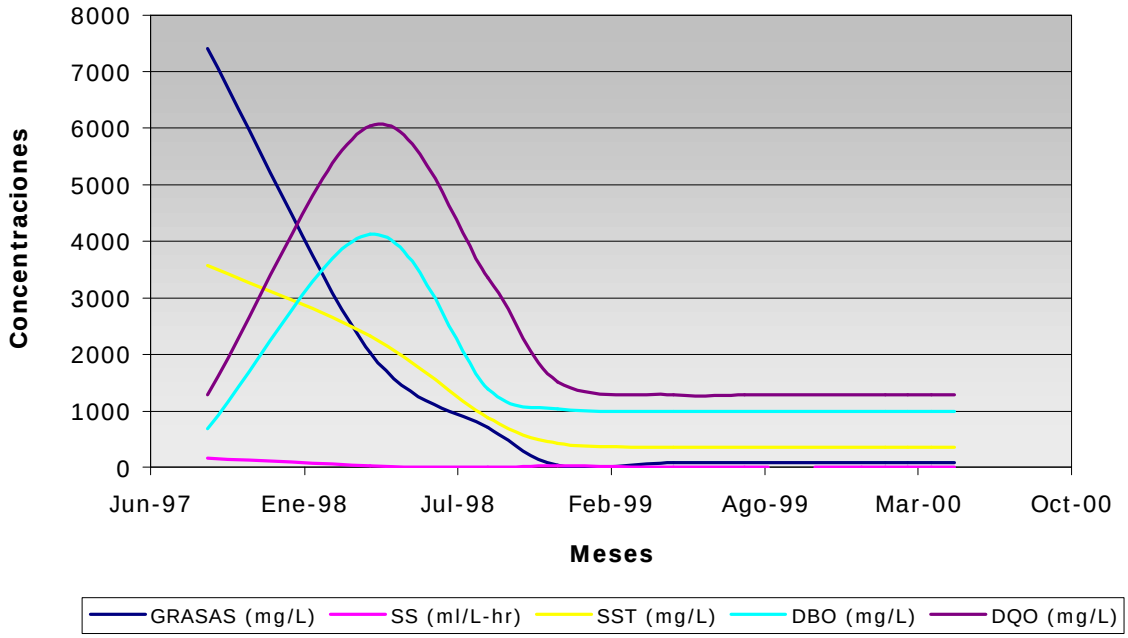


Figura 25. Histograma caracterizaciones empresa N° 13

Esta empresa tiene el comportamiento típico descendente a partir de abril del 98, el cual es la fecha de instalación de la planta de tratamiento de agua residual. La ultima caracterización remitida por la empresa al DAMA es de marzo de 2000 donde se encuentra cumpliendo con los parámetros establecidos. La información de la gráfica es de fuente secundaria.

* **Empresa N° 14**

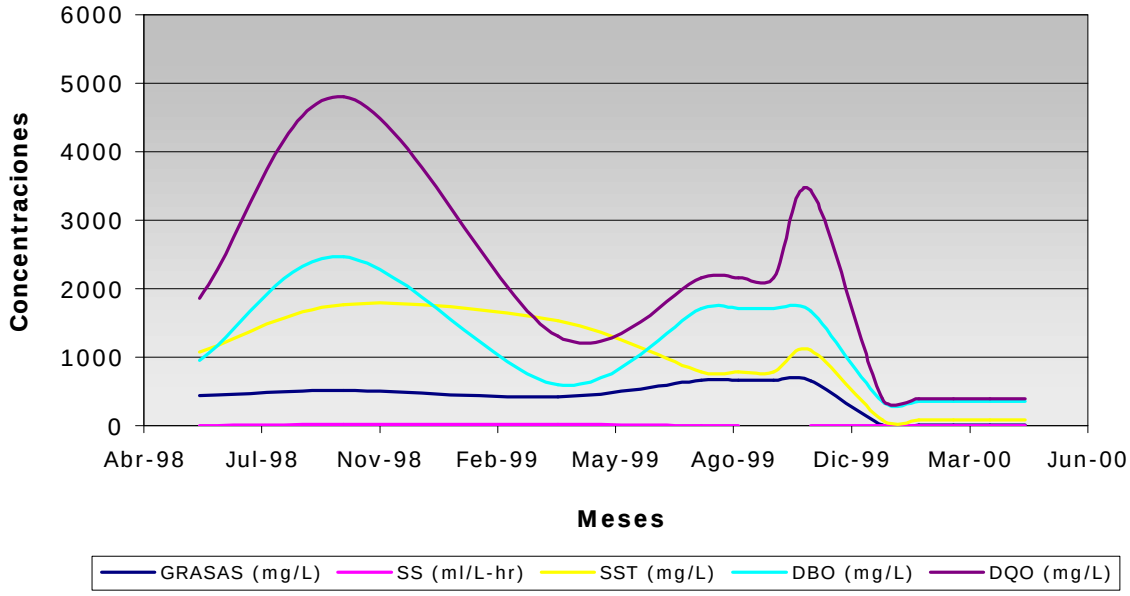


Figura 26. Histograma caracterizaciones empresa N° 14

La instalación de la planta de tratamiento de agua residual se realizó en agosto de 1998, observándose el inmediato descenso en las cargas del efluente. Se presentaron algunos problemas en la carga del efluente en la fase de estabilización de la planta de tratamiento. A partir de enero de 2000 la empresa cumple con los parámetros establecidos. La información es de fuente secundaria.

3. DIAGNÓSTICO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

Según el tamaño de los beneficiaderos, animales sacrificados y aprovechamiento de los subproductos tendremos variaciones importantes tanto en el volumen de aguas residuales como en la carga contaminante de estas.

Las aguas residuales del beneficiadero vienen de todas las secciones del mismo y tienen cargas contaminantes diferentes. La mezcla total de ellas suele tener una DBO_5 de 1250 mg/lt. Es importante saber que, por término medio, se suelen usar entre 6 y 10 lt de agua/ave.

Es necesario considerar que el costo de tratamiento de los efluentes muy diluidos se aumenta, debido a que el caudal a tratar es mayor. Además, se debe procurar que la composición de las aguas residuales sea lo más constante posible. Para ello es aconsejable mezclar los efluentes de las distintas secciones del beneficiadero y enviarlos a un deposito previo, regulador del flujo de aguas entrantes en la planta de tratamiento. (Tanque equalizador).

El diseño de las plantas de tratamiento de efluentes en este tipo de industria está encaminado a la reducción de parámetros como lo son aceites y grasas, pH, sólidos suspendidos y todos aquellos parámetros que tengan que ver con la composición orgánica del residuo. La calidad de las aguas residuales tratadas que se debe alcanzar a través del tratamiento debe satisfacer la legislación ambiental vigente.

Las variaciones entre una y otra planta se deben más que todo al caudal, a la producción (número de aves sacrificadas), tamaño de las instalaciones, criterio del ingeniero diseñador de la planta y el factor económico. El caudal de funcionamiento actual promedio de las plantas de tratamiento oscila entre 12 m^3/h y 17 m^3/h.

Los siguientes porcentajes están dados con base en la información obtenida directamente de las empresas, actualmente el 50% de ellas cuenta con planta de tratamiento en funcionamiento y equilibrio, obteniendo resultados favorables de acuerdo a las exigencias dadas por el Departamento Administrativo del Medio Ambiente.

Un 28% está en adecuación, instalación o ampliación de las plantas de tratamiento, siguiendo la metodología de las plantas que ya están instaladas. El restante 22% no presentó la información o simplemente no hubo contacto con ellas, por razones de fuerza mayor.

El agua residual industrial proviene en su gran mayoría del proceso de sacrificio de aves, y el restante de la desinfección y lavado de las instalaciones.

3.1 OPERACIONES UNITARIAS

Usualmente se consideran los siguientes niveles para el tratamiento de las aguas residuales:

Tratamiento preliminar que tiene como objeto remover los sólidos suspendidos sedimentables gruesos, sólidos flotantes y grasas con la utilización de mecanismos físicos como método de tratamiento, a través de sistemas de rejas, tamiz, desarenadores y desengrasadores o trampas de grasa.

Tratamiento primario que tiene como objetivo la remoción de los sólidos sedimentables, grasas y aceites y parte de la materia orgánica. Es compuesto por el tratamiento preliminar, seguido de un decantador primario. En estos sistemas predominan los mecanismos físicos.

En el tratamiento secundario, predominan mecanismos biológicos. Su objetivo es principalmente la remoción de la materia orgánica suspendida fina, remanente del tratamiento primario (DBO suspendida o particulada) y materia orgánica en la forma de sólidos disueltos (DBO soluble), la cual no es removida en el tratamiento primario. Eventualmente puede remover nutrientes (nitrógeno y fósforo).

El tratamiento terciario tiene el objetivo de remover contaminantes específicos, usualmente tóxicos o compuestos no biodegradables y patógenos por medio de la desinfección.

Para tener una mejor idea de las plantas de tratamiento utilizadas en estas empresas, se hará una descripción detallada de cada una de las unidades que la componen.

Los porcentajes presentados en el siguiente análisis provienen de las visitas realizadas y la información remitida por cada una de las empresas.

3.1.1 Rejillas y Canales

Estas unidades están destinadas para la recolección de residuos de gran tamaño, provenientes del proceso. En algunas empresas se utilizan estas unidades con el fin de recoger los subproductos y residuos superiores a los 0.5 cm (Figura 27).

Figura 27. Canal de recolección

Podríamos decir que el 100% de las industrias avícolas cuentan con este sistema, el cual es una unidad básica para todas las plantas de tratamiento.

3.1.2 Tanque de equalización

Estos tanques son utilizados para entregar a la planta de tratamiento un caudal constante durante el tiempo de proceso, los residuos generados en esta unidad son mínimos debido a su tiempo de retención, sin embargo produce sedimentación de aquellas partículas que no son retenidas por las rejillas (Figura 28).

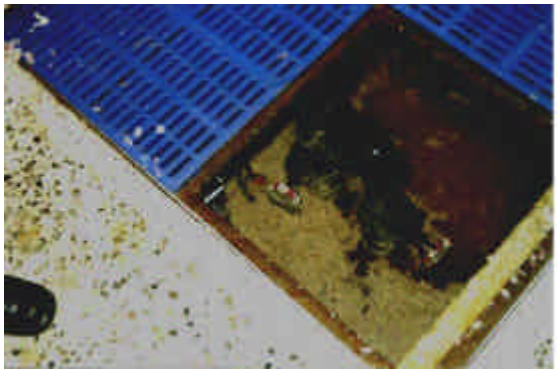


Figura 28. Tanque de equalización

El 60% de las plantas de tratamiento tienen tanque de equalización. Estos tanques presentan una gran desventaja debido a la cantidad de área que ocupa, razón por la cual, el 40% restante no posee esta unidad.

3.1.3 Tamices

Este sistema es utilizado para separar los residuos de 0.5 mm hasta 5 mm. Los residuos retenidos son vertidos a las tolvas de subproductos, debido a que esta unidad se utiliza generalmente para separarlos. La fracción líquida de estos es conducida nuevamente al tratamiento.

Un 43% de las empresas utilizan este sistema, como complemento de la separación de los subproductos, los cuales son transportados a las tolvas de almacenamiento temporal. En algunas se utiliza el tamiz rotativo (Figura 29) para retener las vísceras que llegan junto con el agua de los canales y el tamiz estático (Figura 30) es generalmente utilizado para la separación de las plumas.

Figura 29. Tamiz Rotativo

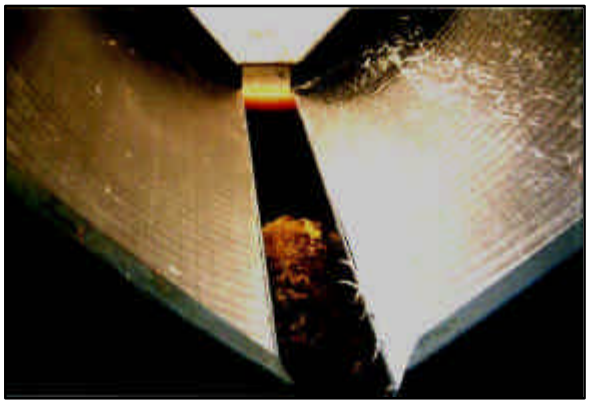


Figura 30. Tamiz Estático

3.1.4 Trampa de Grasas

En la figura 31 se muestra el sistema utilizado para el control de aceites y grasas provenientes del proceso. El tipo de residuo generado es la nata de grasa, en algunas empresas estás son conducidas hasta las tolvas de subproductos o combinadas con los lodos.

Solo el 36% de las industrias posee trampa de grasas, esto debido a la falta de espacio y la poca eficiencia de estos sistemas, sin embargo estos sistemas prevalecen por el aprovechamiento que se le quiso dar a la infraestructura ya instalada.

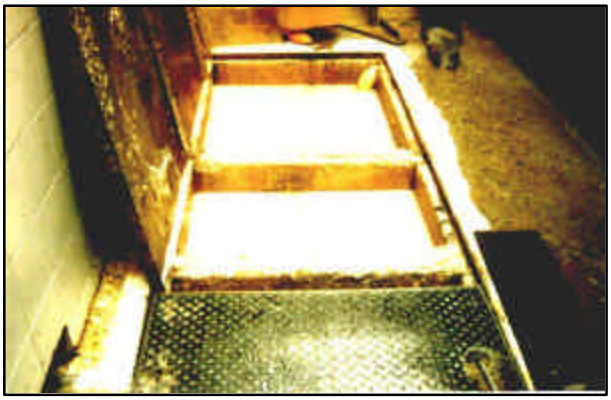


Figura 31. Trampa de grasas

3.1.5 Pre – sedimentador

Estas unidades no son muy comunes, debido a que existen otros sistemas que suplen su función, como los sedimentadores primarios o los sistemas DAFF (Flotación por aire disuelto). Los pre - sedimentadores solo permiten una remoción muy baja de sólidos suspendidos.

El 21% de las plantas poseen este sistema, y al igual que las trampas de grasas son utilizadas con el fin de aprovechar la infraestructura existente.

3.1.6 Coagulación y Floculación

En la mayoría de los tratamientos se utiliza el sistema dual de dosificación de químicos. En la tabla 2, se relacionan los químicos utilizados y las cantidades que se utilizan:

Tabla 2. Relación de los químicos utilizados en la coagulación y la Floculación

Químico	**Cantidad Promedio** (Kg/mes)
Cloruro Férrico	551
Hidroxicloruro de aluminio	2000
Soda cáustica	1500
Polímeros	208

Fuente: Información suministrada por las empresas, mediante los formatos del anexo 5.

La adición de coagulante y floculante se hace con el fin de formar el floc para posteriormente ser removido en la siguiente unidad.

El sistema dual de dosificación de químicos es utilizado con el fin de reducir el espacio y los costos en la instalación de la planta de tratamiento (Figura 32).

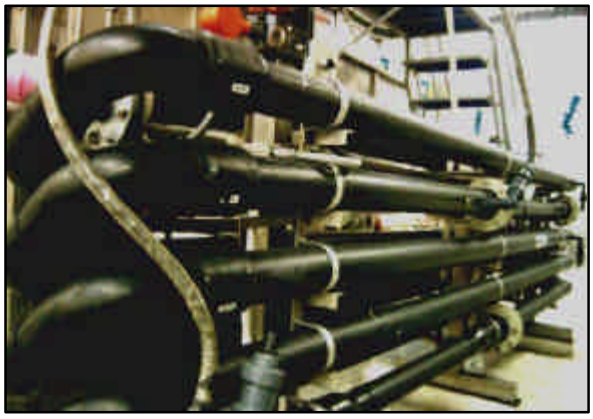


Figura 32. Coagulación y Floculación

3.1.7 Sistema DAFF (Flotación por aire disuelto)

Estos equipos constan de compresor, bombas de recirculación, balón de presurización y tanque de decantación – flotación.

También consta de dos sistemas de barrido, uno para remover grasas y otro para lodos. El barredor superficial evacúa las grasas hacia una tolva (Figura 33) y en el fondo se encuentra la tolva de lodos.

Figura 33. Vista planta del sistema DAFF

El objetivo principal del DAFF es remover las grasas no emulsificadas, las cuales tienen un peso específico menor que el agua, por medio de la aceleración del proceso de flotación de las grasas (Figura 34).

Estos sistemas tienen una eficiencia del 80 al 95%, cuando la concentración de grasas es superior a 200 mg/lt.

El 50% de las empresas poseen este sistema de tratamiento, de las cuales el 90% cumple con la Resolución 1074 de 1997. Por lo tanto se observa que el rendimiento de estos sistemas es el mejor para este tipo de empresa.

Figura 34. Vista frontal del sistema DAFF

3.1.8 Sistema sedimentación acelerada

Este sistema hace que la formación del microfloc se realice por medio de la inyección de aire, el cual hace que las partículas de grasa salgan más rápido a la superficie e impide que los sólidos se decanten. Tienen una eficiencia del 80%.

El 10% de las empresas cuenta con este sistema, no se pueden dar datos sobre el rendimiento del sistema, debido a que las empresas no cuentan con la información de caracterizaciones, se encontraban selladas en el momento de la visita o no fue posible realizarla.

4. LODOS PROVENIENTES DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO

Los residuos urbanos son los residuos que proceden de las actividades domésticas, comerciales, de limpieza de parques y jardines, los procedentes de la construcción y los lodos de depuradoras. Este tipo de residuos produce un alto grado de contaminación en el suelo y en las aguas superficiales y subterráneas, además de tener consecuencias biológicas perjudiciales.[3]

Los lodos son un residuo de gran importancia, ya que pueden constituir una fuente potencial agrícola, energética, etc., y también un foco de contaminación y de transmisión de enfermedades.

4.1 GENERALIDADES

Cualquiera que sea el tipo de tratamiento utilizado para los vertimientos industriales, se generara un nuevo residuo, denominado lodo, el cual es sólido, de composición variable, con un contenido del 40 al 80% de materia orgánica.

[3] RESIDUOS Guía Técnica – Jurídica. Carmen Bautista

Según la tendencia de crecimiento en el uso de sistemas de tratamiento que actualmente se observa, habrá un crecimiento proporcional en la producción de lodos.

Los lodos generados por los procesos físicos y biológicos de las plantas de tratamiento presentan algunas características indeseables que dificultan su manipulación y proceso. Estas características indeseables son:

* Olores desagradables
* Presencia de microorganismos patógenos
* Elementos tóxicos de origen orgánico o mineral
* Dificultad y costos de deshidratación

El lodo obtenido después del tratamiento de aguas residuales tiene diversas aplicaciones. Actualmente tienen como destino final la disposición sobre fuentes hídricas, land farming, rellenos sanitarios, incineración o reciclaje agrícola.

Los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales poseen características muy diversas. Algunos lodos denominados biosólidos son susceptibles de ser reusados o revalorizados como mejoradores de suelos. Otros lodos pueden destinarse a la recuperación y reciclaje de los elementos presentes en ellos o a un reuso posterior.

