

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FQF
Facultad de
Química y Farmacia

TRABAJO DE DIPLOMA

“Propuesta de un biodigestor anaeróbico para disminuir los impactos medioambientales del matadero Chichi Padrón”

AUTOR:

Áurea Jacinta Mendes da Conceição Nunes

TUTORES:

Dr. Mario de Jesús Muro Menéndez.

Dra. Nancy López bello

MsC. Freddy Pérez Perera.

Santa Clara 2017-2018

Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Pensamiento

“...La escuela será cada vez mejor, a medida en que cada uno se comporta como compañero, como amigo, como hermano...”

Paulo Friere

Dedicatoria

A la persona más importante de mi vida mi madre. La mujer que al tener la bendición de la vida, entregó la suya. Que al luchar por sus hijos se olvidó de ella mismo. Que al dejar nuestro suceso, abandonó sus sueños. Que al celebrar con sus victorias se olvidó su propio mérito. Que al recibir injusticia, respondió con amor. Y que, al recordar el pasado, solo tiene un pedido: Dios proteja a mis hijo por toda la vida. Gracias Madre por seres la bendición divina en mi vida.

Agradecimiento

A Dios, que a diario me brinda la oportunidad de cumplir mis objetivos, da fortaleza en días difíciles y regala mucha felicidad de tener a mis seres queridos a mi lado.

A mi familia, Eugenia Verissimo (Abuela), Arlete Paula (Madre), Maria Clea (Tía), Vladimiro Fortunato (Hermano), Márcia Fortunato (Hermana), Luis Nunes (Hermano), Josefa Perestrelo (Prima), Celso Valdick (Primo) Carina Cardoso (Coñada) y a mis sobriñas, ellos en cada una de sus acciones me recuerdan que lo más bello de la vida es tenerlos a mi lado. A las dos Madres (Maria Julia y Yolanda) que gane así que llegue a esta Provincia.

A mis amigos(a) Ariana Diaz, Blanca Elena, Carlos Jorge, Claudia Ponce, Dulce Franco, Edna Perestrelo, Edson Batista, Flávio Miguel, Henriqueta Nankhaly, Marilia Baptista, Marisa Rui, y Silvana Cardoso, Yipsandra Blanco, Zenito Franco que han estado a mi lado incondicionalmente.

Al maravilloso claustro de profesores del Departamento de Ingeniería Química por haberme enseñado lo lindo de esta carrera.

A todos mis compañeros que hemos compartido durante los cinco años de la carrera, y que siempre me trataron como una cubana más no como una extranjera.

A mis Tutores: Nancy López Bello, Mario Muro Menéndez, Freddy Pérez Perera, que han sido maravillosos conmigo.

¡A todos, mis más sinceros agradecimientos!

Resumen

La investigación que se presenta se desarrolló en La empresa cárnica "Chichi Padrón" en Villa Clara, al representar esta empresa un potencial de riesgo al medio ambiente por sus portadores de residuos, se realizó en esta un diagnóstico de cuales eran los principales contaminantes que se generaban y su deposición final, donde se constató que los residuos líquidos y el estiércol no tienen un tratamiento adecuado. Además se propusieron los esquemas de posibles tratamientos y se propuso la introducción de un biodigestor anaeróbico debido principalmente a la macrolocalización de la empresa y se demostró su factibilidad técnico y económico al obtener un VAN de 365807,34 y una TIR de 66%.

Summary

The investigation that is presented was developed in the meat company "Chichi Padrón" in Villa Clara, when this company represents a potential risk to the environment by its waste carriers, a diagnostic was made of which were the main pollutants that were generated and their final deposition, where it was found that liquid residues and manure do not have adequate treatment. In addition, their schemes of possible treatments were proposed in which the introduction of an anaerobic biodigester was proposed as a proposal, mainly due to the company's macro location and technical and economic feasibility was demonstrated by obtaining a VAN of 365807.34 and an TIR of 66.

Indice

Contenido	
Introducción	1
Capítulo I: Revisión Bibliográfica	3
1.1.GENERALIDADES DE LAS EMPRESAS CONOCIDAS COMO MATADERO	3
1.1.1Criterios a tenere en cuenta en los mataderos.....	5
1.1.2 Criterios a tener en los proceso de elaboración de productos carnicos	10
1.2.TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	14
1.3.BIODIGESTORES.....	27
1.4.TECNOLOGIAS MÁS LIMPIA Y ANÁLISIS ECONÔMICO	30
1.5. Conclusiones Parciales	31
CAPÍTULO II: DIAGNÓSTICO DE LA UEB MATADERO “CHICHI PADRÓN”	32
2.1 Establecimiento y cumplimiento de buenas prácticas y procedimientos	
establecidos para el desarrollo de la actividad fundamental de la entidad	32
2.1.1 Descripción del proceso	33
2.2 Caracterizacion de los residuales	36
2.2.3 Residuales sólidos.....	38
CAPÍTULO III: DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAEROBIO	59
3.3 Proyecto Tecnológico.....	62
3.3.1 <i>Marco teórico</i>	62
3.4 Cálculo del volumen del biodigestor	63
3.5 Planificación de las actividades para el montaje de la Planta.	64
3.6 Evaluación Económica Del Biodigestor	65
3.6.1.2 <i>Costo Total de Producción.</i>	66
3.6.1.3 <i>Ganancia.</i>	67
Conclusiones.....	69
Recomendaciones	70
Bibliografía	71
Anexos.....	73
.....	73