Así también hay otro tipo de lodos que deben ser destinados a sitios especiales de confinamiento y en ocasiones, de acuerdo a sus características de peligrosidad, deben ser manejados como desechos peligrosos.

La disposición final del lodo es una problemática que puede representar hasta el 60% de los costos operacionales de una unidad de tratamiento, cabe anotar que durante años las plantas de tratamiento prácticamente ignoraron el destino de los biosólidos.[4]

4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS LODOS

Los lodos se clasifican según su porcentaje de humedad, por el tipo de tratamiento dado a las aguas residuales, por su peligrosidad como residuo, según la norma EPA y LUDUVICE[5].

4.2.1 Según el porcentaje de humedad

Los lodos pueden ser:

* Líquidos, con un contenido en agua superior al 80%
* Paleables, con un contenido en agua inferior al 80%
* Sólidos, con un contenido en agua entre un 50% y un 60%

[4] RECICLAGEM DE BIOSSOLIDOS. Transformando problemas em soluçoes. SANEPAR, 1999
[5] Seminario Internacional de Tratamento E Disposicao de Esgotos Sanitarios. Brasilia, 1996.

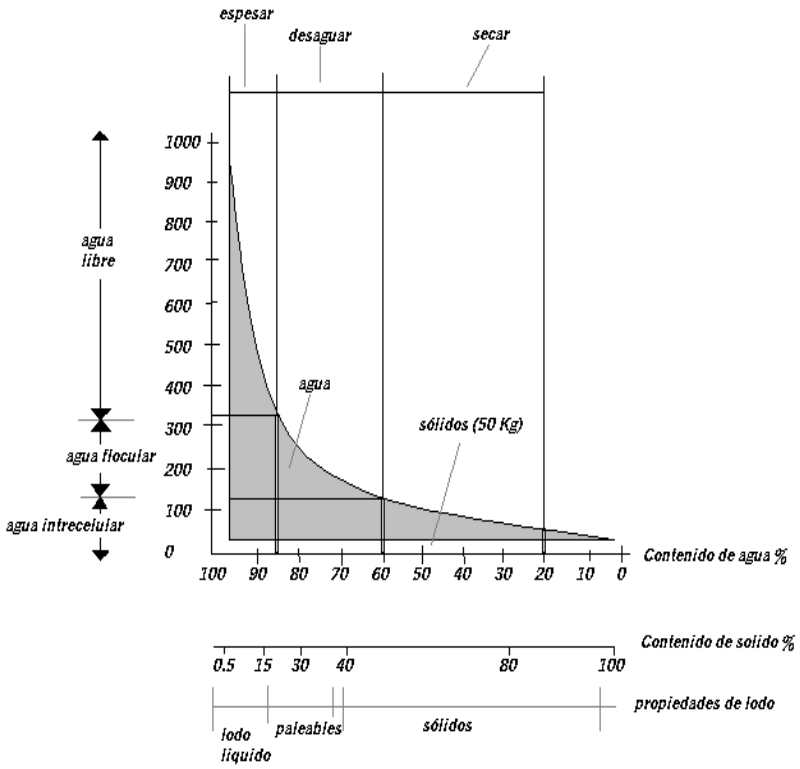


Figura 35. Variación del volumen de lodos en función de su contenido de sólidos

4.2.2 Según el tipo de tratamiento

La clasificación de los lodos puede ser:

* **Lodo primario**: Generado en los decantados primarios (parte gruesa), ricos en materia orgánica, presentando problemas de olores, vectores y compuestos orgánicos volátiles (COV). El tratamiento para este tipo de lodos es por medio de la estabilización.

* **Lodo aeróbio:** La producción de estos se genera en los sistemas de tratamiento aeróbico. Este tipo de lodo presenta una reducción en la relación C/N, minimizando así el problema de olores. El tratamiento para este tipo de lodos es por medio de la estabilización, en donde el secado se dificulta por el alto porcentaje de humedad.

* **Lodo anaerobio:** Debido a que este tipo de lodo permanece de 3 a 4 meses dentro de los sistemas anaeróbicos, no genera olores y la humedad es más fácil de retirar. Este lodo ya se encuentra estabilizado.

* **Lodo físico - químico:** Este tipo de lodo se presenta por la decantación de material inorgánico, generando problemas de olor, su relación de C/N es de 40. El tipo de tratamiento es la estabilización.

4.2.3 Según su peligrosidad[6]

Los lodos generados durante el tratamiento de aguas residuales se pueden también clasificar en función de su peligrosidad, pudiéndose presentar las siguientes alternativas:

[6] Ordenanza sobre el manejo de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales no domésticas. CEPIS. Ecuador, 1999

4.2.3.1 Lodos peligrosos

Los que tengan características peligrosas de acuerdo con el análisis CRETIB (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infeccioso), ó que sean declarados por su generador como residuos peligrosos.

En este caso las condiciones de manejo, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición deberían apegarse al Reglamento de Desechos Peligrosos, reglamentado por la EPA, debido a que no existe ninguna norma nacional. El distrito, no cuenta en la actualidad con las instalaciones adecuadas ni el personal capacitado para el manejo adecuado de este tipo de residuos, por lo tanto no puede asumir aún esta responsabilidad.

4.2.3.2 Lodos no peligrosos

En este caso hay tres posibilidades:

4.2.3.2.1 Lodos asimilables como biosólidos

Son lodos que por sus características equivalen a los provenientes de plantas de tratamiento de agua residual doméstica o municipal, de acuerdo con el apartado 503 de la EPA. Si estos lodos cumplen con los requisitos, con o sin acondicionamiento o tratamiento alguno, para su empleo como mejoradores de suelos en cuanto a su contenido de patógenos, contenido de contaminantes (principalmente de metales) y de control de atracción de vectores podrán ser dispuestos como mejoradores de suelos en áreas de rehabilitación, suelos erosionados, campos forestales o zonas de cultivo

Se recomienda seguir los lineamientos del apartado 503 de la EPA con la modificación de los criterios microbiológicos atendiendo lo señalado en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Criterios microbiológicos para biosólidos Clase A

Parámetro	Concentración
Coliformes fecales	<1000 NMP/g ST
Huevos de Helmintos	<5HE viable/g
Salmonella spp.	<100 NMP/g

Tabla 4. Criterios microbiológicos para biosólidos Clase B

Parámetro	Concentración
Coliformes fecales	Media Geométrica de 7 muestras < o igual a $2x\ 10^6$ NMP o UFC/g
Huevos de Helmintos	15/g
Salmonella spp	10^3/g

* Una vez demostrado que corresponde al valor de coliformes fecales CF establecido no es necesario medirlos. NMP: número más probable; UFC: unidades formadoras de colonias; ST: sólidos totales

4.2.3.2.2 Lodos asimilables como residuo urbano

Lodos con características similares a los municipales, con o sin tratamiento alguno, así como aquellos que no clasifican dentro de los biosólidos, pero que tampoco se consideran peligrosos, y que por sus condiciones los generadores no desean darles el tratamiento requerido para su transformación en biosólidos, o bien, no se interesan en participar en las acciones necesarias para su revalorización

4.2.3.2.3 Lodos no asimilables como residuos urbanos

Aquellos que no llegan a cumplir las características de biosólidos ni de residuos urbanos, pero tampoco son clasificados como residuos peligrosos. En esta clasificación también están incluidos los residuos peligrosos que han sido sometidos a un tratamiento y por lo tanto han dejado de serlo.

4.2.4 Según Norma EPA 40 CFR

El lodo resultante de los procesos – *(PFRP) Process to Further Reduce Pathogens* – y en – *(PSRP) Process to Significanty Reduce Pathogens* -, son denominados de tipo A y B respectivamente, en las condiciones establecidas por la norma.

Tabla 5. Limites para patógenos en los dos tipos de lodo conforme a la norma EPA

Microorganismo	Lodo clase A	Lodo clase B
Coliformes fecales	< 10^3/g PS	< 10^6/g PS en 7 muestras por dos sem
Salmonella spp.	< 3 NMP/4 g PS	No especificado
Huevos de helmintos vivos	< 1/4 g PS	No especificado

Fuente: EPA 1992

4.2.5 Según LUDUVICE

Existen básicamente tres tipos de lodo orgánico: bruto, activado y digerido, cada uno con características y propiedades distintas (LUDUVICE, 1996).

Lodo bruto: Es producido en los decantadores primarios y por su aspecto pegajoso y de olor fuerte es fácilmente fermentable.

Lodo activado: Es producido en reactores biológicos que utilizan el proceso biológico de tratamiento, tiene apariencia floculenta, coloración marrón y olor poco fuerte cuando es fresco.

Lodo digerido: Es aquel que sufre proceso de estabilización biológica, obtenida por biodigestores anaerobios o aeróbios. El lodo digerido anaeróbicamente es de color marrón oscuro. Cuando son bien digeridos, no producen olor fuerte.

El biosólido producido por cualquiera de estos procesos puede contener agentes tóxicos y patógenos, haciendo de este un producto que puede poner en riesgo la salud humana y animal.

4.3 ASPECTOS SANITARIOS

Dentro de los organismos patógenos cuatro grupos pueden ser encontrados: hongos, virus, bacterias y parásitos. La cantidad de patógenos presentes en el lodo es variable y depende del tipo de efluente y del proceso de tratamiento al cual fue sometido.

La Agencia Ambiental Americana (EPA) relaciona varios procesos de tratamiento destinados a remover patógenos. Los procesos de tratamiento del lodo son clasificados, en cuanto a la capacidad de remoción de los organismos patógenos en – *Process to Further Reduce Pathogens (PFRP)* – y *en –Process to Significanty Reduce Pathogens (PSRP)* -.

Los siete procesos reconocidos por la EPA como PFRP son:

1. COMPOSTAJE: se utiliza el método Within – Vessel o en celdas estáticas aireadas, la temperatura de mezcla es mantenida a 55 °C por 13 días o más.

2. SECADO POR CALENTAMIENTO: el lodo es secado, por contacto directo o indirecto, por gases calientes, deshidratando al 10% de humedad o menos.

3. TRATAMIENTO TERMICO: el lodo líquido es calentado a temperaturas de 180°C o más, por 30 minutos.

4. DIGESTION AEROBIA TERMOFILICA: el lodo es agitado, con aire u oxígeno, para mantener las condiciones aeróbias, a un tiempo medio de permanencia de 10 días, entre 55°C y 60°C.

5. RADIACION CON RAYOS BETA: el lodo es irradiado con rayos beta, en ambiente climatizado a temperatura de 20°C.

6. RADIACION CON RAYOS GAMA: el lodo es irradiado con isótopos de cobalto 60 y Cesio 137, en ambiente climatizado a temperatura de 20°C.

7. PASTEURIZACION: la temperatura del lodo es mantenida a 70°C o superior, durante 30 minutos o más.

El lodo resultante de estos procesos de tratamiento, es denominado tipo A, en las condiciones establecidas. Este contiene bacterias patógenas, virus y huevos vivos de helmintos reducidos a niveles detectables.

El lodo generado por los procesos arriba mencionados, puede ser aplicado en el suelo para uso agrícola sin restricciones. Este lodo debe ser monitoreado con los parámetros de: huevos de helminto vivos, coliformes fecales, salmonella spp.

Los cinco procesos reconocidos por la EPA como PSRP son:

1. DIGESTION AERÓBIA: el lodo es agitado con aire u oxígeno para mantener las condiciones aeróbias, el tiempo medio de retención es de 40 días a 20°C y de 60 días a 15°C.

2. DIGESTION ANAEROBIA: es realizada en la ausencia de oxígeno con un tiempo medio de retención de 15 días, entre 35°C a 55°C y de 60 días a 20°C.

3. SECADO AL AIRE: El lodo es secado en un patio de arena, base pavimentada o no, mínimo durante tres meses. durante dos de los tres meses la temperatura media diaria ambiente está debajo de O °C.

4. COMPOSTAJE: se utiliza el método Within – Vessel; de celdas estáticas aireadas o Windrow, la temperatura del lodo es de 40°C o superior, y es mantenida a 40 °C o superior por cinco días. Por cuatro horas o durante un periodo de cinco días, la temperatura del compost excede los 55 °C.

5. CAL: la cal se adiciona al lodo para elevar el pH a 12 después de dos horas de contacto.

El lodo generado por estos procesos, es clasificado como tipo B, en las condiciones especificas de la EPA 40.

Los procesos de tratamiento reducen la cantidad de coliformes fecales hasta menos de dos millones ($2*10^6$) CFU o NMP por gramo de sólidos totales (base seca) y reduce la cantidad de Salmonella y virus a un factor de 10 (Tabla 5).

Los lodos de tipo B son utilizados, con exigencias de tiempos después de su aplicación, por ejemplo: 14 meses para los cultivos cuya parte de la cosecha tenga contacto con el lodo, 20 meses para aquellos cuyas partes de la cosecha queden enterradas en el suelo, 30 días para aquellos cuyas partes de la cosecha no tocan el suelo con lodo.

4.3.1 Bacterias

* **Salmonella spp.**

Entre los microorganismos patógenos más comunes se encuentran las bacterias de género Salmonella spp. Su incidencia se ha ido tornando cada vez más en todo el mundo, constituyéndose en un importante problema de salud pública.

La dosis mínima de infección (DMI) para humanos puede variar de 10^5 hasta 10^8 para Salmonella spp. La DMI es generalmente considerada como la dosis que afectará al 50% de la población, siendo también conocida como la dosis media infectiva (DI_{50}), (Reciclagem de biossolidos, 1999).

Kowal describe que la Salmonella spp., y la Shigella spp., representan probablemente el mayor riesgo de infección toda vez que estas son las bacterias patógenas más encontradas en el agua residual.

* **Coliformes fecales**

Este grupo incluye los bacilos gram – negativos aeróbios o anaerobios facultativos, el principal componente de este grupo es la *Escherichia coli*.

La presencia de coliformes fecales indica riesgo potencial de presencia de organismos patógenos. Justificando así el uso de este, como indicador en los estudios de saneamiento de lodo.

4.3.1.1 Sobrevivencia en el suelo de las bacterias de lodo

Los factores que favorecen y afectan la sobrevivencia de bacterias en el suelo son:

* Humedad

Suelos húmedos y períodos de precipitación aumentan el tiempo de sobrevivencia.

* Capacidad de retención de agua

El tiempo de sobrevivencia es menor en suelos arenosos, que en aquellos capaces de retener la humedad.

* Temperatura

El tiempo de sobrevivencia es mayor en bajas temperaturas, como por ejemplo el invierno.

* pH

El tiempo de sobrevivencia es menor en suelos ácidos (pH 3 a 5) que en suelos neutros o alcalinos. El pH solo tiene efecto sobre la eficiencia de los nutrientes.

* Luz solar

El tiempo de sobrevivencia es menor en la superficie, probablemente debido a la deshidratación, temperaturas altas y por la radiación de rayos ultravioleta.

* Materia orgánica

Aumenta el tiempo de sobrevivencia de microorganismos en el suelo, por su capacidad de retener humedad. La recuperación de algunas bacterias, como Salmonella spp., puede ocurrir en la presencia de materia orgánica abundante. En suelos con alto contenido orgánico las condiciones anaerobias pueden aumentar la sobrevivencia de *Eschericia coli*.

* Microorganismos del suelo

La competencia entre los microorganismos endémicos del suelo disminuyen el tiempo de sobrevivencia de las bacterias. Los protozoarios de vida libre son considerados importantes depredadores de coliformes. Bacterias entéricas aplicadas en el suelo estéril sobreviven más que aquellas aplicadas en el suelo no estéril.

4.3.2 Helmintos y Protozoarios

Dentro de este grupo están incluidos los huevos de helminto y protozoarios parásitos.

Para el ciclo evolutivo de los huevos cinco condiciones básicas son necesarias: oxigeno, humedad, temperatura, radiación solar y pH del suelo.

Los huevos larvados de helmintos son infectantes para el hombre y para los animales por la ingestión de agua o alimentos contaminados con estos.

La presencia de parásitos, en el lodo, ha sido investigado en diferentes países, principalmente en los Estados Unidos y en países de Europa. En estos países el lodo es utilizado como abono orgánico en la agricultura. Tabla 6.

Tabla 6. Número de huevos helmintos presentes en el lodo de diferentes partes del mundo

PAÍS	ASCARIS	TOXOCARA	HYMENOLEPIS	TENIA
Francia [a]	67	60	12	37
Francia [a]	380	140	-	1020
Francia [a]	151	40	-	120
Gran Bretaña [b]	3 – 85	-	-	0 – 1
Gran Bretaña [c]	21 – 167	28 – 64	1 – 5	1 – 104
USA [a]	960	70	-	-
USA [a]	$1.4 * 10^5$	$2.8 * 10^4$	-	$2 * 10^3$

Fuente: STIEN, 1989 a= num. de huevos/100g MS; b= num. de huevos/l; c= num. de huevos/muestra

4.4 PRODUCCION DE LODOS

4.4.1 Factores que afectan la producción de lodo en los sistemas de tratamiento

4.4.1.1 Carga Orgánica

La cantidad de sólidos volátiles está directamente ligada a la cantidad de lodo producido. Efluentes con mayor carga orgánica generan mayor cantidad de lodo. Esta observación es importante al considerar que las concentraciones de DBO y DQO de las aguas residuales no varían mucho.

4.4.1.2 Tipo de tratamiento utilizado

La tecnología de tratamiento de aguas residuales utilizada tiene influencia directa en la cantidad de lodo producido

4.4.1.3 Eficiencia del sistema de tratamiento

Cuanto mejor es la eficiencia del sistema de tratamiento y la calidad de agua tratada, mayor será la producción de lodo. Existe por lo tanto una relación directa entre las calidades de afluente tratado y la producción de lodo.

Otro aspecto ligado al proceso de tratamiento que influye en la producción de lodo, es la eficiencia del proceso de pretratamiento, principalmente si el efluente contiene altos contenidos de arena y otros materiales minerales. Cabe anotar que en nuestro caso, la mayor producción de lodo se da en el

tratamiento como tal (DAFF), debido a que esta es la única unidad de sedimentación existente.

4.4.1.4 Tipo de proceso de lodo

El factor más importante respecto a los volúmenes de lodo es su contenido de sólidos. La figura 35, muestra una variación del volumen ocupado por una muestra de lodo en función de su contenido de agua. Se puede observar por la curva que cuando el contenido de sólidos es muy bajo, una pequeña variación de este contenido implica una disminución del volumen total. Esto explica el interés de construir espesadores, que son capaces de elevar el contenido de sólidos de un lodo de 1 % a 2.5 %. Esta pequeña elevación en la cantidad de sólidos implica una reducción de aproximadamente 50% de volumen a ser dispuesto.

4.4.2 Producción de lodos

Para estimar la producción de lodos generados en las plantas de tratamiento, se tomó en cuenta la información obtenida en las encuestas realizadas a cada una de las empresas, según estos datos la producción promedio de lodo es de 3.46 toneladas/día por empresa (tabla 7).