Introducción

Como parte del indiscutible incremento de la conciencia ambiental en Cuba la empresa cubana, involucrada en un proceso de perfeccionamiento de su gestión, en el que la dimensión ambiental no queda al margen, y urgida de una inserción exitosa en los mercados foráneos, muestra hoy en día un creciente interés por mejorar su desempeño ambiental, dar a conocer sus logros y obtener a corto plazo un reconocimiento de su positivo accionar con relación al entorno que lo rodea.

En Cuba se han aplicado políticas que favorecen el estudio y búsqueda de vías que permitan satisfacer las necesidades económicas con el uso eficiente de recursos naturales y con la menor emisión de residuos al entorno. Para ello se realizan diagnósticos ambientales a las diferentes entidades productoras de bienes y servicios los que permiten detectar los puntos en los que sería necesario la toma de medidas de Producción Más Limpia e incluso innovación tecnológica en caso de que fuera necesario, de esta forma se disminuye el impacto al medio ambiente que provocan las diferentes actividades realizadas por el hombre.

En ese quehacer se encuentra enfrascada la Unidad Empresarial de Base Matadero “Chichi Padrón” la cual se encuentra ubicada en el municipio de Santa Clara y pertenece a la Empresa Cárnica Villa Clara, subordinada al Ministerio de la Industria Alimenticia, resultando vital para su desarrollo implementar acciones de Producción Más Limpia que le permitan mitigar y/o solucionar sus aspectos ambientales identificados, contribuyendo de esa forma a una mejor calidad del producto, así como a la protección de la salud de las personas y la utilización racional de los recursos naturales, existiendo las condiciones humanas, económicas y materiales para ello.

De ahí que se propone el siguiente problema científico.

Problema científico

En el matadero Chichi Padrón de la ciudad de Santa Clara se vierten los residuales en el alcantarillado y esto provoca serios problemas al medio ambiente acuífero y afecta a la población aledaña.

Hipótesis

Si se diseña un biodigestor anaeróbico para el tratamiento de las aguas residuales se puede disminuir el impactos ambientales que provoca su vertido al medio ambiente y generar un combustible para el autoconsumo y sustentabilidad energética.

Objetivos General

Diseñar un biodigestor anaeróbico en el matadero de Chici Padrón disminuyendo así su impacto sobre el medio ambiente.

Objetivos específicos

1. Realizar el estado del arte en la las temáticas de tecnologías más limpias, tratamientos de aguas residuales e impactos medioambientales provocado por los mataderos.
2. Diagnosticar las condiciones actuales del matadero.
3. Proponer varias alternativas para el tratamiento de las aguas residuales.
4. Efectuar el análisis técnico-económico del diseño y construcción de un biodigestor anaeróbico con producción de biogás.

Capítulo I: Revisión Bibliográfica

1.1. GENERALIDADES DE LAS EMPRESAS CONOCIDAS COMO MATADERO

Los mataderos en general se ocupan de la transformación de una o varias clases de ganado en carne para el consumo humano. Las operaciones subsidiarias consisten en dividir los cortes primarios de la carne en pedazos más pequeños, en la separación y el tratamiento de diversos subproductos.

Debido a numerosas enfermedades y a otros agentes contaminantes que se pueden dar en la carne y que se derivan de una infección intravital en el animal o de una contaminación secundaria a partir de los seres humanos o del medio ambiente, resulta esencial establecer un sistema de higiene de la carne a lo largo de todas las etapas de producción. Ese sistema debe comenzar donde tiene su origen el ganado y proseguir a través de la elaboración hasta la distribución final al cliente.

De ello se deduce que una parte esencial de este sistema de higiene es la necesidad de establecer un estricto control de las condiciones ambientales en todas las etapas del tratamiento. Este control, debido a la susceptibilidad de la carne a la contaminación microbiológica a partir del aire, las manos de los trabajadores, el equipo y la ropa, etc., debe intensificarse en atmósferas cálidas y húmedas o contaminadas y cumplir con lo requerido en cuanto a la temperatura y la humedad (Veall, 1993).

Este factor adquiere también mayor importancia y alcance con el aumento de la producción. Por consiguiente, independientemente de otros factores como la economía de la producción, la utilidad o la estética, el diseño del matadero debe siempre satisfacer las exigencias de higiene prescritas por el país respectivo. Los principios generales de diseño deben atenerse a los siguientes parámetros

Consideraciones humanas en el sacrificio de animales

- Elaboración y almacenamiento higiénicos de la carne y los subproductos comestibles
- Recuperación de subproductos no comestibles
- Esparcimiento y recreo de los empleados
- Instalaciones para el ganado

Aparte de las consideraciones humanas anteriores a la matanza, el cuidado del ganado afecta al estado y a las cualidades de mantenimiento de la carne de las reses muertas y, en consecuencia, es una exigencia legal esencial e invariable que se proporcione una superficie adecuada cubierta o no cubierta según las condiciones climáticas para que el ganado pueda descansar después de haber recorrido cierta distancia que requiera de dos a tres días de viaje.