Para verificar la producción de lodo por empresa se acudió a la siguiente fórmula, adoptada de Metcalf e Eddy, 1991.

$$P_{Total} = P_{lodosDBO_5elim} + P_{lodosSST}$$

Entonces:

$$P_{lodosDBO_5elim} = Q \times []_{DBO_5} \times E$$

Donde:

$P_{lodosDBO5}$ = Producción de lodos por DBO_5 eliminada

Q = Caudal de la Planta de tratamiento (Promedio)

$[]_{DBO5}$ = Concentración de DBO_5 (Asumida contaminación teórica)

E = Eficiencia de la planta de tratamiento (sistema DAFF)

$$P_{lodosDBO_5elim} = 20\,m^3/dia \times \frac{24}{1000} \times 4000\,mg/lt \times 0.9$$

$$P_{lodosDBO_5elim} = 1728\,kg/dia$$

$$P_{lodosSST} = Q \times []_{SST} \times E$$

Donde:

$[]_{SST}$ = Concentración de Sólidos Suspendidos Totales (Asumida contaminación teórica).

$$P_{lodosSST} = 20\,m^3/dia \times \frac{24}{1000} \times 2190\,mg/lt \times 0.9$$

$$P_{lodosSST} = 946.08\, kg/dia$$

$$P_{Total} = P_{lodosDBO_5elim} + P_{lodosSST}$$

$$P_{Total} = 1728 + 946.08 \qquad P_{Total} = 2674.08 kg/dia$$

Para calcular el volumen de lodos, se toma en cuenta la humedad, que por resultados de la caracterización realizada en este proyecto es del 20%.

$$V_{lodos} = \frac{2674.08}{(1 - 0.20)}$$

$$V_{lodos} = 3346\, kg/dia \qquad V_{lodos} = 3.34\, ton/dia$$

La producción de lodos según los datos de la encuesta y la estimada en los cálculos, son muy aproximados, por lo tanto los siguientes análisis se realizarán con 3.4 ton/día por empresa.

4.4.3 Producción per - capita de lodo por pollo

Para el cálculo de la producción per – capita por pollo, se tuvo en cuenta la información suministrada por las empresas mencionadas en la siguiente tabla, durante la encuesta.

Tabla 7. Producción per - capita de lodo por pollo

Empresa	Pollos sacrificados (pollos/día)	Producción de lodos (Ton/día)	Producción per – capita (Kg lodo/pollo)
N° 1	18000	4	0.22
N° 2	25000	4	0.16
N° 3	7300	3	0.41
N° 4	16000	4	0.25
N° 6	34000	2	0.05
N° 8	25000	2	0.08
N° 9	14000	5	0.35
N° 10	18000	2.2	0.12
N° 12	30000	5	0.16
Promedio			**0.20**

Fuente: autor

El promedio obtenido es de 0.20 Kg de lodo por pollo, este valor puede ser útil en el montaje de nuevos beneficiaderos y estimar la producción de lodos teniendo en cuenta la cantidad de pollos sacrificados.

4.4.4 Costo de producción del lodo

Para encontrar el costo de los lodos hay que tener en cuenta el costo de operación, montaje y funcionamiento de la planta de tratamiento de agua residual.

A continuación se calculará el costo de lodo por empresa, debido a que los costos de operación, montaje y funcionamiento son muy diferentes, esto por la variedad que se presenta en las operaciones y unidades en cada una de las plantas.

Para este cálculo, se asumirá una vida útil de 15 años para las plantas de tratamiento, es importante resaltar que no se amortizó el costo a futuro.

A continuación se desarrollarán los cálculos necesarios para encontrar el costo de producción de lodos, se tomará como ejemplo la empresa N° 2 y luego se establecerán todos los datos por empresa en la tabla 8.

Costo montaje de la Planta de tratamiento = $507’118.300

Costo de operación y funcionamiento mensual = $5’400.000

$$C_{prod} = C_{PTAR} + C_{oper}$$

Donde:

C_{Prod} = Costo de producción del lodo

C_{PTAR} = Costo del montaje de la planta de tratamiento en un mes

C_{Oper} = costo de operación y funcionamiento de la planta de tratamiento

$$C_{PTAR} = \frac{507'118.300\,pesos}{(15años \times 12meses)}$$

$$C_{PTAR} = 2'817.323\,pesos/mes$$

$$C_{prod} = 2'817.323\,pesos/mes + 5'400.000\,pesos/mes$$

$$C_{prod} = 8'217.323\, pesos/mes$$

Por lo tanto, el costo de los lodos en pesos por tonelada será:

$$C_{prod} = \frac{273910\, pesos/dia}{4\, ton/dia}$$

$$C_{prod} = 68477.5\, pesos/ton$$

Siendo 4 toneladas, la producción de lodos diaria para la empresa 2, teniendo en cuenta la información de la tabla 7.

En la tabla 8, se relaciona el costo del lodo por cada una de las empresas, siguiendo el procedimiento anterior, que sirve de guía para los demás cálculos. Se cuenta con las empresas mencionadas en la siguiente tabla, ya que estas colaboraron con la información que se requería para realizarlos.

Tabla 8. Costo del lodo para cada una de las empresas

Empresa	**Costo PTAR** (Millones de Pesos)	**Costo de Operación** (Millones de pesos)	**Costo del lodo** (Pesos/ton)
N° 2	507.11	5.4	68477
N° 4	150	3	31944
N° 6	280	6.8	139259
N° 9	84	1.8	15111
N° 10	1262	9.5	250168

Fuente: autor, PTAR = Planta de Tratamiento de Agua Residual

Al observar la tabla 8, se puede mencionar un desfase en los costos de los lodos de las empresas 2 y 6, debido a que la empresa 2 tiene un costo mayor de su planta de tratamiento, se espera que tenga un valor mas alto en el costo de lodos, pero vemos que la empresa 6, que tiene valor menor de la planta de tratamiento, presenta mayores costos de lodo que la 2. Por lo tanto la producción de lodos entre estas dos empresas tiene una relación de 1 a 2. Esto se puede justificar con la eficiencia en cada una las plantas, ya que a mayor eficiencia mayor es la producción de lodos.

4.5 CARACTERIZACION DE LODOS

Con el fin de tener un criterio sobre el tipo de lodos que se generan en las plantas de tratamiento y a la vez determinar las posibilidades de manejo de estos residuos, se realizó el muestreo y caracterización de los lodos.

4.5.1 Muestreo de Lodos

Las muestras se tomaron en forma puntual y a la hora de mayor producción de lodos, esto significa que la producción se encontraba en la mitad del proceso.

Las muestras fueron adecuadamente preservadas y enviadas para su análisis correspondiente. Las caracterizaciones fueron realizadas por personal del laboratorio CONOSER.

Los criterios de selección están basados en el proceso de producción, las unidades de tratamiento y los químicos utilizados en esta. Los dos primeros parámetros presentan una gran similitud entre las empresas, mientras que los químicos utilizados en la operación de la planta, muestran variedad en los productos. Por lo tanto la selección para el muestreo, se realiza de acuerdo con la información obtenida por las empresas, en cuanto a los químicos utilizados.

De acuerdo con esto, se escogieron 4 empresas, las cuales trabajan con diferentes químicos. Sin embargo, solo se realizaron 3 muestreos del sector, debido a la limitada disponibilidad de recursos. Los muestreos se realizaron a las empresas 2, 6 y 10, gracias a la colaboración prestada por estas. Tabla 9.

TABLA 9. Químicos utilizados en las empresas caracterizadas

AVICOLA	QUIMICO
Empresa N° 2	Cloruro Férrico Polímero
Empresa N° 6	Hidroxicloruro de Aluminio Polímero cationico en emulsión
Empresa N° 10	Hidroxicloruro de Aluminio Polímero

Fuente: Autor

4.5.2 Caracterización de Lodos

Los parámetros escogidos para realizar la caracterización de los lodos fueron seleccionados según los sistemas de tratamiento que se llevan a cabo en las diferentes empresas y los criterios definidos por la normatividad internacional,

con el fin de clasificar los lodos y por consiguiente realizar el análisis de la composición de estos lodos.

La calidad de los lodos será evaluada a través de la caracterización físico química y microbiologica del residuo.

4.5.2.1 Análisis Físico - Químico

4.5.2.1.1 Valor Agronómico

Los parámetros que deben ser medidos para evaluar el valor fertilizante del lodo son:

* pH
* Fósforo total
* Materia orgánica (DBO, DQO)
* Nitrógeno total

4.5.2.1.2 Contenido de metales pesados

Los elementos a analizar deben ser:

* Cadmio (Cd)
* Cobre (Cu)
* Níquel (Ni)
* Plomo (Pb)
* Zinc (Zn)
* Mercurio (Hg)

* Cromo (Cr)

Los metales pesados tomados para la caracterización fueron Cu y Pb. El resto de elementos no se tomaron en cuenta, debido a la procedencia del agua industrial, en la cual se considera ausencia de estos elementos. Estos se tomaron para poder realizar una comparación con las listas establecidas en las normas internacionales.

4.5.2.1.3 Estabilidad

La caracterización de la estabilidad de la materia orgánica será evaluada por el contenido de sólidos totales (> 29% PS).

4.5.2.2 Análisis Microbiológico

Para fines de caracterización del perfil sanitario del lodo, serán evaluados los siguientes indicadores:

* Coliformes fecales (Parámetro microbiológico)
* Huevos helmintos (Parámetro parasitológico)

4.6 COMPOSICIÓN FÍSICA DE LOS LODOS

La composición de los lodos está en función de la procedencia de las aguas residuales y del sistema de tratamiento empleado. En general tienen materia orgánica total y oxidable, nitrógeno en forma de nitrógeno total, amonio, nitratos, compuestos de fósforo, de potasio, plomo, arsénico, cromo, hierro,

manganeso, cobre, zinc, cadmio y gérmenes patógenos del tipo vibrio, salmonela, shigella y virus.

En el cuadro 2, se muestra una composición típica de los lodos, entendiéndose como lodo secundario aquel que tiene sus componentes en mayor cantidad del reactor biológico, constituidos principalmente por microorganismos y residuos que no fueron removidos en el tratamiento primario.

Cuadro 2. Composición química y propiedades típicas de los lodos

PARÁMETROS	UNIDADES	LODO PRIMARIO		LODO SECUNDARIO	
		Intervalo	Típico	Intervalo	Típico
Sólidos totales	%	2.0 – 8.0	5.0	6.0 – 12.0	10.0
Sólidos volátiles	% de ST	60 – 80	65	30 – 60	40
Nitrógeno	% de ST	1.5 – 4.0	2.5	1.6 – 6.0	3.0
Fósforo	% de ST	0.8 – 2.8	1.6	1.5 – 4.0	2.5
Potasio	% de ST	0 – 1	0.4	0 – 3.0	1.0
PH	-	5.0 – 8.0	6.0	6.5 – 7.5	7.0
Alcalinidad	Mg $CaCO_3$/l	500 - 1500	600	2500 - 3500	3000

Fuente: METCALF y EDDY, 1991

4.7 ANALISIS DE LA COMPOSICION DE LOS LODOS

En el cuadro 3, se muestran los resultados de las caracterizaciones realizadas en este proyecto para las empresas 2, 6 y 10.

Cuadro 3. Resultados de las Caracterizaciones

CRITERIO	PARÁMETRO	UNIDAD	EMPRESA N° 2	EMPRESA N° 6	EMPRESA N° 10
Valor agronómico	PH	Unidades	5.7	6.07	6.26
	DBO_5	mg/g O_2	183	384	197
	DQO	mg/g O_2	316	480	368
	Fósforo total	mg/g P	1.0	0.33	0.75
	Nitrógeno Total	mg/g N	0.112	0.29	0.19
Metales Pesados	Cobre	mg/g Cu	0.101	0.029	0.085
	Plomo	mg/g Pb	0.091	0.224	0.071
Estabilidad	Sólidos Totales	mg/g	291.62	217.03	249.65
Análisis Microbiológico	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	$11 * 10^4$	$24 * 10^2$	$43 * 10^5$
	Huevos de helminto		ND	ND	ND
	Salmonella	P/A	Ausente	Ausente	Ausente

FUENTE: Autor; NMP = num. más probable; P/A = Presencia / Ausencia
ND: No detectado

4.7.1 Clasificación del lodo en estudio

De acuerdo a las diferentes clasificaciones del lodo, mencionadas anteriormente en el numeral 4.2, se puede establecer que el lodo en estudio es sólido (12 – 20%) según su porcentaje de humedad, este valor es relativamente bajo sí tomamos como referencia los establecidos en la figura 35 (50 – 60%), el motivo por el cual estos porcentajes son bajos se debe a la manipulación que tuvieron los lodos en la toma de muestras y la forma de almacenamiento, ya que son comprimidos por su propio peso y de esta forma pierden humedad.

Según el tipo de tratamiento del lodo en estudio, se puede clasificar como lodo primario o lodo bruto según LUDUVICE, debido a que es generado en un sistema de tratamiento primario y que presenta problemas de olor.

De acuerdo al análisis de metales pesados que se realizó a las muestras en estudio, se define al lodo como no peligroso. Los valores obtenidos de Cu y Pb comparados con los valores de la tabla 4 Anexo 1 (limites de compuestos químicos establecidos por la EPA para biosólidos que se apliquen al suelo) se encuentran dentro del rango establecido (Tabla 10).

Tabla 10. Comparación norma EPA Vs. muestras

PARAMETRO	**Cu** (mg/Kg)	**Pb** (mg/Kg)
Norma EPA, Tabla 4, Anexo 1	4300	840
Muestra N° 1	29	224
Muestra N° 2	101	91
Muestra N° 3	85	71

Fuente: autor

Teniendo en cuenta los criterios microbiológicos y comparándolos con las tablas 3 y 5 (anexo 1), el lodo es clasificado como un biosólido.

La presencia de los grupos indicadores coliformes fecales y totales y de bacterias patógenas Salmonella spp, fue determinada a través del análisis microbiológico cualitativo y cuantitativo, respectivamente. Al mismo tiempo se determinó pH y humedad en las muestras (Tabla 11).

Tabla 11. Resultados de Salmonella spp. y coliformes totales y fecales

N°	**Fecha de toma**	**pH**	**Humedad** %	**Salmonella spp** P/A	**Coliformes totales** NMP/100 ml	**Coliformes fecales** NMP/100 ml
1	5/10/00	6.07	19	Ausente	$< 24 * 10^6$	$240 * 10^3$
2	5/10/00	5.7	20	Ausente	$11 * 10^4$	$11 * 10^3$
3	6/10/00	6.26	12	Ausente	$43 * 10^5$	$43 * 10^3$

FUENTE: autor, P/A = presencia o ausencia. NMP/100 ml = numero más probable en 100 ml. Anexo 3

Por los análisis de esta tabla se verifica la ausencia de la Salmonella spp. El pH de estas muestras presenta un intervalo entre 5.7 y 6.26.

En cuanto a los coliformes fecales, aunque ninguno de los valores cumple con lo establecido en la tabla 5 del anexo 1, estos pueden ser reducidos por medio de los procesos de estabilización como son la adición de cal y el compostaje.

Al realizar el análisis del parámetro de huevos de Helminto, se encontró la presencia de huevos de Uncinaria, la cual es una clase de estos huevos. Se dice que es no detectable, debido a la lectura piezométrica que se hace sobre estos no arrojo ningún valor, esto sin querer decir que no estén presentes en la muestra. Por lo tanto se puede establecer que los tratamientos de estabilización funcionarían en la eliminación de estos patógenos.

4.7.2 Valor Agronómico

En los parámetros de DBO y DQO, los cuales representan la materia orgánica, se presenta un valor óptimo para el uso en el suelo debido a su alta capacidad de degradación y descomposición.

Los nutrientes en el lodo, representados en los parámetros de Nitrógeno y Fósforo, exponen unos niveles críticos en cuanto a la producción de nutrientes. En este caso sería recomendable la adición de nutrientes para poder lograr un mejor aprovechamiento.

4.7.3 Estabilidad

Se determinó el contenido de Sólidos Totales que varían en un intervalo de 217.03 a 291.62 mg/g, demostrando con esto una similitud entre las muestras.

El contenido de sólidos totales debe ser superior al 29% con relación al peso seco del biosólido para obtener una estabilidad orgánica. Los valores obtenidos en estabilidad orgánica para estas muestras tienen un promedio del 26%, el cual se encuentra cerca de la estabilidad.

Tomando 1000 mg como peso seco del biosólido y el valor de sólidos totales de la empresa N° 2, tenemos el 30% de sólidos totales.

$$291.62\,mg/g \times \frac{1000mg}{100\%} = 29.16\% \cong 30\%$$

Para la empresa N° 6, el contenido de sólidos es de 22%

$$217.03\,mg/g \times \frac{1000mg}{100\%} = 21.70\% \cong 22\%$$

La empresa N° 10, presenta un contenido de sólidos de 25%

$$249.65\,mg/g \times \frac{1000mg}{100\%} = 24.9\% \cong 25\%$$

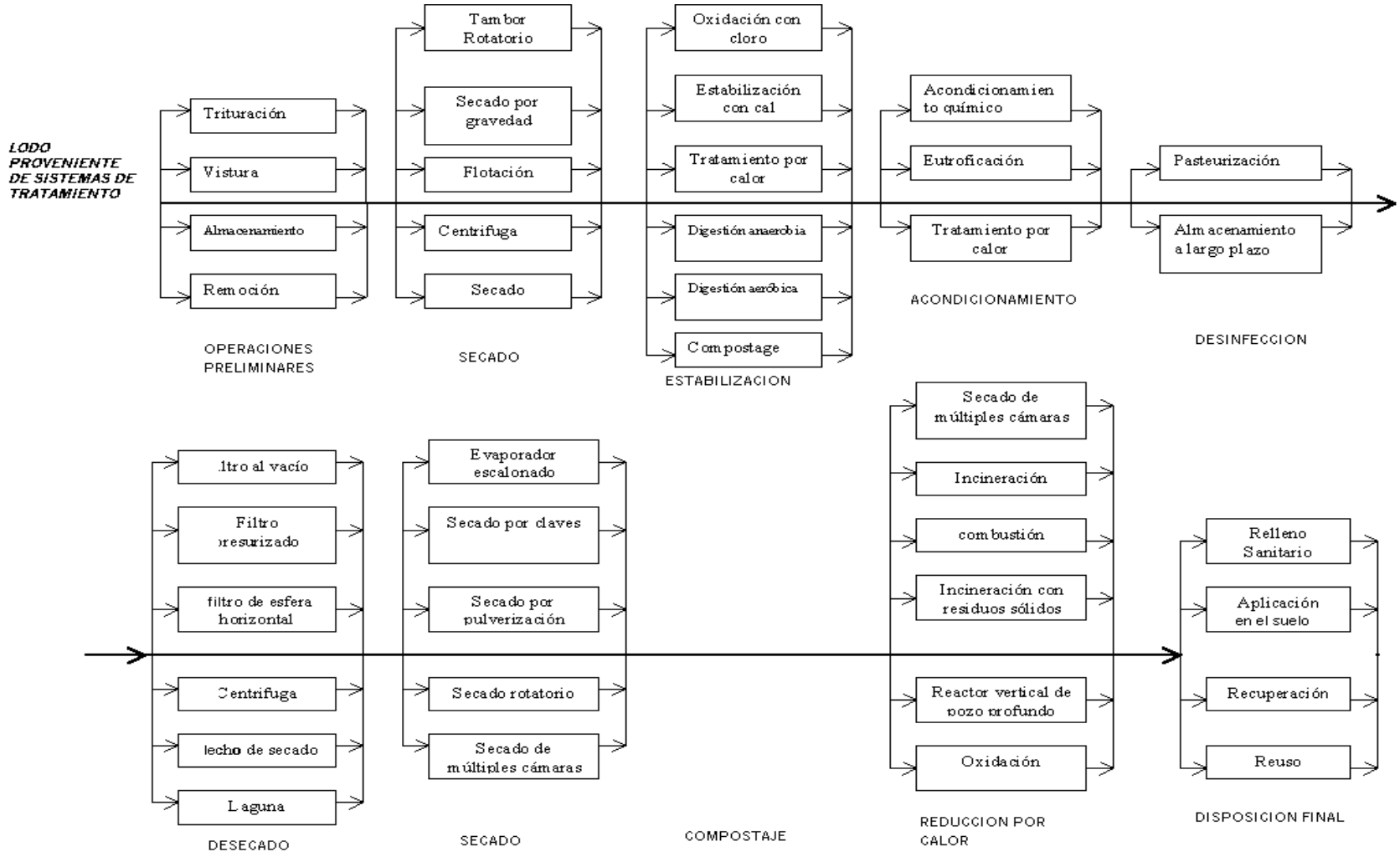
5. DESCRIPCION Y ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO Y/O APROVECHAMIENTO

El tratamiento de los lodos se hace mediante digestión aeróbica, digestión anaerobia, acondicionamiento químico o térmico, espesado y deshidratado. Son un conjunto de operaciones biológicas, químicas y físicas encaminadas a variar sus propiedades y volumen, y obtener un producto que sea aprovechable o fácil de disponer.