La inspección en vivo impone también la obligación de mantener seco al ganado y, de ser necesario, los dispositivos para el lavado (cuando son económicos) deben

estar concebidos para evitar un exceso de humedad en el lugar del sacrificio.

Para mantener una alta calidad de la carne, es esencial procurar reducir al mínimo el movimiento de las reses en los corrales o en las zonas de descanso hasta el lugar de la matanza.

El diseño y el establecimiento de mataderos pequeños en las zonas rurales es una prioridad de que se ha ocupado la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación por medio de la publicación de directrices especiales y mediante la prestación de asistencia técnica para la construcción de esos mataderos.

Sin embargo, por diversas razones, todavía no se ha procedido plenamente al establecimiento del tipo más amplio de instalaciones modernas de elaboración y comercialización para el sector cárnico que abastece a las zonas urbanas de los países en desarrollo. Uno de los motivos de ello es la falta de disponibilidad de guías adecuadas para el uso del personal de la industria de la carne y para sus asesores técnicos, aspecto que trata de abordar el presente trabajo de diploma (Veall, 1993).

Las zonas urbanas de todo el mundo se están extendiendo y consolidando cada vez más y, al hacerse más severas las normas de salud e higiene, las autoridades nacionales y locales están sometidas a una mayor presión para sustituir instalaciones obsoletas, fragmentadas o insuficientemente utilizadas, así como los locales poco adecuados y no autorizados para la matanza, muchos de los cuales están situados en centros urbanos y ocupan lugares que son muy necesarios para otros fines.

En esos emplazamientos las vías de transporte esenciales se ven fuertemente perturbadas por el movimiento del ganado. Además, la acumulación y descarga de materias altamente putresfactibles procedentes del sacrificio de animales cerca de barrios residenciales o cursos de agua, o la puesta a disposición de los consumidores de carne preparada en condiciones nada higiénicas y no sometida a inspección son totalmente contrarias a las medidas que las autoridades están promoviendo en otras esferas para mejorar la salud pública y la higiene.

La falta de instalaciones adecuadas produce también como resultado la devaluación o poco aprovechamiento de importantes subproductos. La facilitación de instalaciones adecuadas permite que se lleve a cabo la integración horizontal requerida de la elaboración para ocuparse de estos productos. Así mismo, permite aprovechar al máximo los escasos recursos de personal veterinario, al poner a disposición ese tipo de servicios concentrados en una instalación central que se ocupa de un número mucho mayor de reses al día.

El objetivo de estas directrices es, por lo tanto, difundir información destinada al personal y a los ingenieros, arquitectos y otras personas relacionadas con la industria cárnica sobre los criterios para el establecimiento de mataderos, en particular, para el diseño, la construcción, la utilización de recursos locales y el funcionamiento de mataderos medianos de tipo semiindustrializado. Se indica la

posibilidad que tienen de disponer de las instalaciones óptimas de elaboración de subproductos que se requieren según la dimensión de la empresa prevista, junto con los detalles técnicos del equipo que puede fabricarse localmente. Cuando se hace referencia a la mejora de locales existentes, al mantenimiento parcial de algunas de las prácticas de manipulación de la carne más tradicionales o a la información sobre el diseño con respecto al establecimiento necesario de mercados de la carne por mayor o por menor. Estos, junto con el matadero, constituyen los vínculos centrales en el sistema de comercialización del ganado y de la carne.

1.1.1 Criterios a tener en cuenta en los mataderos.

➤ Criterios de ubicación

Las dos aplicaciones principales de la industria cárnica, son: el sacrificio de los animales y la elaboración de productos carnicos. Algunos mataderos, particularmente fábricas de una sola especie, participan igualmente en la elaboración de productos cárnicos. Las plantas de elaboración de productos carnicos, por otro lado, se ocupan de elaborar las carnes y otros productos secundarios y em función de esto se establecen el criterio de ubicación.

Antes de la aparición de la refrigeración los mataderos debían estar cerca de las zonas de consumo; y ésta sigue siendo todavía la regla general para los países en desarrollo de las zonas tropicales donde la carne se come en su mayor parte durante las veinticuatro horas siguientes a la matanza y los productos fabricados en las plantas de elaboración de carne sólo se pueden conservar durante un período limitado. Con la tecnología actual muchos países subdesarrollados tienen más posibilidad de acceso de carne refrigerada a los mercados, pero la falta de medios de transporte por carretera y ferrocarril y la incertidumbre de esos servicios, la antigua práctica de la transportación del ganado a través del país puede resultar menos costosa. Es difícil evaluar los costos comparativos, a menos de calcular muchos de los costos potenciales de la conducción del ganado, la pérdida de peso (30 kilos por res en un viaje de un mes durante la estación seca), los gastos de tránsito de los piensos, las pérdidas por muerte, la reclamación de daños y perjuicios, etc. Con todo, esta práctica sigue representando una desventaja económica considerablemente menor en relación con los gastos del transporte por ferrocarril de la que representaría en, pongamos por caso, los Estados Unidos, dada la diferencia de la tecnología del transporte y la calidad y el tipo de los animales que se transportan. Por otro lado, los precios de la carne suelen ser en los países en desarrollo inferiores a los de los países industrializados. Esta distinta relación precio/costo no justifica, por lo tanto, la inversión en una técnica de comercialización que requiera mucho capital como la cadena fría. El transporte del ganado puede parecer físicamente más antieconómico, pero en muchos países en desarrollo resulta más económico que el transporte de la carne.

Tras la aparición de la refrigeración resultó posible llevar a cabo la matanza en las regiones de consumo o en las regiones de producción y el debate sobre cuál es la mejor solución continúa. Con el incremento de la industrialización en los países en

desarrollo la tendencia será, sin embargo, tanto en los países de exportación como de importación, que los mataderos estén más cerca de las zonas de producción. Esto es particularmente cierto en lo que respecta a los mataderos municipales en países que están constituyendo unidades económicas amplias y coherentes. Cuando las plantas situadas en zonas urbanas empiezan a ser económicamente solventes o estén rodeadas de zonas residenciales que absorben valiosas tierras para edificar, se verán obligadas a trasladarse y a ser emplazadas en ubicaciones rurales y de producción periféricas en las que la tierra es menos cara (Veall, 1993).

Conviene que los países en desarrollo tengan en cuenta las ventajas indicadas a continuación que han conseguido los países industrializados al situar a los mataderos fuera de las zonas urbanas:

- Los costos del transporte de la carne son de un 20 por ciento a un 40 por ciento inferiores a los costos de transporte de los animales vivos debido a que la capacidad de transporte del vehículo se utiliza con mayor eficiencia. Además, se reducen las pérdidas cuantitativas y cualitativas derivadas del transporte de animales vivos, así como los peligros de una diseminación de enfermedades.
- Los gastos de la matanza y la elaboración en mataderos administrados con eficiencia y situados en zonas de producción suelen ser inferiores a los gastos correspondientes en las zonas de consumo, particularmente cuando se comparan con los mataderos municipales subutilizados que a menudo existen en las ciudades más viejas.
- Se facilita la evaluación de la calidad de la carne al pasar de la comercialización del ganado a la comercialización de la carne. Los pagos por calidad y peso de las canales ofrecen un fuerte incentivo a los productores de ganado para la producción de calidad.
- Las fluctuaciones a corto plazo de la demanda de la carne en las grandes conglomeraciones urbanas se pueden atenuar de manera más conveniente con la carne que con los animales vivos, lo que produce como resultado la disminución de las fluctuaciones de los precios a corto plazo.
- La flexibilidad en la comercialización de la carne se garantiza con la elección de los cortes que quedan en el matadero para su adecuado mejoramiento y reelaboración.
- Los costos de tierra y de mano de obra son, por lo menos inicialmente, inferiores, por lo que es más fácil organizar la matanza de los animales y la preparación de canales en un sencillo sistema horizontal, con amplio margen para la expansión; y las zonas de consumo se benefician en lo que respecta al tráfico y a las zonas de esparcimiento.

Estas ventajas se aplican a las regiones tropicales al igual que a las templadas

cuando se introduce la refrigeración.

➤ Evaluación del emplazamiento del matadero

En todas las zonas en que se emplazan mataderos y plantas de procesamiento de la carne es preciso prestar sumo cuidado a la evaluación de la disponibilidad de servicios, las zonas recreativas y la higiene, etc, como se señala con más detalle más adelante en el capítulo. Dicho sea de paso, en la mayor parte de los países se aplican reglamentos sobre edificación, planificación y salud.

Los mataderos pueden estar bien diseñados en lo que respecta a su aspecto y eficiencia; y si se administran de manera adecuada, no tienen por qué causar ninguna molestia a no ser el ruido que hacen los animales a su llegada o en el establo. No obstante, cerca de las zonas urbanas, particularmente en los trópicos, los mataderos deben estar ubicados lejos de las zonas residenciales y a favor del viento, para evitar el polvo, los olores y las moscas; y también para dar una protección sanitaria al propio matadero. El vallado de todo el emplazamiento del matadero no procura por sí solo la necesaria barrera sanitaria entre el matadero y los barrios vecinos. Con respecto a los servicios, si bien la producción de energía se puede llevar a cabo en el lugar, la disponibilidad de agua en cantidades suficientes es una consideración prioritaria, como lo es el traslado de los desechos tratados a un vertedero adecuado.

En los trópicos, particularmente, los mataderos deben estar situados a cierta distancia de los aeropuertos para que las aves que se alimentan de carroña no pongan en peligro a los aviones.