Los principales métodos para el procesamiento del lodo, pueden ser resumidos en: pretratamiento, espesado, estabilización, acondicionamiento, desinfección, deshidratación, secado, compostaje, reducción térmica. En la figura 36, se detallan las unidades integrantes de los procesos anteriormente citados.

La disposición en rellenos sanitarios, incineración y uso en los suelos han sido las formas más utilizadas para el destino final de los lodos. Dentro de ellas, la disposición en rellenos sufre cada vez mayores restricciones ambientales, lo que implica mayores costos.

Figura 36. Unidades integrantes de los métodos para el procesamiento del lodo



FUENTE: Metcalf y Eddy, 1991

5.1 METODOS DE TRATAMIENTO

5.1.1 Tratamiento de Estabilización

Una definición posible para el proceso de estabilización de lodo es la "transformación parcial del lodo por agentes químicos, físicos y biológicos de modo que una mayor parte putrescible del lodo es destruida, tornándolo como un producto inocuo"[7].

Algunas alternativas de estabilización son la digestión aeróbia, estabilización química por la adición de cal y compostaje.

La fase de tratamiento generalmente muestra una reducción del valor de patógenos en el lodo; debido al uso del compostaje y el tratamiento con cal.

Algunos parámetros de estabilización señalados por la norma 40 CFR Apartado 503 incluye: olor, reducción de patógenos, reducción de sólidos volátiles, toxicidad, tasa de absorción de O_2, actividad enzimática, DBO, DQO, nitratos, contenido de cenizas, pH, alcalinidad, viscosidad, ATP, DNA y valor calorífico.

De modo general, el lodo estable es aquel que minimiza los riesgos para la salud pública y el medio ambiente, por lo tanto la estabilización del lodo está

[7] Malina. Tratamento e destino final do lodo. Seminario de transferencia de tecnologia. Rio de Janeiro, 1993

directamente ligada a su contenido de microorganismos patógenos y grado de putrescibilidad.

Para que el lodo pueda ser utilizado sin riesgo en la agricultura es necesario completar el proceso de estabilización con la desinfección, cuyo objetivo es eliminar o reducir a niveles aceptables la concentración de microorganismos patógenos.

5.1.1.1 Tratamiento Químico Alcalino

5.1.1.1.1 Inversión total de la alternativa

Para establecer la cantidad de cal que debe ser adicionada al lodo, se consideró la propuesta hecha por HARRY[8], donde formula que para cada tonelada de lodo deben ser adicionados de 65 Kg a 91 Kg de cal viva, con el fin de obtener así una mayor reducción del olor y una mayor seguridad desde el punto de vista sanitario.

Considerando las cantidades mencionadas anteriormente, esto entrega una adición de cal de 2.6 a 3 toneladas diarias.

Para el tratamiento de 46.5 toneladas día de lodo, que representan la producción diaria total de las 14 empresas, el consumo de cal seria de 3 ton/día. Por lo tanto el almacenamiento de la cal es muy alto, lo cual conlleva a

[8] HARRY, J. P. Elaboracion do plano pilato para gestao e reciclagem do lodo da ETE Belém. 1995

la construcción de un silo o bodega de almacenamiento. Teniendo en cuenta los aspectos de espacio y economía, se recomienda la construcción del silo como la mejor opción.

La segunda recomendación, hace énfasis en la seguridad del uso agrícola del lodo y la seguridad y sanidad del producto homogenizado, el cual debe permanecer cubierto por un periodo de 45 a 60 días antes de su aplicación al suelo. Por lo tanto se sugiere la construcción de mínimo dos galpones, para facilidades de gestión operacional y para el almacenamiento del producto final, con las siguientes características: piso de concreto y cobertura con tejas plásticas.

Para el cálculo de la dimensión del galpón de almacenamiento de lodo alcalino se tomó un área aproximada de $1m^2$ de piso por cada dos toneladas de lodo a almacenar. Además se deben tener en cuenta los siguientes datos:

Producción de lodo ≅ 50 ton/día de lodo + cal

Periodo de almacenamiento = 50 días

Entonces:

$$Ag = P * P_{alm} * A_{aprox}$$

Donde:

Ag = Area del galpón

P = Producción diaria de lodo

P_{alm} = Periodo de almacenamiento

A_{aprox} = Area aproximada

$$Ag = \frac{50ton}{dia} * 50dias * \frac{1m^2}{2ton} = 1250m^2$$

La construcción de los dos galpones, teniendo en cuenta la mano de obra y materiales en Bogotá, cuesta aproximadamente de $400.000 a $500.000 pesos el m^2. Esto significa una inversión de construcción de 1.000 millones de pesos.

En la tabla 12, se resumen los costos de instalaciones y equipos necesarios para el tratamiento con cal, con respecto al volumen de lodos que se produce en el sector. Los datos establecidos en la tabla fueron proporcionados en diferentes cotizaciones realizadas por los autores.

Tabla 12. Relación de costos de terreno y maquinaria

INFRAESTRUCTURA / MAQUINARIA	VALOR (millones de pesos)	VIDA UTIL (años)
Sistema de mezcla de Cal	160	15
Deposito de cal (silo)	2.5	15
Obras civiles 50 m^2	20	30
Deposito de lodo tratado 2500m^2	1000	30
Total	**1182**	

Fuente: Autor

Los gastos de energía, terreno, mantenimiento de instalaciones y canales de distribución y mercadeo no se tendrán en cuenta en este proyecto, debido a que este solo contempla la factibilidad técnica, por lo tanto se requiere de continuidad en este proyecto y un estudio de factibilidad económica.

5.1.1.1.2 Análisis

El tratamiento alcalino es un método de estabilización y desinfección química por la adición y mezcla del lodo con altas dosis de cal, elevando el pH lo que inicia la destrucción en mayor parte de los patógenos y reduce mucho el problema de olores.

La cal es uno de los productos alcalinos más económicos y usados en el saneamiento: esta es usada para elevar el pH, remover fósforo en los tratamientos avanzados de efluentes y para estabilizar químicamente el lodo.

Se puede utilizar la cal viva (CaO) o la cal hidratada $(Ca(OH))_2$. La cal viva es más utilizada en grandes cantidades, en cuanto la cal hidratada es manipulada más fácilmente en pequeñas cantidades. La cal viva también libera calor en contacto con el agua, pero al ser mezclada con el lodo, la elevación de la temperatura no es suficiente para eliminar los patógenos.

La eliminación de los patógenos se da por efecto de la elevación del pH del lodo a niveles iguales o superiores a 12.

Para la implementación de este proceso es necesario considerar los siguientes aspectos:

* Características de lodo

La cantidad y el tipo de lodo a ser tratado son fundamentales en el dimensionamiento de las instalaciones. De esta forma, el proceso de deshidratación va a influir directamente en las dimensiones del sistema. La concentración de sólidos en el lodo a ser tratado no solo influye en el volumen final de lodo, sino en la cantidad de cal necesaria para elevar el pH a 12.

* Dosis de cal

La proporción de cal que es mezclada al lodo también influye en el dimensionamiento de la instalación.

* Tiempo de contacto

Teniendo el pH superior a 12 después de la adición de cal, el lodo debe tener un periodo de contacto adecuado para que la reducción de patógenos alcance su nivel óptimo. Por lo tanto es necesario disponer de un área cubierta y con piso impermeable.

5.1.1.1.3 Ventajas

* El tratamiento con cal es eficaz, de bajo costo y puede ser implementado con tecnología simple.

* Los problemas presentados por olores en el manejo de lodos, son reducidos por el tratamiento con cal.

* El espacio requerido para este tratamiento es mínimo comparado con el necesario para hacer compostaje

5.1.1.1.4 Desventajas

* No tiene la misma calidad que el producido por compostaje

* La eficiencia de los nutrientes se afecta, debido a que la eliminación de los patógenos se da por efecto de la elevación del pH a valores de 12 o superiores.

5.1.1.2 Tratamiento por Compostaje

5.1.1.2.1 Inversión total de la alternativa

Teniendo en cuenta que el compostaje permite la combinación con otros residuos orgánicos, se tomó una relación de 1:1.3 para la mezcla de lodo y residuo verde, (Reciclagem de biossolidos, 1999).

Para el desarrollo de este proyecto contamos con 46.5 toneladas diarias de lodo a tratar, teniendo en cuenta la relación descrita anteriormente se necesitarían 60.45 toneladas de residuo verde. Esta relación podría ser mayor, debido a la baja concentración de nutrientes que presenta el lodo en estudio.

Vale la pena resaltar que en la obtención del compost final hay una pérdida del 40% del peso inicial en el proceso de descomposición y un 10% en el proceso de limpieza del perímetro, (Reciclagem de biossolidos, 1999).

Teniendo en cuenta los datos anteriores la materia prima total a compostar sería de 106.95 ton/día. Luego se calcula el 40% y luego el 10%, arrojando así el valor del producto final en 57.75 ton/día.

La máquina trituradora necesaria para la producción de residuo verde triturado está evaluada en el mercado internacional en 115 millones de pesos y el mezclador, el cual se utiliza para homogenizar el lodo con los residuos verdes, tiene un valor de 89 millones de pesos.

Se requiere de un constante volteo del compost, para adquirir una producción de buena calidad, el cual debe realizarse en un patio con piso impermeable y que resista la circulación de maquinaria pesada. El patio con piso de concreto y las características de resistencia está evaluado en 250 mil pesos el m^3. Existen otros materiales que pueden sustituir al concreto, como son el cemento y el asfalto, los cuales proporcionan una permeabilidad y resistencia similar en el suelo, aplicándose de la misma forma, estos materiales son más económicos que el concreto y su valor comercial varía de 150 mil a 200 mil el m^3.

Area ocupada por el residuo en un día:

Primero se calcula el Volumen de la ecuación de densidad.

$$d = \frac{m}{V}$$

Entonces:

$$V = \frac{m}{d}$$

Donde:

d = densidad del residuo (asumido) = 250 Kg/m^3

m = masa del residuo a tratar diario = 106.950 Kg

V = Volumen ocupado por el residuo en un día

$$V = \frac{106.950 Kg}{250\, Kg/m^3} = 427.8 m^3$$

Para el cálculo del área se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = A * h$$

Entonces:

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

Donde:

V = Volumen ocupado por el residuo en un día = 427.8 m^3

h = Altura del residuo apilado (asumido) = 2m

A = Area ocupada por el residuo en un día

$$A = \frac{427.8 m^3}{2m} = 213.9 m^2$$

Area total necesitada para el compostaje:

Los cálculos de área realizados anteriormente se hacen para una sola pila de lodo y residuo verde. Este residuo para ser compostado requiere un tiempo de 2 a 6 meses, por lo tanto el área necesaria para tal fin es mayor.

$$At = t * A$$

Donde:

t = tiempo de compostaje (asumido) = 60 días

A = Area ocupada por el residuo en un día = 213.9 m^2/día

At = Area total

$$At = 60 dias * 213.9 m^2 / dia = 12834 m^2$$

Estos datos son aproximados debido a que no se realiza el diseño de cada una de las pilas para el compostaje y no se tienen las características del terreno. Se toma 0.20 m, que representan el grosor de la capa de concreto. Por lo

tanto el costo total de la impermeabilización del suelo es de 641.7 millones de pesos aproximadamente.

Para el producto ya terminado se procede al tamizaje del compost. Este proceso y la maquinaria necesitada están evaluados en 7.5 millones de pesos.

Fuera del terreno donde se hace el compostaje, es necesario contar con otras áreas para almacenamiento del producto final, instalaciones civiles, vías para maquinaria pesada y parqueo de las mismas.

En la tabla 13, se relaciona el costo total del proceso de compostaje del lodo proveniente de las plantas de tratamiento.

Tabla 13. Relación de equipos y terreno necesario para el compostaje

Infraestructura / Maquinaria	**VALOR** (millones de pesos)	**VIDA UTIL** (años)
Trituradora	3	15
Mezcladora	89	15
Terreno de compost	641.7	30
Terreno obras civiles (100m^2)	450	30
Tamiz	7.5	20
Maquinaria pesada	250	15
Total	1441.2	

Fuente: Autor

5.1.1.2.2 Análisis

El compostaje es un proceso de degradación aeróbia, en la cual la materia orgánica se descompone o se transforma por la acción de los

microorganismos. Este proceso produce gas carbónico y vapor de agua, también un producto orgánico estable, rico en compuestos húmicos.

En el compostaje se da la eliminación de los microorganismos patógenos a través de la temperatura: una intensa actividad biológica de la fase termofílica eleva naturalmente la temperatura de mezcla a más de 60°C, condición que es mantenida por algunos días provocando la muerte de los microorganismos patógenos normalmente presentes en el lodo.

Durante el proceso de compostaje aeróbio, el aparecimiento de microorganismos aeróbios facultativos es activa. En la fase inicial del proceso los más prevalentes son las bacterias mesofilicas. Después una elevación de la temperatura del compost son más predominantes las bacterias termofílicas dando origen a hongos termofílicos los cuales aparecen 5 a 10 días después.

Los microorganismos aeróbios, que utilizan oxígeno, se alimentan de la materia orgánica y desarrollan tejidos celulares a través del nitrógeno, fósforo, carbono y otros nutrientes esenciales. La mayor parte del carbono sirve como fuente de energía a los microorganismos y es liberada en forma de dióxido de carbono. El carbono orgánico puede tener funciones de fuente de energía y carbón celular.

El compostaje se utiliza para inactivar térmicamente los patógenos hasta que el producto final (compost) no coloque en amenaza la salud pública o el medio

ambiente. El alcance de la inactivación térmica de los patógenos depende de la temperatura y el tiempo de exposición.

El compostaje es un proceso aplicado para obtener un producto que pueda ser aplicado en la agricultura. El lodo es secado hasta obtener un porcentaje de humedad del 50%. Este proceso puede llevar varios días o incluso semanas, dependiendo de las características del método que se este aplicando

Según Farrell, citado por HAY[9] evidenció que hay una temperatura en el comienzo de 51°C para la destrucción de huevos de helmintos. Ninguna muerte ocurre por debajo de este valor. Por lo tanto para la inactivación térmica de los patógenos es necesario mantener la temperatura igual o superior a los 55°C.

A. Parámetros Físico químicos para el Compostaje

* Aireación

Siendo un proceso aeróbio, el aire es vital en la actividad microbiana. La aireación también puede ser usada para limitar la temperatura entre los 60°C (ideal para una actividad termofílica), en los sistemas de aireación forzada.

[9] HAY,J. Pathogen destruction and biosolids composting. 1996

Es también un factor importante, ya que contribuye para el aumento de las velocidades de oxidación de material orgánico y para disminución de olores, pues cuando hay falta de aireación el sistema se puede tornar anaerobio.

* Temperatura

El compostaje puede ocurrir tanto en regiones de temperatura termofílica (45 – 60°C) como mesofílica (30 – 45°C).

La temperatura es un factor indicativo de equilibrio biológico, de fácil monitoreo y que refleja la eficiencia del proceso.

La elevación de la temperatura es necesaria para la eliminación de microorganismos patógenos, según PLAT[10] por encima de los 65°C hay un decrecimiento de la actividad biológica. Según HAUG[11] la temperatura de 60°C parece ser la ideal para permitir un nivel más intenso de actividad de los microorganismos.

* Humedad

El agua es fundamental para la vida microbiana. El contenido óptimo de humedad es de 50 a 60%. El ajuste de humedad puede ser hecho por mezcla de componentes.

[10] Plat. High rate composting of wool industry wastes. 1984

[11] HAUG, R. Composting process design criteria. 1986

En la práctica se verifica que la cantidad de humedad depende de la eficiencia de la aireación, de la masa de compostaje, de las características físicas de los residuos y de las características microbiológicas. Altos contenidos (mayores de 65%) hacen que el agua ocupe los espacios vacíos de la masa, impidiendo el paso de oxígeno lo que provocaría zonas anaerobias. Si la cantidad de humedad es menor a 40% una actividad biológica es inhibida.

* Relación C/N

El factor ambiental más critico para el compostaje es la relación C/N. Los microorganismos necesitan de carbono como fuente de energía y de nitrógeno para síntesis de las proteínas. Es por esta razón que la relación C/N es considerada como factor que mejor caracteriza el equilibrio de los sustratos.

Teóricamente la relación C/N óptima de los sustratos debe ser de 30, aunque puede variar de 20 a 70 de acuerdo a la biodegradabilidad del sustrato. Tanto la falta de nitrógeno como de carbono limita la actividad microbiológica. Si la relación C/N es muy baja se puede presentar pérdida de nitrógeno por la volatización de amonio. Si la relación C/N es muy elevada los microorganismos no encontrarán nitrógeno suficiente para la síntesis de proteínas. Como resultado el proceso de compostaje será más lento.