Existen numerosos casos registrados de ataques de pájaros contra aeroplanos con graves consecuencias, siendo la más común los daños resultantes de la absorción de un pájaro por un motor de chorro que, como consecuencia de ello, se incendia. Las aves de rapiña son atraídas por los mataderos y las plantas de procesamiento de subproductos no sólo porque ven pequeñas cantidades de carne y trozos de desechos sino por el olor penetrante que es difícil eliminar de esas instalaciones.

En muchos países los mataderos están contiguos a los mercados de ganado. Aunque esta disposición es conveniente, aumenta los peligros de contaminación o de infección. Cuando están contiguos, deben estar rígidamente separados y se deben prever también corrales para los animales.

Un elemento esencial del emplazamiento de la planta es la creación de diversas formas de transporte. En lo que a cantidades se refiere, si la industria ganadera puede abastecer a la industria de la carne con suministros correspondientes al crecimiento de la población, habrá necesidad de transportar aproximadamente la mitad de las toneladas de subproductos.

➤ Comunicaciones

En la mayoría de los países, las comunicaciones de estas empresas se desarrollan por carreteras; no obstante, se pueden necesitar ferrocarriles y canales en casos particulares, por ejemplo, en las fábricas de productos destinados a la exportación y lo que si se debe tener en cuenta siempre que se necesita un acceso despejado y suficiente para trasladar los animales a corrales y para recoger las canales y los subproductos en compartimentos de carga.

Los métodos de transporte por vía acuática, que históricamente daban una importante ventaja al transporte por mar del ganado y de los productos cárnicos, como lo demuestra el establecimiento de centros de envasado en los ríos Ohio y Mississippi en los Estados Unidos y en el río Paraná en la Argentina, es muy posible que adquieran de nuevo importancia. En los Países Bajos y en el Asia sudoriental - Kerala (India) y Tailandia - la vía acuática sigue siendo un método práctico de transporte de subproductos de animales de escaso valor y gran volumen (desechos), así como para el ganado, verbigracia en los países que bordean el Mar Rojo, China e Indonesia (Veall, 1993).

En lo que respecta a las plantas de procesamiento de la carne, debido a su modalidad de comercialización un tanto localizada, el transporte por carretera suele ocupar una posición preponderante. La disponibilidad de medios de transporte públicos concierne más a las periferias de las ciudades; la disponibilidad de mano de obra puede depender de esto.

➤ Agua, electricidad

Un matadero y aún más las instalaciones para subproductos requieren amplias cantidades de agua potable. En un matadero se necesitan de 1 000 a 1 200 litros de agua por res procesada y en una instalación de elaboración de subproductos hasta el doble de esta cantidad. Estas cifras serían aún mayores si se necesitaran unos locales anormalmente grandes para mantener el ganado y para servicios auxiliares. Muchas autoridades exigen un almacenamiento de agua “en el lugar” para el consumo normal de un día.

Em cuanto a la enregía em estas fábricas se requiere un suministro de electricidad trifásica. El consumo puede variar de 5kwh/50 kg a 8kwh/50 kg de carne procesada, correspondiendo la cifra mayor a instalaciones donde se lleva a cabo la matanza y una amplia elaboración de subproductos

Aunque algunas zonas remotas sólo disponen de electricidad monofásica, si los procedimientos de producción lo requieren, es posible alimentar a un equipo trifásico instalando un convertidor de fase.

➤ Eliminación de desechos

Es conveniente disponer de instalaciones para la eliminación de los contaminantes de las aguas, pese a que la construcción de plantas de tratamiento de las aguas

residuales son costosas está prohibido descargar aguas no tratadas en ríos o lagos. La disposición de pastizales adecuados para el riego con aguas residuales tratadas de las instalaciones podría constituir un elemento positivo en zonas donde se engorda y mantiene al ganado.

➤ Requisitos de las actividades de matanza y preparación de la carne

Para alcanzar los objetivos deseados de una matanza humanizada, higiénica y racional con una inspección adecuada se requiere la organización de un sistema de cadena de fábrica en varias etapas y secciones consecutivas en los edificios de una sola o de múltiples pisos pasando de las zonas en que se efectúan las operaciones sucias a las operaciones cada vez más limpias hasta el punto de venta. Las etapas son las siguientes (Veall, 1993):

- Mantenimiento en corrales, atronamiento (o matanza) y sangría, desuello (obsérvese que para los cerdos se habla de escaldadura, depilación, chamuscamiento y rascado).
- Preparación (extracción de las tripas, separación del material inadecuado o no comestible bajo la inspección de un veterinario, división de la canal y limpieza).
- Colgado o enfriamiento a temperaturas del almacén antes de la entrega.
- Deshuesado y corte antes de proceder a una nueva verificación de la temperatura y acondicionamiento antes del envío a un mercado, a un gran minorista o a un consumidor.

Estas operaciones de preparación de la carne se vuelven a subdividir para que puedan ser realizadas en su totalidad por una o dos personas o descomponerse en tareas separadas realizadas por un equipo, según la dimensión de la empresa y la forma en que está organizada. Después de proceder a la refrigeración, la carne se despacha fresca o refrigerada para el consumo o para almacenarse de manera controlada a una temperatura aún inferior para un consumo posterior.