Para la aplicación del compost en el suelo. Es necesario que después de la maduración presente una relación C/N inferior a 20.

5.1.1.2.3 Ventajas

* El compostaje es un método de desinfección eficiente, por su alta eliminación de microorganismos patógenos.

* Permite la combinación con otros residuos orgánicos.

* Puede realizarse con tecnologías de bajo costo

* Su producto final es de alta calidad agronómica.

5.1.1.2.4 Desventajas

* La presencia de virus, bacterias, hongos, huevos de helminto en los lodos, puede presentar una elevada resistencia a los procesos de tratamiento y persistir por largos periodos de tiempo en el suelo.

* Los procesos realizados en este tipo de tratamiento deben ser monitoreados continuamente para asegurar la calidad del lodo.

* Durante el compostaje se presentan algunos factores que afectan la inactivación de los patógenos, estos son: el tipo de residuos, la distribución irregular de temperatura, la mezcla incompleta de los biosólidos y el desarrollo bacteriano.

* El compostaje no es un proceso de esterilización, por lo tanto, los patógenos e indicadores reducidos a bajos niveles durante el proceso, se pueden desarrollar nuevamente.

* Presencia de olores ofensivos

* Debe realizarse control de olores

5.1.2 Deshidratación del Lodo

5.1.2.1 Inversión total de la alternativa

Teniendo en cuenta que contamos con 46 toneladas diarias de lodo, lo más conveniente es hacer la deshidratación por medio de procesos naturales (lechos de secado o lagunas de secado). La inversión de este tipo de tratamiento no se tendrá en cuenta debido a que la mayor parte será destinada para la adquisición de terrenos y adecuación de los mismos, el resto se destinará a mano de obra y maquinaria de esparción de lodo.

5.1.2.2 Análisis

La deshidratación es la reducción del valor de humedad, que puede ser mecánica (filtro prensa, centrífuga, prensa desaguadora continua, etc.) o natural, como los lechos de secado.

A. PROCESOS NATURALES

Lechos de secado: unidades generalmente rectangulares, donde se procesa una reducción de humedad con un drenaje y una evaporación de agua durante el periodo de secado. Se divide en:

- Tanque de almacenamiento
- Drenaje
- Cobertura

Unidades que tienen por objeto deshidratar, por medios naturales, el lodo proveniente de los sistemas de tratamiento. La digestión confiere al lodo una densidad menor que la unitaria. Se explica así una tendencia del material digerido a fluctuar durante el proceso de secado acumulándose en la superficie y permitiendo el desprendimiento del líquido intersticial por la parte inferior. Una malla de drenaje prevista en la parte inferior del sistema permite la retirada de este líquido. Según Van Haandel la cobertura sirve para protección contra las lluvias y heladas (en climas fríos). Al ser cubierto el lecho se abre la oportunidad de usar la energía solar para calentar el lodo durante el secado, reduciendo de esa manera la concentración de agentes patógenos. Esta "pasteurización solar" se torna particularmente importante si el lodo seco es utilizado en la agricultura.

Lagunas de secado: Tienen finalidades y funcionamiento idénticos a los de los lechos de secado. Difieren cuanto a dimensionamiento, detalles constructivos y operación.

B. PROCESOS ARTIFICIALES

Filtros prensa de placas: son filtros de presión, constituidos por placas de hierro entre las cuales se encuentran paños filtrantes.

Filtro prensa de correa: posee dos correas sin fin en movimiento continuo, de las cuales por lo menos una es constituida por una tela filtrante.

Filtros al vacío: el lodo es aspirado de fuera para adentro y queda en un paño filtro, que envuelve un cilindro rotativo, parcialmente inmerso en el lodo.

Decantador centrífugo: separa los sólidos del agua por diferencia de fuerzas centrifugas.

Los procesos artificiales de secado no se tuvieron en cuenta en el estudio económico debido a que no se implementan para las cantidades de lodo que se producen.

5.1.2.3 Ventajas

* No necesita implementar grandes tecnologías, por lo tanto presenta facilidad técnica durante el proceso de deshidratación.

* No necesita invertir en insumos químicos para el secado de los lodos.

* La inversión económica en la adquisición de maquinaria y construcción de infraestructura es baja.

* La reducción del 60% de humedad, hace que facilite el almacenamiento, transporte y disposición final o aprovechamiento del lodo, con el consiguiente ahorro económico

5.1.2.4 Desventajas

* El área para las instalaciones en este tipo de tratamiento son demasiado grandes, debido al tiempo de secado.

* El tiempo de secado depende de la actividad climatológica de la zona.

* Se requiere la construcción de infraestructura para la recolección de la fracción líquida de los lodos, la cual debe ser tratada.

* Estos ocupan muchas veces áreas no siempre disponibles, alimentación de energía eléctrica y adición de polímeros auxiliares en el proceso.

5.1.3 Incineración

5.1.3.1 Inversión total de la alternativa

Para los costos de incineración se tomo como referencia *El Estudio de Impacto Ambiental para la Construcción y Operación de una Planta de Tratamiento de Residuos Industriales Peligrosos y Residuos Patológicos para Santafé de Bogotá*, el cual se encuentra en evaluación por parte de la autoridad ambiental (DAMA).

Esta planta de incineración tiene una capacidad de 2992.9 toneladas por año.

Para el estudio económico se escogió un incinerador con las siguientes características:

Marca	PROINDUL
Modelo	CH – 600
Número de Incineradores	Uno
Número de cámaras	3
Número de cámaras de combustión	1
Número de quemadores	2

Capacidad térmica

1 cámara	1.350.000 BTU/hora
1 cámara	1.265.000 BTU/hora

Volumen de las cámaras

1 cámara	4.21 m^3
2 Cámaras	2.1 m^3

En la Tabla 14 se presenta una lista de los equipos necesarios para la construcción de una planta de incineración.

Tabla 14. Lista de equipos necesarios para el funcionamiento de una Planta de Incineración

Equipos	Costos (Millones de pesos)
Incinerador	135.5
Alimentador automático líquidos	19
Lavador de gases	12.6
Precipitador electroestático	25.8
Montacargas manual	2.6
Manejo de cenizas	2
Total	197.5

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental para la Construcción y Operación de una Planta de Incineración de Residuos Industriales Peligrosos y Residuos Patológicos para Santafé de Bogotá. 2000

En el estudio no se tomó en cuenta el valor del terreno ni la construcción de infraestructura para la planta de incineración.

5.1.3.2 Análisis

La incineración es un método alternativo el cual la mayoría de veces se utiliza para la reducción de los volúmenes de lodo, de esta forma se hace más sencillo el manejo de ellos.

Para la incineración de lodos o residuos es necesario tener en cuenta ciertos requerimientos generales para la localización de la planta.

* Debe estar ubicada en áreas destinadas para uso industrial. Debe evitarse la proximidad a escuelas, hospitales, fábricas de alimentos etc. Para evitar el riesgo causado por explosiones o incendios inherentes a un proceso donde se maneja condiciones de alto riesgo.

* La planta debe estar ubicada lejos de cuerpos de agua, para evitar posibles riesgos de contaminación.

* El tipo de suelo debe ser apto para el uso industrial.

* La planta debe estar acondicionada con sistemas de confinamiento para el manejo de derrames ocasionales.

* El área de localización no debe ser susceptible a inundaciones.

* En lo posible la planta incineradora debería localizarse en cercanías al área industrial generadora de los residuos a incinerar.

La capacidad de la planta incineradora en estudio es insuficiente para la cantidad de lodo generado anualmente en las empresas. El estudio económico generado no se realizó para los volúmenes de producción de lodo, debido a

que no fue posible conseguir las cotizaciones, por no llenar los requisitos exigidos por las empresas que fabrican estos equipos.

5.1.3.3 Ventajas

* Bajos costos de inversión y de mantenimiento, debido a la facilidad de construcción y operación.

* Dependiendo las cualidades del incinerador se podría ampliar el programa a otros sectores industriales.

* Con un poco más de inversión se pueden obtener beneficios energéticos debido al alto poder calorífico que contienen los lodos con altas cargas orgánicas.

* Es una solución interesante para ciudades industrializadas donde las alternativas de disposición final para estos tipos de residuos son escasas.

5.1.3.4 Desventajas

* El cumplimiento con todos los requerimientos generales para localización de la planta.

* Pueden presentarse riesgos en el manejo de residuos y combustibles.

* Se requiere de personal especializado en el manejo de calderas e incineradores.

* Requiere de un cuidadoso monitoreo de los gases generados en el proceso

* Se deben tomar las medidas necesarias para regular las emisiones de gases que se producen en este proceso, las cuales deberán cumplir con la normatividad sobre emisión de gases.

* Presenta un nuevo subproducto, las cenizas (20 a 40% de sólidos), las cuales necesitan de disposición adecuada.

* No representa valor agregado al lodo, ya que este tratamiento no presenta o no ofrece un producto final comerciable.

5.2 METODOS DE APROVECHAMIENTO

5.2.1 Reciclaje Agrícola

La utilización del lodo como abono orgánico ha sido mencionada como una alternativa para el aprovechamiento de este residuo principalmente por su acción como acondicionante de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y por la presencia de materia orgánica, de minerales y de fertilizantes

como el nitrógeno, fósforo y el potasio. El problema que presentan es el contenido en metales pesados y elementos patógenos.

En la aplicación de los lodos hay que evitar los riesgos de la contaminación atmosférica y de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, y evitar los daños directos a los cultivos, evitando la aplicación en aquellos de consumo humano.

5.2.1.1 Inversión total de la alternativa

Esta subdivisión aborda los aspectos económicos del uso agrícola del lodo proveniente de agua residual. El objetivo principal, es evaluar económicamente el lodo generado en las plantas de tratamiento del sector industrial.

En otros países, estudios anteriores muestran la viabilidad económica en el uso del lodo en la silvicultura, floricultura, fruticultura y cultivos anuales en la producción de pasto entre otras, dada la capacidad del uso del suelo. Cabe entonces anotar la viabilidad económica de la utilización por parte de los agricultores.

Este análisis económico se considera como lo más importante para el proceso del reciclaje agrícola del lodo (es necesario utilizar el lodo como un insumo agrícola), sin embargo no se tendrán en cuenta aspectos económicos de terreno e instalación debido a que no es el fin de este proyecto.

Actualmente la producción de lodo en las industrias en estudio esta alrededor de 46.5 toneladas día. La humedad del lodo se encuentra del 12% al 20%, por lo tanto no se presentará el proceso del secado.

En el cuadro 4 y la figura 37, se muestra un comparativo del costo total del tratamiento de lodo por adición de cal y compostaje para las condiciones ya expuestas. La calidad agronómica de los dos productos finales es diferente. Este aspecto de la calidad no fue considerado en la siguiente tabla debido a que se tendría que hacer un estudio piloto para poder determinar los valores agronómicos en una determinada región.

Cuadro 4. Comparación de costos entre tratamientos

Costo (millones de pesos)	**Alcalinización**	**Compostaje**
	1182	2841.6

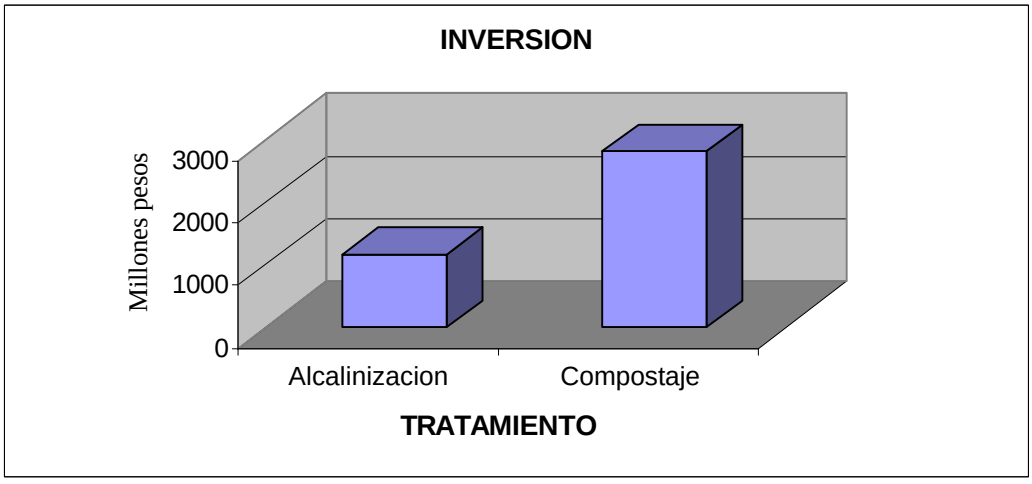


Figura 37. Comparación de costos

El costo de transporte es un parámetro importante en la viabilidad económica para el uso agrícola del lodo. En Bogotá, los costos de transporte del lodo oscilan entre $3500 y $5000 el Km por cada 5 toneladas. Normalmente el transporte de este tipo de material se hace en volquetas o camiones con esta capacidad. El tipo de vehículo es otro factor que altera significativamente el costo unitario del transporte de lodo, pero esta variable no se va a tener en cuenta para el estudio.

En la Tabla 15 se indica la relación inversa que ocurre en el transporte, teniendo en cuenta la distancia a transportar, los datos de transporte fueron obtenidos directamente con los transportadores.

Tabla 15. Costo de transporte

Distancia (Km)	**Costo** (Pesos)
10	40000
20	46000
30	52000
40	58000
50	65000
100	98000
150	135000
200	210000

Fuente: Autor

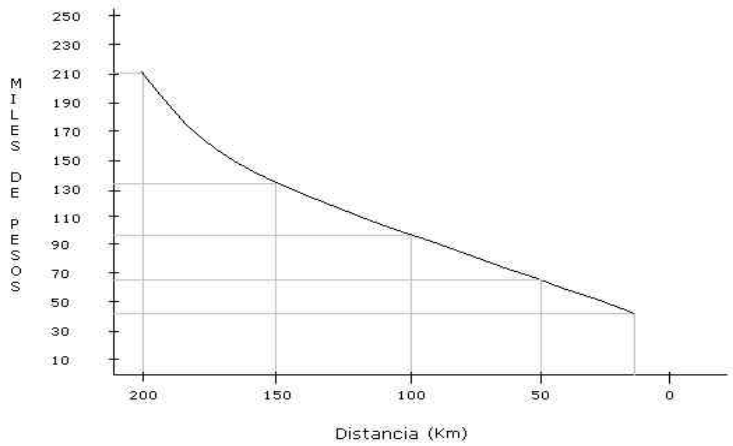


Figura 38. Costo de transporte por distancia recorrida

5.2.1.2 Análisis

5.2.1.2.1 Criterios para el reciclaje agrícola

La cantidad de lodo a ser adicionada a una siembra agrícola deberá ser definida en función de la recomendación de nitrógeno, del poder de neutralización del lodo y de la acumulación de metales pesados permitida en el suelo. La tasa de aplicación definitiva deberá ser la menor de las tres.

- La tasa de nitrógeno disponible en el primer año debe ser del 50% del valor total de nitrógeno presente en el biosólido.
- La tasa de aplicación no podrá elevar el pH del suelo a niveles superiores a 7.5
- La tasa de aplicación no podrá exceder el aporte de 50 toneladas secas de biosólido en un tiempo de 10 años.

Para la actividad de recuperación de áreas degradas, la tasa de aplicación del biosólido no podrá sobrepasar de 100 toneladas de materia seca.

Existen una serie de recomendaciones en los países de la Unión Europea respecto a la utilización de lodos, y que consiste en:

* No utilizarlos para productos hortícolas y frutícolas de consumo, salvo que se hayan higienizado y enterrado en el suelo antes de la siembra.

* No aplicar en pastizales o suelos arables desde principios de año hasta la recogida de la cosecha.

* No aplicar en tierras de pastoreo, salvo si han sido enterrados en el suelo antes de la siembra, pero impidiendo el pastoreo del ganado hasta transcurridos seis meses.

En cuanto a los gérmenes patógenos contenidos en los lodos, los virus son los que tienen una mayor supervivencia y presentan resistencia a los tratamientos usuales. Las bacterias del genero vibrio y los quistes de protozoos viven solo algunos días. La supervivencia, en general, para los gérmenes patógenos es mayor en los lodos que en el suelo y en los cultivos.

El uso agrícola propiamente dicho necesita de parámetros básicos de desempeño agronómico del lodo como fertilizante y las condiciones de seguridad ambiental y sanitaria. Para eso todo el proceso necesita de monitoreo ambiental dentro de criterios seguros, económicos y agronómicamente interesantes.

Es importante no alterar los suelos, ya que estos pueden verse afectados por las altas concentraciones de materia orgánica contenidas en los lodos, debiendo tener en cuenta la composición del suelo.

5.2.1.3 Ventajas

* El reciclaje agrícola contribuye en el ciclo ecológico de los nutrientes minerales, colocando a disposición del agricultor un producto de bajo costo y excelentes calidades agronómicas.

* Los impactos ambientales son positivos, en la medida en que la materia orgánica aplicada al suelo, aumenta su resistencia a la erosión y disminuye la necesidad de fertilizantes minerales, lo que significa economía de energía y conservación de recursos naturales.

* Los lodos pueden ser procesados y utilizados para mejorar la calidad de los suelos y como abonos y fertilizantes para cultivos agrícolas, en silvicultura y en zonas forestales afectadas por incendios.

* El reciclaje agrícola es una alternativa interesante debido principalmente: a la baja contaminación del lodo con metales pesados y al interés agronómico de disponer de una fuente de materia orgánica para suelos.

5.2.1.4 Desventajas

* El aprovechamiento de este residuo requiere conocimientos sobre la interacción lodo – suelo – planta.

* Se puede alterar la solubilidad y toxicidad de las plantas debido a que compuestos contenidos en el lodo como materia orgánica y nutrientes esenciales, tales como N, P, K, Ca, Mg, S en forma de óxidos, hidróxidos, carbonatos, sulfatos, pueden sufrir reacciones químicas y biológicas en el suelo.

* Se puede presentar contaminación durante el transporte y la aplicación de los lodos.

* Se puede producir salinización de los suelos.

* Muchos de los problemas sanitarios y de riesgo ambiental se evitan o aminoran cuando los lodos se aplican después de un proceso de compostaje, lo que sucede es que este tratamiento eleva mucho los costos.

5.2.2 Producción Harina de Carne

5.2.2.1 Inversión total de la alternativa

Para obtener una aproximación de lo que costaría el montaje de una planta procesadora de subproductos, se estimará el costo de esta, teniendo en cuenta que no solo trabajara con lodos, sino también con los subproductos de las 14 empresas en estudio.

Los precios de maquinaria y equipos son extraídos del libro “prefactibilidad para el montaje de una industria procesadora de subproductos de origen animal en Cundinamarca”, 1999.