La preparación de las canales y su transferencia de una sección a otra puede entrañar el cambio de una posición vertical a una posición horizontal de la res muerta y viceversa y requiere el uso de polipastos y raíles transportadores suspendidos, respectivamente. La mayor parte de las instalaciones, en particular las destinadas a animales pequeños utilizan ahora un sistema que permite que las canales estén casi totalmente suspendidas de raíles desde la matanza hasta el despacho. En las operaciones de escaldado y eliminación de las cerdas de los cerdos, obviamente una nave de carnización que se limita a una especie en un momento dado difiere un tanto en su diseño de otra que permita la matanza simultánea de dos o tres especies, teniendo cada uno de estos sistemas sus propias ventajas.

En todos los sistemas el personal puede ser sumamente competente en sus funciones individuales y estar en condiciones de conseguir la máxima eficiencia de toda la operación y como las cabezas, las patas, los cueros y las vísceras, etc., se retiran en puntos muy separados de la sala de subproductos estratégicamente emplazada, toda la operación es más higiénica. En las fábricas de varios pisos, la retirada se hace por medio de rampas situadas en el área de carnización de abajo, donde estarán ubicados los diversos departamentos de despojos, que a su vez dan la posibilidad de proceder a una manipulación higiénica.

La planificación cuidadosa de las zonas destinadas a subproductos, algunas de las cuales están interconectadas, permite proceder a una manipulación mínima y eficiente de los despojos comestibles, la apertura del vientre, la limpieza de las tripas y el tratamiento de despojos no comestibles y de reses muertas decomisadas y a la manipulación de pieles y cueros. En este caso igualmente es esencial planificar la separación adecuada de las operaciones sucias y limpias de productos comestibles y no comestibles y de los trabajadores respectivos. El departamento de extracción de productos no comestibles dispone de un gran equipo de elaboración y debe estar situado en la planta baja. Este departamento debe producir unos alimentos de alto contenido proteínico. Para ello normalmente se recurre a la utilización de equipo semiautomático de alta calidad y de un mínimo de mano de obra, aunque cuando existe una necesidad social diversas operaciones pueden seguir utilizando mucha mano de obra.

Cuando se efectúa el désuello de la carne, resulta económico, en lo que respecta a los huesos y a los desechos grasos, mantener separada la planta de sebo comestible de la sección de productos no comestibles del departamento de subproductos. De esta forma se consigue una mayor flexibilidad en la venta de sebos. Como los productos resultantes de estas operaciones son de la categoría comestible, las instalaciones requeridas pueden influir también en la planificación de la principal zona de producción, es decir, la sala de carnización así como las zonas de almacenamiento y despacho.

1.1.2 Criterios a tener en los procesos de elaboración de productos carnicos

➤ Instalaciones de enfriamiento y refrigeración de las canales y los subproductos

El rápido enfriamiento de la carne de las canales y de los despojos comestibles es esencial para evitar la pérdida debida a corrupción y la pérdida de peso y para cumplir las normas relativas al comercio ya sea por menor o sea por comercio de exportación. Normalmente en los países en desarrollo basta la refrigeración por evaporación en lo que respecta a la carne que se va a consumir el día de la matanza. Si se exige un enfriamiento que produzca la refrigeración se debe poner cuidado en disponer de una capacidad de enfriamiento suficiente para evitar la entrada de carne caliente en cámaras en que se conserve carne refrigerada. Además, este departamento y la instalación de los corrales son las zonas en cuya

planificación se debe prever una expansión adecuada en el futuro. Esta consideración abarca asimismo el emplazamiento estratégico de las zonas de despacho.

➤ Inspección en vivo y después de la matanza - requisitos generales

Este aspecto de las operaciones de un matadero tiene una considerable influencia en la disposición de la nave de carnización. Las mejoras de las técnicas son constantes al hacerse más críticos los procedimientos de inspección. Un matadero de mediano tamaño debe disponer de su propio laboratorio, el cual debe tener, de ser necesario, un tamaño lo suficientemente grande como para efectuar exámenes bacteriológicos para todos los mataderos más pequeños de la zona de una autoridad local. El proyectista debe prever un equipo adecuado para facilitar el trabajo del inspector y para cumplir los diversos reglamentos de los departamentos públicos competentes.

Se requieren instalaciones para la inspección en vivo del ganado en los corrales, con inclusión de los animales sospechosos en establos aislados, y la inspección posterior a la matanza de la sangre, las cabezas, las vísceras, las asaduras y la canal. En instalaciones pequeñas un inspector podría desempeñar todas estas funciones, antes del despacho del producto comestible. El tiempo necesario para la inspección de diversas categorías de ganado varía según el grado o la incidencia de las enfermedades. Los laboratorios de los inspectores necesitan disponer sólo de un banco con la parte superior de plástico laminado, un fregadero, un mechero bunsen y un microscopio para examinar manchas de sangre cuando se sospeche que existe un ántrax. Esto debe poder hacerse fácilmente sin un equipo complicado. Si la matanza de cerdos es la principal actividad, el examen de la carne para detectar si existe triquinosis debe ser un procedimiento de rutina para el que habrá que disponer de triquinoscopios y del personal necesario.

Después del descabezamiento, las cabezas se colocan en un gancho para pasar la inspección, siendo esencial disponer de un medio de identificación de la canal. La labor de inspección se concentra principalmente en torno al punto en la cadena que sigue inmediatamente al destripamiento, y las instalaciones deben diseñarse de manera que los inspectores puedan trabajar cómodamente con la canal y con los diversos despojos que se acaban de extraer de la res muerta.

➤ Instalaciones auxiliares

Las instalaciones para personal, la dirección, los inspectores de la carne y las actividades de mantenimiento y transporte son esenciales para el funcionamiento adecuado y eficiente de un matadero. Los departamentos de operaciones “limpias” y “no limpias” han de estar estrictamente separados entre sí y sus necesidades especiales serán atendidas por un personal diferente. La facilitación y prestación equilibrada de servicios como el suministro de electricidad, agua caliente y fría, vapor, aire comprimido, equipo de refrigeración, procedimientos de limpieza y comunicaciones han de ser objeto de una atención detallada, ya que constituyen

una parte sustancial del coste de un matadero y pueden reducirse si se adoptan medidas de recuperación de la energía. Cuando surgen necesidades especiales debido a costumbres religiosas o de otra índole, la separación y el emplazamiento de las diversas secciones pasan a ser factores importantes en la planificación y el diseño de los diversos departamentos (e incluso de cierto equipo) dentro del conjunto del matadero.

Al aumentar la toma de conciencia de la gravedad de la contaminación ambiental y, paralelamente, al aumentar la competencia para disponer del agua potable, la eliminación de los desechos ha adquirido mayor importancia y recibe una mayor atención por parte de las autoridades sanitarias. Las sobras de sebos y el estiércol que hasta ahora se consideraban poco económicos en pequeños establecimientos se están recuperando aunque sólo sea para disminuir la carga de contaminación. Allí donde no existen restricciones a la utilización de la tierra, la constitución de lagunas anaeróbicas o anaeróbicas/aeróbicas resulta el sistema más eficaz en función de los costos, particularmente en los países en desarrollo donde las aguas residuales tratadas se pueden emplear para el riego.

➤ Instalaciones de recepción para el ganado que llega por ferrocarril o carretera

Cuando el transporte se efectúa por ferrocarril o carretera hará falta una plataforma de descarga a lo largo del ferrocarril o del punto de recepción de los camiones. La extensión de la plataforma debe corresponder a la extensión total de todos los vagones de ferrocarril. La plataforma debe tener una pendiente a sus extremos hasta el nivel del suelo no superior al 8 por ciento y debe disponer de corrales separados por barandillas de barras para cobijar a todos los animales de un mismo transportista. Entre el extremo de la plataforma y la línea de corrales debe haber un espacio suficiente para establecer una plataforma de descarga móvil e inclinada, utilizada para vagones de ferrocarril de dos pisos o vehículos de transporte por carretera de tres pisos para transportar ovejas y cabras; de lo contrario, debe preverse un espacio mínimo para reducir la posibilidad de que se escape el ganado. Los establos deben ser adecuados para la inspección veterinaria y para una doble finalidad cuando resulte apropiado. Los lados de los establos deben estar constituidos por hasta cinco barras para animales pequeños y hasta siete para animales grandes o para corrales que cumplen una doble finalidad, siendo la barra superior de 1,3m cuando se trata de ganado vacuno y de 0,9 m para animales pequeños a partir del nivel del suelo. Las barras inferiores deben estar menos espaciadas con el fin de retener y proteger a los animales más pequeños. Las tres barras inferiores deben estar espaciadas a intervalos de 0,13m, las dos siguientes a intervalos de 0,18 m, la siguiente a 0,25 m y la superior a 0,30 m de la que tiene debajo. Se deben prever abrevaderos adecuados. Habrá que fijar pilares de las barras en un suelo de hormigón y, salvo en lo que respecta al corral de aislamiento, todos los conductos de desagüe habrán de estar situados fuera de los corrales, en los pasadizos. Los suelos de los establos deben tener una pendiente de 50mm en 3m para facilitar su limpieza con una manguera de agua a presión. Se recomienda que se establezcan zonas separadas pavimentadas y drenadas dotadas de

mangueras de agua a presión para limpiar los vagones de ferrocarril y los camiones en los que se transporta el ganado después de la descarga, y proceder también a su desinfección.

Por lo general las reses necesitarán un litro de agua aproximadamente al día por cada 10 kg de peso vivo en la estación seca y la mitad de esa cantidad en la estación lluviosa, por lo que un rebaño de 250 reses de ganado vacuno de 250 kg de peso cada una requerirá aproximadamente 6 250 litros de agua al día en la estación seca.