Fuera de las 46.5 toneladas diarias de lodo a tratar, la empresa trabajará con los subproductos cárnicos. Se puede tomar como punto de referencia el índice de desperdicio que se mantiene en los beneficiaderos del 30% con respecto al total de pollos, con el fin de establecer la cantidad generada de subproductos en las 14 empresas. En este caso se puede establecer que la producción diaria total es de 274300 ave/día para las 14 empresas en estudio.

$$MP = \left(P_{subp} \times p \times 0.30\right) + \left(P_{lodos}\right)$$

Donde:

MP = Materia Prima (ton/día)

P_{subp} = Producción diaria de subproductos (ton/día)

p = Peso del pollo (1.8×10^{-3} ton)

P_{lodos} = Producción diaria de lodos (ton/día)

$$MP = \left(274300\, ton/dia \times 1.8 \times 10^{-3}\, ton \times 0.30\right) + \left(46.5\, ton/dia\right)$$

$$MP = 195 ton/dia$$

Con respecto al área de terreno a utilizar para el proyecto, se estima más o menos en 1500m^2, ya que es el área necesaria para la ubicación de la infraestructura, maquinaria y equipos, esto con base en la información obtenida en la visita realiza a la empresa procesadora de subproductos. El costo de construcción y adecuación del área a la infraestructura de la empresa se estima en $450000 el m^2.

En la tabla 16, se muestra la cantidad de maquinaria y equipo necesario para el tratamiento de esta cantidad de materia prima y su costo.

Tabla 16. Maquinaria y equipo necesario para la producción de harina de carne

CANTIDAD	EQUIPO	PRECIO TOTAL (en millones)
4	Básculas	16
	Sistema de transporte de material	18
2	Trituradoras de mandíbula	3
8	Cooker	48
2	Calderas	16
1	Tamiz	7.5
2	Molino de martillo	4.2
5	Tanques de recepción	10
2	Silos de almacenamiento	2.5
4	Vehículos	150
	Area (1500 m^2)	750
	Total	**1009.2**

FUENTE: Prefactibilidad para el montaje de una industria procesadora de subproductos de origen animal en Cundinamarca. CINSET, 1999.

5.2.2.2 Análisis

Después de un proceso de tratamiento, pueden emplearse como materia prima para la producción de piensos animales.

La creación de empresas gestoras de residuos provenientes de la matanza y faenado de animales proporciona ventajas importantes destacándose la minimización del riesgo sanitario ambiental generado por el inadecuado manejo de estos residuos y la valoración de estos mediante el aprovechamiento de los subproductos.

La harina de carne es un producto de alto contenido proteínico utilizado en la fabricación de alimentos balanceados para animales que se obtiene mediante

el uso de procesos de deshidratación e hidrólisis de los subproductos originados en las plantas de sacrificio de animales.

La harina de carne es utilizada en la industria nacional, en la fabricación de alimentos balanceados para animales por su alto contenido en proteínas.

La elaboración de harina de carne contempla las actividades descritas a continuación:

* Recolección y transporte de materia prima

Se realiza la recolección de los subproductos de empresas beneficiadoras de aves: plumas, huesos, vísceras no comestibles, sangre y lodos.

* Recepción y adecuación de la materia prima

La planta cuenta con un área de recepción donde llega el material a procesar; su transporte al área de cocción se realiza mediante un tornillo sinfín. El material duro se descarga y se tritura.

* Cocción

El material recibido se mezcla (plumas, hueso, sangre, vísceras, lodos) con el fin de ajustar los parámetros requeridos por los productores de concentrados, una vez mezclados se transporta la carga al cooker donde se produce la hidrólisis y la deshidratación del material a 120°C.

* Molienda

Una vez sale el material de la etapa de cocción, el producto se enfría y muele en un molino de martillos; por lo general, las harinas provenientes de subproductos animales sufren la oxidación de sus grasas; para evitarlo, el producto es envasado frío y se le agrega un antioxidante, el cual inhibe el poder oxidante de las grasas.

* Empaque

El producto final se empaca en sacos de 50 kilos. Se recomienda su almacenamiento en un lugar ventilado y libre de humedad.

Los siguientes factores son de gran importancia en el momento de analizar el tamaño y la localización de la planta:

* Situación del mercado y de los centros de consumo
* Disponibilidad de materias primas
* Medios de transporte de la materia prima y del producto
* Disponibilidad de servicios e insumos
* Disponibilidad de mano de obra
* Condiciones ambientales y sus efectos sobre el proceso
* Impacto ecológico de la planta

La principal materia prima son los subproductos obtenidos de las empresas de beneficio de aves. La segunda materia prima que requiere el proceso es el

antioxidante que se adiciona al producto para evitar la oxidación de las grasas. Los insumos complementarios serán los reactivos para el análisis del producto y los controles sanitarios.

La industria de harina de carne se ubicará en la zona productora que garantice un suministro constante de materia prima.

Los principales equipos necesarios en la elaboración de harina de carne se mencionan a continuación:

* Báscula
* Sistema de transporte de material (tornillos sinfín)
* Trituradora de mandíbula
* Cooker (acero inoxidable)
* Caldera
* Tamiz
* Molino de martillos
* Tanques de recepción (enchapados en baldosín)
* Silos de almacenamiento (acero inoxidable)

5.2.2.3 Ventajas

* Fuera de los lodos de las plantas de tratamiento de agua residual, también se pueden tratar los subproductos cárnicos generados en las diferentes empresas.

* Los estudios de comercialización para el producto final se hace un poco más sencillo debido a la existencia y experiencia de otras empresas procesadoras existentes.

5.2.2.4 Desventajas

* Vertimientos con altos contenidos de materia orgánica, grasas y sólidos suspendidos, sedimentables y disueltos.

* Gases de combustión provenientes de la caldera

* Emisión de olores provenientes de las etapas de recepción, dosificación de materia prima y cocción.

* Es importante establecer un sistema de control de olores por medio de filtros.

* El valor agregado al lodo es menor debido a que en la actualidad, no se tiene en cuenta este residuo como un subproducto.

* El producto final que se obtiene del uso del lodo

5.3 COMBUSTIBLE

Otra de sus aplicaciones es como combustible, ya que tienen un alto poder calorífico. Solo se conocen algunas experiencias en Estados Unidos y en Europa.

6. EVALUACION DE LAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO

Para realizar la evaluación de las alternativas, se establecieron 3 variables, en las cuales se agrupan los diferentes criterios para la calificación de las alternativas.

Los criterios fueron escogidos de acuerdo a lo expuesto en cada alternativa del capítulo 5, teniendo en cuenta el análisis, las ventajas y las desventajas.

Dentro de las alternativas es importante resaltar, que para cada tratamiento se estableció un aprovechamiento, así por ejemplo, el tratamiento químico alcalino y el compostaje tiene un aprovechamiento agrícola, la deshidratación y la incineración tienen su aprovechamiento en la producción de harina de carne. Cabe anotar que los dos últimos pueden ser destinados a un relleno sanitario, puesto que su porcentaje de humedad ha sido reducido al máximo, sin embargo no se toma este para la evaluación en la matriz, debido a que no representa ningún aprovechamiento técnico, ni económico.

6.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

1. Requisitos en cuanto a las características de calidad para el proceso:

Alta 5

Media 3

Baja 1

2. Dependiendo de las instalaciones requeridas se evalúa de la siguiente manera relacionada con las diferentes alternativas:

Sencilla 5

Media 3

Compleja 1

3. Disposición técnica y mecánica de la maquinaria en el país:

No se requiere maquinaria 5

Maquinaria Nacional 3

Maquinaria Importada 1

4. Se refiere al grado de facilidad de acceso a los diferentes insumos necesitados para la planta de proceso:

Alta 5

Media 3

Nula 1

5. Cantidad de área utilizada por cada una de las alternativas. Esta evaluación se hace teniendo en cuenta la alternativa con menor área y la alternativa con mayor área.

6. Período de tiempo en el cual se encuentra listo el producto final, ya sea para aprovechamiento o disposición final, este periodo de tiempo se medirá en meses:

0 – 1 mes	5
1 – 3 meses	3
3 – 6 meses	1

7. a. (tratamiento) Calidad del producto final con respecto a su aprovechamiento:

Aprovechable	5
Medianamente aprovechable	3
No aprovechable	1

b. (Aprovechamiento) Dependiendo la calidad del producto en el mercado:

Buena	5
Regular	3
Mala	1

8. Dependiendo de los requerimientos técnicos necesarios para la localización del proyecto:

Requerimientos mínimos	5
Requerimientos medios	3
Requerimientos Altos	1

9. Efectos directos en operación

Altos	1
Medios	3
Bajos	5

10. Dependiendo de las tecnologías para la mitigación de impactos:

Tecnologías conocidas y de bajo costo	5
Tecnologías adaptables y de costo medio	3
Tecnologías de punta y alto costo	1

11. Dependiendo de la posible incidencia en la población en el caso que se ubique en terreno urbano:

Alta	1
Media	3
Baja	5

12. Requerimientos de capital

Baja 5

Media 3

Alta 1

13. Dependiendo el mercado y producto final:

Baja 1

Media 3

Alto 5

NA = No Aplica

En el momento de realizar la suma toma el valor de 5, debido a que el aprovechamiento no se ve influenciado por el criterio.

6.2 ANALISIS DE LA MATRIZ

Al observar el total de la calificación, se establece como mejor alternativa de tratamiento para los lodos, la adición de cal, y como alternativa de aprovechamiento el reciclaje agrícola.

Si se toma en cuenta la calificación de cada una de las variables, se puede notar que la deshidratación, adquiere mayor puntaje en la parte técnica, debido a que es más viable que las otras. En las variables ambientales y económicas, el tratamiento alcalino acumula más puntaje.

VARIABLES / ALTERNATIVAS		TECNICAS							AMBIENTALES						ECONOMICAS		TOTAL
		Requisitos como materia prima (1)	Requerimiento infraestructura física (2)	Requerimientos maquinaria (3)	Disponibilidad de insumos (4)	Area ocupada (5)	Tiempo de proceso (6)	Producto final (7)	Requerimientos de ubicación (8)	Efectos directos en operación (9)			Mitigación de los impactos (10)	Incidencia poblacional (11)	Requerimientos de capital (12)	Aprovechamiento económico (13)	
										Geológico	Atmosférico	Hídrico					
Tratamientos	Tratamiento Químico Alcalino	5	3	3	5	1	1	5	3	3	5	5	5	5	3	5	57
	Tratamiento por Compostaje	5	5	3	3	1	1	5	3	3	1	3	5	3	1	5	47
	Deshidratación	3	5	5	5	1	3	3	5	5	3	3	5	5	3	3	52
	Incineración	1	1	3	3	3	5	1	1	5	1	3	1	1	5	1	35
Aprovechamiento	Reciclaje Agrícola	5	5	3	NA*	NA*	5	5	5	NA*	NA*	NA*	NA*	NA*	5	3	74
	Producción Harina de Carne (Alt. Actual)	5	1	3	3	3	5	3	3	5	1	1	3	1	1	5	43

FUENTE: Autor *NA = No Aplica

7. CONCLUSIONES

* El incumplimiento de los vertimientos en el sector de sacrificio de aves, se ha ido corrigiendo a medida que pasa el tiempo, por medio de los sistemas y las plantas de tratamiento de agua residual. Estas plantas en general se encuentran en funcionamiento y cumpliendo con las normas establecidas por la Resolución 1074 de 1997.

* Las operaciones realizadas durante el proceso de sacrifico, se encuentran en un buen nivel competitivo, siendo este sector de gran importancia para el desarrollo del país. Esto se observa en las tecnologías utilizadas en los procesos y en los sistemas implementados para el tratamiento de sus residuos.

* El manejo de lodos provenientes de las plantas de tratamiento es un tema relativamente nuevo, por lo tanto la disposición, clasificación, tratamiento o aprovechamiento de estos residuos, no se realiza adecuadamente en casi ningún sector industrial.

* El lodo de este sector industrial es un biosólido, esto según la clasificación realizada por medio de los parámetros presentados.

* Los lodos pueden ser utilizados para mejorar la calidad de los suelos y procesados como abonos y fertilizantes para cultivos agrícolas, en silvicultura y en zonas forestales afectadas por incendios.

* Si la humedad en los lodos es baja, el volumen de agua es menor, por lo tanto el valor de nutrientes en el lodo es mayor y así mismo su valor financiero.

* La adición de cal y el aprovechamiento agrícola, son las mejores alternativas para el tratamiento y aprovechamiento de los lodos actualmente.

* Actualmente se presenta una gran demanda por tecnologías alternativas para la disposición de residuos y lodos, principalmente en los países en desarrollo. Estas tecnologías deben ser económicamente viables, técnicamente operacionales, socialmente aceptables y una garantía para la protección de la salud pública.

8. RECOMENDACIONES

* Para elegir alguno de los tratamientos y aprovechamientos, es fundamental caracterizar los lodos.

* Los lodos deberán analizarse cada seis meses en la fase de producción. Si surgen cambios en la calidad de las aguas tratadas la frecuencia de los análisis deberá aumentarse.

* Antes de la aplicación de los lodos en el suelo deberá realizarse una evaluación de los suelos.

* Los lodos tratados deberán ser analizados cuando se considere acabado el proceso de tratamiento.

* Realizar un sistema de control y seguimiento de los efectos de la aplicación de los lodos sobre los suelos con fines agrarios.

* En el lugar donde se haga el tratamiento de los lodos, es necesario instalar un silo regulador u otro sistema que permita, en caso de avería poder

llevar los lodos a otros destinos alternativos, dependiendo de las características del lodo.

* Llevar un registro de las cantidades y calidades de todos los lodos generados por fuente. Esto con el fin de dar el primer paso para la implementación de un programa que asegure que los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales sean manejados adecuadamente.

* La autoridad ambiental competente, deberá establecer lo más pronto posible una resolución con el fin de tener un mejor control sobre este tipo de residuos y evitar la mala disposición que se les da en la gran mayoría de las empresas. Esta Resolución deberá centrarse en el almacenamiento, clasificación, tratamiento, aprovechamiento y disposición final.

* Propiciar una mayor aceptación de los productos producidos a partir del lodo generado en plantas de tratamiento de agua residual, por medio de la divulgación de los resultados obtenidos por el uso de estos lodos en la agricultura, tanto productores como consumidores.

* En la implementación de una planta productora de harina de carne, debe establecerse un sistema para el control de olores.

* Usar gas natural para minimizar las emisiones contaminantes, en el tratamiento por incineración, con el fin de evitar un alto contenido de azufre y monóxido de carbono en las emisiones.

* Realizar el mismo tipo de estudio en los diferentes sectores industriales del país, generadores de lodo, con el fin de encontrar su mejor aprovechamiento.

* Es necesario darle continuidad a este trabajo y que se implemente alguna de las alternativas propuestas, para minimizar la cantidad de lodos a disponer.

* Se debe realizar un complemento de este estudio en cuanto a la factibilidad económica, ya que es de gran importancia para hallar el valor agregado a los lodos que se generan en las plantas de tratamiento de agua residual.

BIBLIOGRAFIA

BAUTISTA PAREJO, Carmen. RESIDUOS. Guía técnica - Jurídica.

NODO REGIONAL DE PRODUCCIÓN LIMPIA. Tratamiento de residuos sólidos en empresas del sector avícola. 1ª ed. Bucaramanga, 1999.

DAMA. Valoración del impacto ambiental de la gran industria manufacturera del distrito capital. Bogotá, 1997.

Estudio de impacto ambiental para la construcción y operación de una planta de incineración de residuos industriales peligrosos y residuos patológicos para Bogotá, 2000.

Prefactibilidad para el montaje de una industria procesadora de subproductos de origen animal en Cundinamarca. CINSET, 1999.

BUNDY, Clarence E. La producción avícola.

PEDREÑO, Navarro. Residuos orgánicos.

AUSTIC, Richard E. Producción avícola.

EUSSE ARIAS, Jaime. Aprovechamiento de

MADRID, Vicente A. Aprovechamiento integral de subproductos de matadero. Madrid, 1979.

MADRID, Vicente A. Aprovechamiento de los subproductos cárnicos. Madrid, 1999.

MINISTERIO DE AGRICULTURA. Legislación avícola. Colombia.

DAMA. Estudio de impacto ambiental para la construcción y operación de una planta de tratamiento de residuos industriales peligroso y residuos patológicos para Bogotá. 2000

SANEPAR. Reciclagem de biossolidos. Transformando problemas em soluçoes, 1999.

CEPIS. Ordenanza sobre el manejo de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales no domesticas. Ecuador, 1999.

Seminario internacional de tratamento e disposicao de esgotos sanitarios. Brasilia, 1996.

JORNADAS SOBRE REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS. Gestión y utilización de residuos urbanos para agricultura.

MALINA. Tratamento e destino final do lodo. Seminario de transferencia de tecnologia. Río de Janeiro, 1993.

HARRY, J. P. Elaboracion do plano pilato para gestao e reciclagem do lodo da ete Belem, 1995.

HAY, J. Pathogen destruction and biosolids composting, 1996.

PLAT. high rate composting of wool industry wastes, 1984.

HAUG, R. Composting process design criteria, 1986

Ordenanza para el manejo de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales no domésticas, que comprende el almacenamiento, transporte, tratameinto y disposición final.

Considerando

Que la Constitución Política del Estado, de acuerdo a lo establecido en el inciso 6 del Art. 23 garantiza "el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación".

Que la Ley de Régimen para el Distrito Metropolitano de Quito, según el Art. 3, establece como una de las finalidades del Municipio "la prevención y control de cualquier tipo de contaminación".

Que mediante la aplicación de la Ordenanza Sustitutiva del Capítulo III "para la prevención y control de la contaminación producida por las descargas líquidas y las emisiones al aire de fuentes fijas", del Título V, del Libro II del Código Municipal, existen establecimientos que han adoptado sistemas de depuración o tratamiento de las descargas líquidas no domésticas, generando importantes cantidades de lodos de calidad variable que requieren ser manejados técnicamente

Que el manejo ambientalmente adecuado de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales no está definido en las ordenanzas a la fecha emitidas.

Que la disposición no controlada de los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales puede afectar negativamente el medio ambiente, así como alterar la salud de los humanos y otros seres vivos.

Que es la obligación del Municipio asegurar que la disposición de lodos de plantas de tratamiento no afecte al medio ambiente, ni a sus pobladores.

Que es necesario legislar sobre el manejo, transporte, tratamiento y disposición de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

En uso de las atribuciones que le confiere la Ley de Régimen Municipal, la Ley de Régimen Metropolitano de Quito y las Leyes Pertinentes,

---

Expide

La ordenanza que regula el manejo, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales no domésticas.

Sobre el Ambito de aplicación

Las disposiciones de la presente regulación se aplicarán:

A todas las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, sea como propietarios o representantes legales, cuyas actividades en plantas o bodegas industriales, emplazamientos agropecuarios o agroindustriales, locales de comercio o prestación de servicios, actividades de almacenamiento o comercialización de sustancias químicas en general, produzcan u originen

aguas residuales, las cuales luego de un proceso de depuración en sistemas de tratamiento de aguas residuales, generen lodos.

Sobre el Permiso de Generación

Artículo 1. Queda prohibido a partir de la fecha de emisión de la presente ordenanza operar plantas de tratamiento de aguas residuales no domésticas sin contar con el permiso de generación, otorgado por la unidad administrativa a cargo del medio ambiente.

Artículo 2. Todas las personas naturales o jurídicas sujetas al cumplimiento de esta ordenanza y que dispongan de una planta de tratamiento de aguas residuales en funcionamiento deberán efectuar el registro de la cantidad, frecuencia y calidad de sus lodos ante la unidad administrativa a cargo del medio ambiente, hasta tres meses después de que entre en vigencia la ordenanza respectiva y solicitar el permiso de generación correspondiente. La solicitud de este permiso de generación deberá contar con la siguiente información:

- Presentar el formulario de registro emitido por la unidad administrativa a cargo del medio ambiente.
- Presentar resultados del análisis CRETIB (Corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infeccioso) efectuada por laboratorios calificados sobre una muestra representativa. En caso de no presentar el resultado de algún parámetro del análisis CRETIB, se deberá justificar debidamente ante la unidad administrativa a cargo del medio ambiente.
- Presentar el comprobante de cobro de la tasa por generación efectuado en las oficinas de recaudaciones municipales.
- La unidad administrativa a cargo del medio ambiente otorgará el permiso de generación en un plazo no mayor a un mes después de la solicitud.

En el permiso se emitirá el dictamen de peligrosidad, el cual declara al lodo dentro de una de las categorías establecidas en el presente instrumento.

Artículo 3. Todos los generadores de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales no domésticas deben presentar un plan de contingencias relacionado con el manejo de los mismos, en un plazo no mayor a dos meses a partir de la emisión del permiso de generación.

Artículo 4. Los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales que se encuentre dentro de la lista de la tabla 1 serán considerados como residuos peligrosos a menos que el responsable de su generación presente un estudio completo y detallado realizado por un laboratorio calificado que demuestre lo contrario.

Artículo 5. Las exclusiones de la prueba CRETIB para no ser considerado como residuo peligroso en el extracto ácido, será cuando no excedan las concentraciones establecidas en la tabla 2.

Tabla 2

Condiciones para no considerar los F006 como peligrosos

Parametro	CONCENTRACION (mg/l)
Antimonio	0.10
Arsénico	0.5
Bario	7.6
Berilio	0.01
Cadmio	0.05
Cromo total	0.33
Cianuro* mg/kg	1.8
Plomo	0.15
Mercurio	0.009
Níquel	1.0
Selenio	0.16
Plata	0.30
Talio	0.020
Zinc	70

Excluido para los residuos de las K061 y K062 de los lodos peligrosos

Artículo 6. Las personas naturales o jurídicas sujetas al cumplimiento de esta ordenanza y que inicien la operación de plantas de tratamiento de aguas residuales, a partir de la vigencia de la presente ordenanza, deberán solicitar el permiso de generación correspondiente para la disposición de sus lodos, ante la unidad administrativa a cargo del medio ambiente en un plazo no mayor a 3 meses calendario contados a partir del inicio de la operación de la planta. Para ello seguirán el mismo procedimiento señalado en el artículo 2.

Artículo 7. El permiso de generación emitido por la unidad administrativa a cargo del medio ambiente tendrá vigencia de dos años y para su renovación se deberá presentar una solicitud durante el mes calendario anterior a su fecha de caducidad, adjuntando la información solicitada en el artículo 2.

Artículo 8. Cualquier cambio al proceso industrial de la planta que genere una modificación de la calidad de los lodos deberá informarse a la unidad administrativa a cargo del medio ambiente en un plazo no mayor a un mes, después de efectuado el cambio, adjuntando la información solicitada en el artículo 2.

Sobre la Clasificación de Lodos

Artículo 9. La unidad administrativa a cargo del medio ambiente clasificará dentro del dictamen de peligrosidad a los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, dentro de una de las siguientes categorías:

a) Lodos peligrosos: los que cumplan con una o más de las siguientes condiciones: que se encuentren dentro de la lista de la Tabla 1, del artículo 4 del presente instrumento y/o tengan características peligrosas de acuerdo al análisis CRETIB (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infeccioso), ó que sean declarados por su generador como residuos peligrosos.

b) Lodos no peligrosos: aquellos que no estén dentro de la categoría anterior, y que se establecen en las siguientes subcategorías:

b1) Lodos asimilables como biosólidos aquellos que reúnan por lo menos las condiciones descritas en la tabla 3, ya sea en forma cruda o después de un tratamiento.

Tabla 3

Criterios Microbiológicos para catalogar a un lodo como Biosólido

parametro	concentracion
Coliformes fecales	Media Geométrica de 7 muestras < o igual a $2x10^6$ NMP o UFC/g ST
Huevos de Helmintos	15/g
Salmonella sp	10^3/g

* Una vez demostrado que corresponde al valor de coliformes fecales CF establecido no es necesario medirlos.
NMP: número más probable. UFC: unidades formadoras de colonias. ST:Sólidos totales

b2) Lodos asimilables como residuos urbanos que por su composición, podrían enmarcarse dentro de la subcategoría anterior, sin embargo, los generadores no realizan tratamientos para convertirlos en biosólidos o revalorizarlos.

b3) Lodos no asimilables como residuos urbanos, aquellos que no llegan a cumplir las características de biosólidos ni de residuos urbanos, pero tampoco son clasificados como residuos peligrosos o han sido residuos peligrosos que sometidos a un tratamiento han dejado de serlo.

Sobre el Permiso de Almacenamiento Temporal

Artículo 10. Los lodos catalogados como residuos peligrosos y los lodos catalogados como no peligrosos en función del artículo 9, podrán ser almacenados temporalmente siempre y cuando el sitio de almacenamiento reúna condiciones para operar, sin que se produzca daños a la salud o afecte al medio ambiente, de acuerdo a criterios establecidos por la unidad administrativa a cargo del medio ambiente.

Artículo 11. Se permitirá el almacenamiento temporal de los lodos por un período no mayor a 2 años a partir de la vigencia de la presente ordenanza, el mismo que podrá ser prorrogado por la autoridad competente (o autoridad administrativa a cargo del medio ambiente) por el tiempo que estime conveniente, en función de una evaluación previa del sitio de almacenamiento.

Sobre el Permiso de Transporte

Artículo 12. La unidad administrativa a cargo del medio ambiente, extenderá un permiso de transporte de lodos a las personas naturales o jurídicas que lo soliciten, previo cumplimiento de los requisitos establecidos para el efecto y en coordinación con otras dependencias municipales; el mismo que deberá ser tramitado un mes antes a la primera transportación.

Artículo 13. El transporte de lodos catalogados como peligrosos, deberá cumplir las disposiciones del reglamento nacional para el manejo de residuos tóxicos y peligrosos en su capítulo correspondiente.

Artículo 14. Durante el transporte de los lodos a plantas de tratamiento o sitios de disposición final, no se podrá realizar ninguna manipulación de los lodos que no sea la propia del transporte, a no ser que haya sido declarada y aprobada por la unidad administrativa a cargo del medio ambiente.

Artículo 15. Los vehículos que transporten lodos deberán llevar la identificación correspondiente para la categoría del lodo. La identificación deberá ser realizada con marcas de tipo indeleble, legible, y de un material resistente a la intemperie.

Sobre el tratamiento

Artículo 16. El tratamiento de los lodos catalogados como residuos peligrosos deberá cumplir con lo establecido por el reglamento nacional para la prevención y control de la contaminación por desechos peligrosos.

Artículo 17. El tratamiento de lodos catalogados como residuos no peligrosos para obtener lodos asimilables como biosólidos, deberá cumplir con procedimientos adecuados para obtener las características requeridas por esta categoría.

Sobre el permiso de disposición

Artículo 18. Todo generador de lodos, previo a la disposición final de sus lodos, deberá solicitar el permiso de disposición a la unidad administrativa a cargo del medio ambiente, para lo cual deberá presentar:

- Formulario establecido para el efecto.
- Permiso de generación.
- Comprobante de cobro de la tasa por disposición.

Dentro del permiso de disposición, la unidad administrativa a cargo del medio ambiente, establecerá claramente las condiciones para las cuales se emite el permiso.

Sobre las alternativas de disposición

a) Disposiciones generales

Artículo 19. Todo generador de lodos provenientes del tratamiento de aguas no domésticas, será responsable de los efectos que causen sus lodos durante el manejo, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final, independientemente de los plazos que dure cada operación y de quienes sean los responsables en cada una de ellas.

Artículo 20. Ningún lodo de plantas de tratamiento será admitido en los sitios de disposición final, si es que no cumple con los requisitos establecidos ***por la autoridad competente*** y previa aprobación de la unidad administrativa a cargo del medio ambiente.

Artículo 21. Si se mezcla un lodo no peligroso con: lodos de proceso catalogados como peligrosos y/o lodos de plantas de tratamiento de agua residuales catalogados como peligrosos y/o cualquier otro residuo peligroso, dicha mezcla será catalogada como residuo peligroso.

b) Para los lodos catalogados como residuos peligrosos

Artículo 22. Los lodos catalogados como residuos peligrosos deberán ser depositados en confinamientos controlados que cumplan con los requisitos de un relleno de seguridad ad-hoc y que cuenten con personal técnico capacitado para la adecuada operación del sitio.

c) Para los lodos procesados como biosólidos

Artículo 23. Las opciones de disposición de estos lodos en función de su clasificación, serán:

Como mejoradores de suelos, cuando cumplan con lo señalado en la Tabla 4 con respecto al contenido de metales.

Tabla 4

Límites de compuestos químicos establecidos por la EPA para Biosólidos que se apliquen al suelo. (EPA, 1996)

Parámetro	**mg/kg[a]**
Arsénico	75
Cadmio	85
Cobre	4,300
Mercurio	57
Molibdeno	75
Níquel	420
Plomo	840
Selenio	100
Zinc	7,500

a: Base seca

Sin restricción alguna de aplicación si un lodo cumple los límites de la tabla 4 y las características de la de la tabla 5.

Tabla 5

Criterios microbiológicos para catalogar a un biosólido sin restricción

parametro	concentracion
Coliformes fecales	< 10^3 NMP/g ST
Huevos de Helmintos	< 5 HE / g
Salmonella	< 100 NMP/4g

Artículo 24. Las tasas de aplicación de biosólidos en suelos, se regirán de acuerdo a la tabla 6.

Tabla 6

Tasas de aplicación de biosólidos

Opción de disposición	Período de Disposición	Tasa de aplicación (Ton/Ha)
Uso agrícola	Anual	2 a 60
Forestal	Una vez o de 3 a 5 años	8 a 200
Restauración de suelos	Una vez	6 a 400
Exclusivamente disposición final	Anual	200 a 800

Articulo 25. Los lodos catalogados como biosólidos podrán ser usados sin restricción alguna como capas de cubierta en los rellenos municipales.

d) Para los lodos asimilables a residuos urbanos que no han sido procesados para generar biosólidos

Artículo 26. Cuando los lodos se cataloguen dentro de esta categoría y cumplan con las características de biosólidos, podrán ser aceptados para su disposición en los rellenos municipales, de preferencia en monoceldas. Transcurrido 2 años después de su colocación podrán ser reutilizados como cubierta de las demás celdas del relleno.

e) Lodos no asimilables a residuos urbanos, pero no catalogados como peligrosos

Artículo 27. Estos lodos deberán ser dispuestos en rellenos sanitarios con acceso controlado, sin mezclarlos con los residuos sólidos urbanos y de preferencia en monoceldas de acuerdo a la compatibilidad de los mismos.

Artículo 28. Para todos los lodos dispuestos en terrenos, ya sea en forma superficial o como cubierta de relleno, deberán cumplir con los requisitos para el control de la atracción de vectores que establezca la autoridad competente.

Sobre los Requerimientos de los Sitios de Disposición.

Artículo 29. Los sitios para la disposición final de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, deberán contemplar los siguientes aspectos:

- Cumplir con las disposiciones de uso de suelo establecidos por la Dirección General de Planificación.
- Contar con un Estudio de Impacto Ambiental del sitio, cuyos requisitos serán establecidos en el formulario respectivo, desarrollado por unidad administrativa a cargo del medio ambiente.
- Estratificación geológicamente estables:
- Fallas.- No estar ubicados cerca de fallas geológicas.
- Estabilidad.- no deben estar ubicados en: pendientes no mayores de 65° y alturas de 15m.
- No estar ubicados en zonas sísmicas.

- No debe estar en zonas saturadas de humedad, como pantanos.
- En caso de haber escorrentías superficiales deberá contarse con la infraestructura necesaria para evitar la entrada del agua al sitio.
- Todo sitio de disposición, deberá contar con sistemas de recuperación de gases.
- A menos que la autoridad competente lo permita, no se podrá hacer crecer en el sitio vegetación, cultivos, o bien, dar de pastar a animales.
- El sitio de disposición deberá contar con las adecuaciones técnicas necesarias para evitar contaminar los acuíferos y al suelo.
- El sitio de disposición deberá contar un sistema de colección de lixiviados que deberán ser depurados en el caso de ser necesario.
- Contar con un Plan de Contingencias Ambientales.

Artículo 30. Los sitios para la disposición final de los lodos catalogados como residuos peligrosos, deberán cumplir con los requisitos establecidos en el reglamento nacional en el capítulo respectivo para este tipo de desechos.

Artículo 31. Se deberá restringir el acceso del público a los sitios de disposición final de los lodos catalogados como residuos peligrosos.

Sobre los Requerimientos de Capacitación y de asesoría

Artículo 32. Todo generador tendrá la obligación de prestar asesoría y capacitación a su personal en lo que se refiere a la naturaleza y manejo de los lodos de sus plantas de tratamiento cuando estos sean catalogados como lodo peligroso o de lodos que no llegan a ser asimilables como residuos urbanos, pero tampoco son catalogados como lodos peligrosos

Artículo 33. Todo generador de lodos de plantas de tratamiento catalogados como residuos peligrosos deberán ofrecer al menos una vez a sus trabajadores un curso de capacitación sobre su manejo y dar un curso de actualización anual.

Sobre el Control

Artículo 34. La unidad administrativa a cargo del medio ambiente, controlará el cumplimiento de cada una de las disposiciones de la presente Ordenanza.

Artículo 35. La unidad administrativa a cargo del medio ambiente podrá tomar muestras de los lodos generados por el tratamiento de aguas residuales no domésticas, sin previa notificación, con su personal debidamente autorizado y acreditado.

Artículo 36. El generador, el transportista y la empresa a cargo de la operación del sitio de disposición, están obligados a permitir la realización de las actividades de control, sin previa notificación, al personal debidamente autorizado y acreditado por la unidad administrativa a cargo del medio ambiente, a fin de que se verifique el cumplimiento de las disposiciones de la presente Ordenanza.

Sobre las Infracciones

Artículo 37. Se consideran infracciones a las disposiciones de ésta Ordenanza, las que se determinan a continuación:

a. Operar la planta de tratamiento de aguas residuales no domésticas sin el permiso de generación correspondiente.

b. Presentar datos falsos de cantidad y calidad de lodos en el registro de acuerdo al artículo 2 de la presente Ordenanza.
c. No presentar el plan de contingencias, ó hacerlo fuera del plazo establecido.
d. No informar a la unidad administrativa a cargo del medio ambiente los cambios en los procesos industriales que modifiquen la calidad del lodo.
e. Almacenar temporalmente los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales no domésticas sin contar con el permiso respectivo.
f. No renovar el permiso de almacenamiento temporal después de la caducidad del mismo.
g. Transportar lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales no domésticas, sin contar con el permiso respectivo.
h. No cumplir con los requerimientos establecidos en el permiso para transportar los lodos.
i. No renovar el permiso de transporte de lodos después de haber expirado el período de vigencia del mismo.
j. Manipular los lodos durante el transporte sin la autorización de la unidad administrativa a cargo del medio ambiente.
k. Disponer los lodos sin contar con el permiso de disposición respectivo.
l. No cumplir con las condiciones para las cuales fue emitido el permiso de disposición.
m. Mezclar lodos peligrosos con no peligrosos, con la finalidad de cambiar de categoría y disponerlos en sitios correspondientes a los de menor peligrosidad.
n. No permitir la práctica de inspecciones de control que realiza el personal legalmente autorizado por la unidad administrativa cargo del medio ambiente.

Sobre las Sanciones

Artículo 38. La unidad administrativa a cargo del medio ambiente establecerá las sanciones a las infracciones determinadas en el artículo anterior, las mismas que serán impuestas por el Comisario Metropolitano Ambiental, de acuerdo a la gravedad de las mismas, quien actuará de oficio o a petición de parte, es decir, previa denuncia ciudadana, iniciativa de la unidad administrativa a cargo del medio ambiente, o de la Comisión de Medio Ambiente del Concejo[1].

Sobre las Tasas

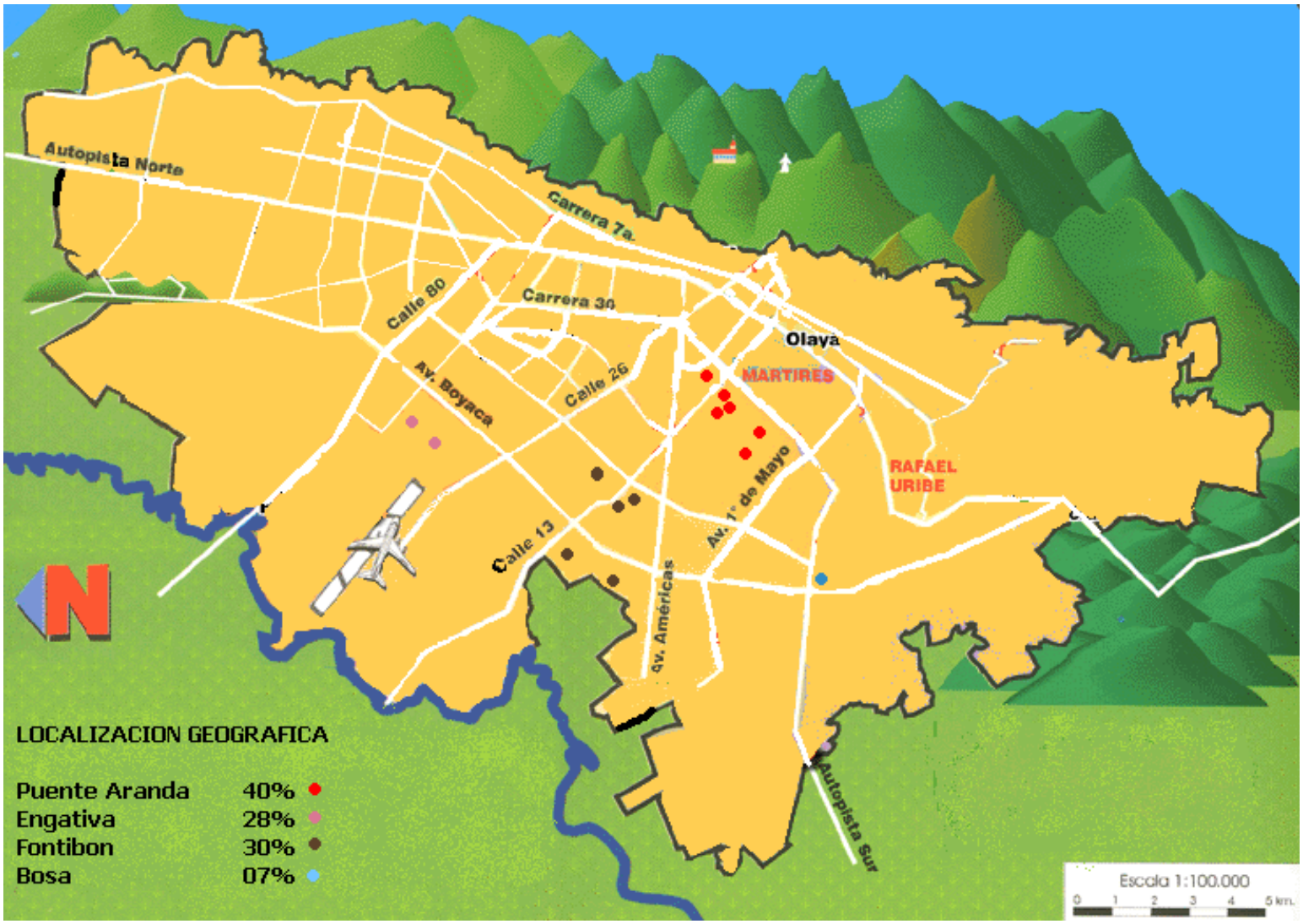
Artículo 39. Se crea la tasa por el otorgamiento del permiso de generación de lodos, cuyo monto será de dos salarios mínimos vitales generales. Previa a la obtención del permiso o de su renovación el contribuyente deberá acercarse a la Administración zonal respectiva para proceder al pago de la tasa respectiva.

Artículo 40. La Empresa Metropolitana de Aseo a inicio de cada año hará públicas las tasas de disposición, en función de la categoría y cantidad del lodo y establecerá las formas de cobro previa a la disposición final de los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales no domésticas.

Sobre el CRETIB

Artículo 41. El análisis CRETIB servirá para dictaminar a un lodo proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales no domésticas como peligroso en los términos que el presente apartado señala como "características de un residuo peligroso", independientemente de que no conste en la lista de los lodos provenientes de plantas de tratamiento que *per se* son considerados como peligrosos

Artículo 42. Un residuo es peligroso cuando presenta alguna de las siguientes características.


Autopista Norte
Carrera 7a.
Calle 80
Carrera 30
Olaya
MARTIRES
Av. Boyaca
Calle 26
RAFAEL URIBE
Av. 1° de Mayo
Calle 13
Av. Américas
Autopista Sur
N
LOCALIZACION GEOGRAFICA
Puente Aranda 40%
Engativa 28%
Fontibon 30%
Bosa 07%
Escala 1:100.000
0 1 2 3 4 5 km.

Conoser Ltda.

LABORATORIO

Muestra No.:	**5736**	**Fecha de Recepción:**	**Octubre 6 del 2000**
Procedencia:	**Pollos Savicol S.A.**	**Fecha de Toma:**	**Octubre 5 del 2000**
Dirección:	**Cra 10 No 32 - 07**	**Sitio de Toma:**	**Lodo**
Tipo de Muestra:	**Puntual**	**Tomada por:**	**Puesta en Laboratorio**

PARAMETRO		CONC.	PARAMETRO		CONC
Aceites y Grasas	mg/g	25.1	Fenoles	mg/L	
Acidez Total	mg/L $CaCO_3$		Fósforo Total	mg/g-P	1.0
Acidez Metil Naranja	mg/L $CaCO_3$		Hidrocarburos	mg/L	
Alcalinidad Total	mg/L $CaCO_3$		Hierro Total	mg/g-Fe	0.328
Alcalinidad Fenol	mg/L $CaCO_3$		Humedad	%	20
Aluminio	mg/L-Al		B. Mesofílicas	Unidades**	$3.0x10^6$
Boro	mg/L-B		Nitrógeno Total NKT	mg/g-N	0.112
Cadmio	mg/L-Cd		Nitratos	mg/L-N	
Calcio	mg/L-Ca		Nitritos	mg/L-N	
Cianuros	mg/L-CN		Ortofosfatos	mg/L-P	
Cloruros	mg/L-Cl		Oxígeno Disuelto	mg/L-O_2	
Cloro Residual	mg/L-Cl		Plomo	mg/g-Pb	0.091
Cobre	mg/g-Cu	0.101	pH	Unidades	
Conductividad	µs/cm		Salmonella		Negativo
Coliformes Totales	NMP/100mL*	$11x10^4$	Solidos Disueltos Tot.	mg/L	
Coliformes Fecales	NMP/100mL*	$11x10^4$	Sólidos Susp. Tot.	mg/L	
DBO_5	mg/g-O_2	183	Sólidos Sedim.	mL/L-h	
DQO	mg/g-O_2	316	Sólidos Totales	mg/L	
Detergentes (SAAM)	mg/L		Sulfatos	mg/L-SO_4	
Dureza Total	mg/L $CaCO_3$		Sulfuros	mg/L	
Dureza Cálcica	mg/L $CaCO_3$		Turbiedad	UNT	
Dureza magnésica	mg/L $CaCO_3$		Temperatura	°C	
Dureza Carbonácea	mg/L $CaCO_3$		Zinc	mg/L-Zn	
Dureza No Carbonácea	mg/L $CaCO_3$				

OBSERVACIONES:
*Conteo en Placa colonias/mL.
**Unidades Formadoras de color/mL.

Jefe de Laboratorio: _____ **Fecha: Octubre 12 del 2000**
Telefax 2256822/2404953

Conoser Ltda.

LABORATORIO

Muestra No.:	**5734**	**Fecha de Recepción:**	**Octubre 6 del 2000**
Procedencia:	**Pollo Andino Ltda**	**Fecha de Toma:**	**Octubre 5 del 2000**
Dirección:	**Dg. 7 No 37 - 14**	**Sitio de Toma:**	**Lodo**
Tipo de Muestra:	**Puntual**	**Tomada por:**	**Puesta en Laboratorio**

PARAMETRO		CONC.	PARAMETRO		CONC
Aceites y Grasas	mg/g	23.5	Fenoles	mg/L	
Acidez Total	mg/L $CaCO_3$		Fósforo Total	mg/g-P	0.33
Acidez Metil Naranja	mg/L $CaCO_3$		Hidrocarburos	mg/L	
Alcalinidad Total	mg/L $CaCO_3$		Hierro Total	mg/g-Fe	0.062
Alcalinidad Fenol	mg/L $CaCO_3$		Humedad	%	19
Aluminio	mg/L-Al		B. Mesofilicas	Unidades**	$1.9x10^5$
Boro	mg/L-B		Nitrógeno Total NKT	mg/g-N	0.29
Cadmio	mg/L-Cd		Nitratos	mg/L-N	
Calcio	mg/L-Ca		Nitritos	mg/L-N	
Cianuros	mg/L-CN		Ortofosfatos	mg/L-P	
Cloruros	mg/L-Cl		Oxígeno Disuelto	mg/L-O_2	
Cloro Residual	mg/L-Cl		Plomo	mg/g-Pb	0.224
Cobre	mg/g-Cu	0.029	pH	Unidades	
Conductividad	µs/cm		Salmonella		Negativo
Coliformes Totales	NMP/100mL*	$< 24x10^6$	Solidos Disueltos Tot.	mg/L	
Coliformes Fecales	NMP/100mL*	$24x10^6$	Sólidos Susp. Tot.	mg/L	
DBO_5	mg/g-O_2	384	Sólidos Sedim.	mL/L-h	
DQO	mg/g-O_2	480	Sólidos Totales	mg/L	
Detergentes (SAAM)	mg/L		Sulfatos	mg/L-SO_4	
Dureza Total	mg/L $CaCO_3$		Sulfuros	mg/L	
Dureza Cálcica	mg/L $CaCO_3$		Turbiedad	UNT	
Dureza magnésica	mg/L $CaCO_3$		Temperatura	°C	
Dureza Carbonácea	mg/L $CaCO_3$		Zinc	mg/L-Zn	
Dureza No Carbonácea	mg/L $CaCO_3$				

OBSERVACIONES:
*Conteo en Placa colonias/mL.
**Unidades Formadoras de color/mL.

Jefe de Laboratorio: _____ **Fecha: Octubre 12 del 2000**

Telefax 2256822/2404953

Fecha	Empresa Nº2			Empresa Nº4			Empresa Nº6			Empresa Nº9			Empresa Nº10		
	Consumo (m^3/mes)	m^3/pollo	m^3/Kg	Consumo (m^3/mes)	m^3/pollo	m^3/Kg	Consumo (m^3/mes)	m^3/pollo	m^3/Kg	Consumo (m^3/mes)	m^3/pollo	m^3/Kg	Consumo (m^3/mes)	m^3/pollo	m^3/Kg
Jun-99	4001	0.0057		2725	0.024	0.012	8212	0.0121	0.0052	3056			1407	0.0053	0.0061
Jul-99	4313	0.0052		2529	0.021	0.011	5632	0.0080	0.0036	2976			2968	0.0066	0.0105
Ago-99	3168	0.0042	0.00199	3853	0.039	0.021	6306	0.0087	0.0038	2057			2151	0.0068	0.0092
Sep-99	3660	0.0048	0.0022	2774	0.021	0.011	6124	0.0088	0.0039	3121			2925	0.0070	0.0112
Oct-99	5523	0.0072	0.0033	2929	0.021	0.01	6619	0.0096	0.0043	2259			3113	0.0064	0.0103
Nov-99	4879	0.0064	0.003	2779	0.031	0.017	7553	0.0116	0.0050	3283			1909	0.0045	0.0017
Dic-99	5984	0.0064	0.003	3658	0.03	0.015	7558	0.0084	0.0040	4200			1909	0.0033	0.0052
Ene-00	5089	0.0079	0.0036	3070	0.033	0.017	6753	0.0100	0.0045	2515	0.0074	0.0064	2817	0.0083	0.0132
Feb-00	5482	0.0082	0.0037	3113	0.029	0.015	7910	0.0107	0.0045	3166	0.0075	0.0060	2843	0.0075	0.0120
Mar-00	5982	0.0083	0.0038	3953	0.035	0.018	7097	0.0082	0.0036	3366	0.0071	0.0062	2834	0.0067	0.0107
Abr-00	5175	0.0075	0.0034	3092	0.025	0.013	7321	0.0096	0.0043	2466	0.0060	0.0052	3402	0.0096	0.0153
May-00	5567	0.0073	0.0033	3792	0.027	0.014	8773	0.0100	0.0046	2873	0.0069	0.0060	3158	0.0107	0.0171
Jun-00	5342	0.0068	0.0031	4531	0.03	0.016	7675	0.0073	0.0033	3382	0.0068	0.0059	3479	0.0107	0.0171
Promedio	4936	0.00661	0.00313	3292	0.0282	0.0146	7195	0.0095	0.0042	2978	0.0070	0.0060	2686	0.0072	0.0107

Fecha	Promedio (m^3/mes)
Jun-99	3880.2
Jul-99	3683.6
Ago-99	3507
Sep-99	3720.8
Oct-99	4088.6
Nov-99	4080.6
Dic-99	4661.8
Ene-00	4048.8
Feb-00	4502.8
Mar-00	4646.4
Abr-00	4291.2
May-00	4832.6
Jun-00	4881.8
Promedio	4217.4

FORMATO DE ENCUESTA

DATOS GENERALES

Nombre del establecimiento:_____
Dirección: _____
N° de empleados: _____
Fecha de la visita: _____
N° de expediente: _____

1. TRATAMIENTO DE EXPEDIENTES PARA EL CONTROL DE EFLUENTES

TIPO DE TRATAMIENTO	TIPO DE RESIDUO GENERADO	DISPOSICION FINAL	CAUDAL
PRELIMINAR			
Rejillas			
Trampa de grasas y aceites			
Tanque de neutralización			
Desarenador			
Presedimentador			
PRIMARIO			
Coagulación			
Precipitación			
Sedimentación			
Flotación			
SECUNDARIO			
Lodos Activados			
Filtros percoladores			
Biodiscos			
Lagunas Facultativas			
Otros			
TERCIARIO			
Intercambio ionico			
Filtro de carbón activado			
Osmosis inversa			
Otros			

2. MATERIA PRIMA

2.1 Número de aves que se sacrifican _____
2.2 Procedencia de las aves _____
2.3 Distancia _____
2.4 Especie de ave _____
2.5 Peso del ave _____
2.6 Edad _____

3. LODOS

3.1 Volumen de lodos generados en la planta de tratamiento (m^3/mes)?

_____

3.2 Almacenamiento Temporal	Volumen	Tiempo
Cielo Abierto	_____	_____
Caneca	_____	_____
Bolsas	_____	_____
Caseta	_____	_____
Otros _____	_____	_____

3.3 Acondicionamiento de lodos	Tiempo
Secado o deshidratación	_____
Neutralización	_____
Desactivación	_____
Coagulación	_____
Otros _____	_____

3.4 Volumen de los lodos después del acondicionamiento

3.5 Transporte de lodos

_____

3.6 Disposición final

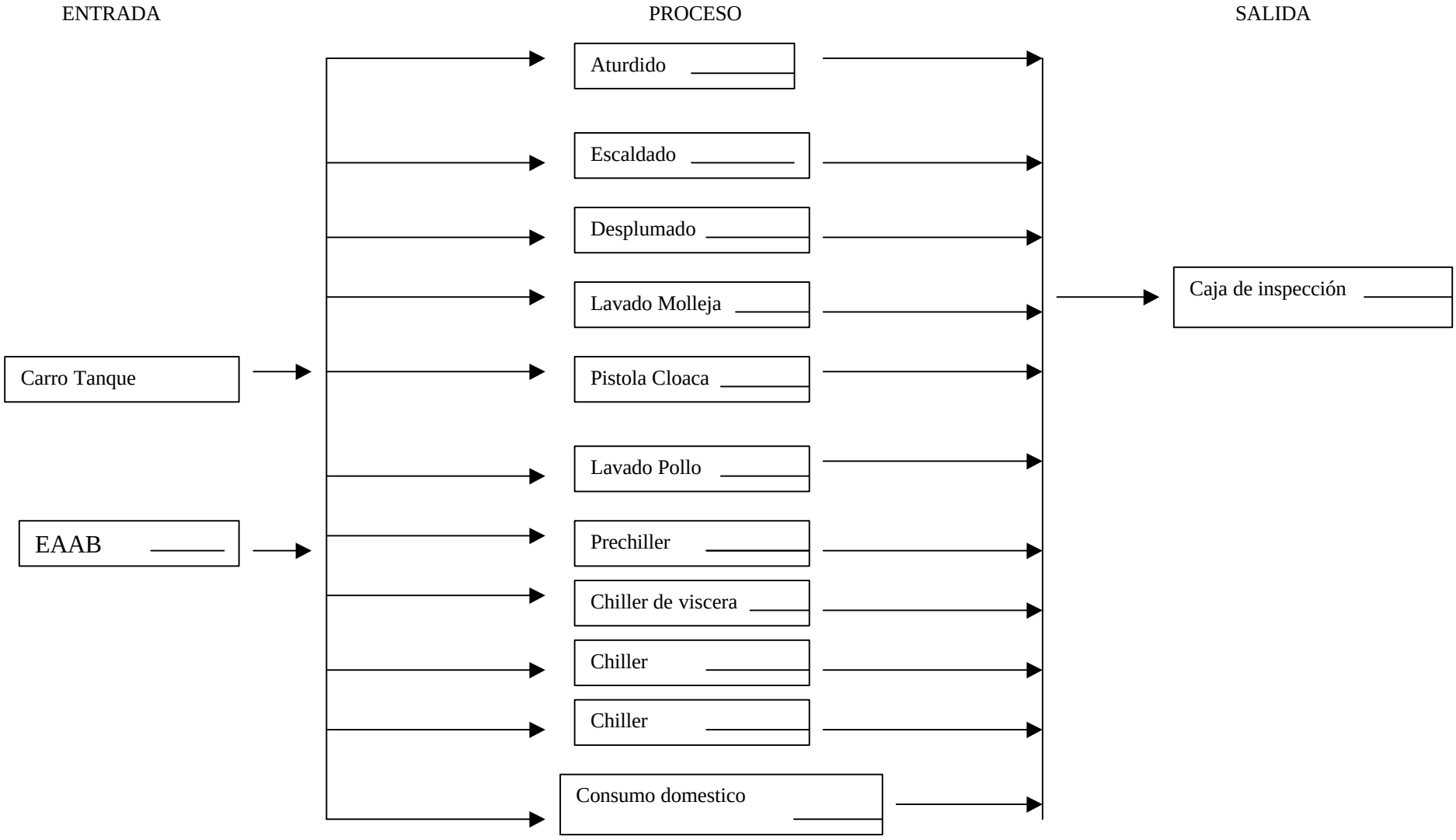
_____

4. FUENTE DE SUMINISTRO DE AGUA

	Volumen
EAAB	_____
Carro tanque	_____
Pozo	_____
Tanque de almacenamiento	_____

FORMATO DE INFORMACION

BALANCE MENSUAL DE AGUA POR PROCESO



DESCRIPCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

1. Unidades Básicas: Se debe tener en cuenta cada una de las unidades de tratamiento en la planta.

2. Químicos utilizados en el tratamiento del agua: Dependiendo de las unidades donde son utilizadas.

Químico	Cantidad (Kg/mes)	Unidad de tratamiento

3. Caudal de la planta: caudal de capacidad de la planta y caudal de funcionamiento actual.

4. Manejo de lodos: Almacenamiento _____
   Transporte _____
   Disposición Final _____

5. Caracterizaciones de vertimientos: Caracterizaciones de los tres últimos años.

6. Costo de instalación de la PTAR

7. Costo de operación de la PTAR

DATOS ESTADISTICOS DE CONSUMO

FECHA	CONSUMO (m^3)	
	EAAB	Carro tanque
Junio - 1999		
Julio – 1999		
Agosto – 1999		
Septiembre – 1999		
Octubre – 1999		
Noviembre – 1999		
Diciembre – 1999		
Enero – 2000		
Febrero – 2000		
Marzo – 2000		
Abril – 2000		
Mayo – 2000		
Junio – 2000		

DATOS ESTADISTICOS

FECHA	POLLO EN PIE		POLLO EN CANAL	
	UNIDAD	KG	UNIDAD	KG
1999 junio julio agosto septiembre octubre noviembre diciembre				
2000 enero febrero marzo abril mayo junio				