Los abrevaderos deben construirse en forma alargada y estrecha, para que puedan beber simultáneamente el mayor número de cabezas de ganado. Si la fuente del agua no es constante o es lenta, se deben prever cisternas de almacenamiento que contengan por lo menos la mitad del suministro necesario para un día.

Los períodos de descanso en los corrales son obviamente un factor decisivo para determinar el número y la capacidad de los establos cuando hay que retener, alimentar, suministrar agua y dejar descansar al ganado antes de la matanza. Incluso después de viajes cortos de sólo 3 ó 4 horas, conviene dejar descansar a los animales hasta 24 horas antes de matarlos. Si el viaje es más largo, es mejor aumentar el período de descanso hasta 72 horas. Durante el período de descanso los animales deben guardarse en grupos de individuos compatibles. Se les debe proveer de alimento hasta 24 horas antes del sacrificio y en todo momento debe disponerse de agua. Es preciso prever un examen en vivo y corrales de aislamiento para los animales que puedan estar infestados, enfermos o heridos. La importancia del descanso después del transporte y antes de la matanza está tan reconocida que muchos países disponen de leyes que imponen la obligación de un período de descanso para todos los animales al entrar en los mataderos.

En resumen, la situación del matadero municipal de la ciudad de Santa Clara es la siguiente:

- La ubicación del matadero, con el paso del tiempo, ha quedado comprendida en una zona industrial, razón por la cual debe proyectar una inversión en el proceso del tratamiento de los residuales líquidos, sólidos y gaseosos.
- Existe un suministro efectivo de agua y electricidad para el buen funcionamiento de las operaciones de sacrificio, mantenimiento y elaboración de productos carnicos.
- Las comunicaciones son adecuadas para el transporte por carreteras del ganado y de los productos cárnicos.
- La eliminación de los desechos sólidos es efectiva pero puede mejorarse, mientras que la eliminación de los residuales líquidos es deficiente y debe proyectarse un sistema de depuración del agua residual dirigido a preservar la contaminación ambiental actual.

1.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

1.2.1 Tratamiento de los desechos y eliminación de las aguas residuales

➤ Consideraciones generales

La prevención y contención de los desechos de la carne y de los subproductos es una necesidad económica y de higiene pública. La principal fuente de contaminación se encuentra en las aguas residuales de los mataderos que incluyen heces, orina, sangre, pelusa, lavazas y residuos de la carne y grasas de las canales, los suelos, los utensilios, alimentos no digeridos por los intestinos, las tripas de los animales sacrificados y a veces vapor condensado procedente del tratamiento de los despojos.

Para el mantenimiento de unas normas de higiene adecuadas, la industria de elaboración de productos cárnicos está obligada a utilizar grandes cantidades de agua, lo que constituye un factor importante del costo de elaboración. Su tratamiento a posteriori en la planta y su descarga final en vertederos aceptables aumenta los gastos generales, por lo que resulta esencial que se utilice el volumen mínimo de agua necesario para alcanzar unas normas higiénicas adecuadas, así como la constante verificación del uso (Veall, 1993).

➤ Características de las aguas residuales

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental de cara al proyecto y explotación de las infraestructuras tanto de recogida como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales, así como para la gestión de la calidad medioambiental. Para facilitar este conocimiento, en este capítulo se proporciona información sobre las diferentes áreas temáticas de interés, que incluyen: (1) introducción a las características físicas, químicas y biológicas del agua residual; (2) definición y utilidad de las características físicas; (3) definición y utilidad de las características químicas; (4) definición y utilidad de las características biológicas; (5) composición de las aguas residuales; y (6) estudios de caracterización de aguas residuales (cidta, 2017).

1) Introducción a las características físicas, químicas y biológicas del agua residual:

- **Características Físicas:** los procedimientos de tratamiento físico comúnmente utilizados son procedimientos de ordenación y de limpieza, propiamente dicha seguidos del tamizado para la eliminación de los sólidos pesados y sedimentables, tubos en U para grasas y depósitos de despumación para la eliminación de los sólidos finos y las grasas y aceites.
- **Características Químicas:** □ este paso es usualmente combinado con procedimientos para remover sólidos como la filtración. La combinación de ambas técnicas es referida en los Estados Unidos como un tratamiento químico.

- Características Biológicas: se necesitarán procedimientos adicionales principalmente cerca de zonas urbanas donde las descargas de desechos tratados pueden ir a parar a capas freáticas o cerca de éstas. Las normas para los sistemas de tratamiento aeróbico en regiones remotas.
- 2) Definición y utilidad de las características físicas: son todos aquellos en los que se emplean las fuerzas físicas para el tratamiento, aunque algunas son casi exclusivamente operaciones de pretratamiento. Los procedimientos de tratamiento físico comúnmente utilizados son procedimientos de ordenación y de limpieza, propiamente dicha seguidos del tamizado para la eliminación de los sólidos pesados y sedimentables, tubos en U para grasas y depósitos de despumación para la eliminación de los sólidos finos y las grasas y aceites.
- 3) Definición y utilidad de las características químicas: son todos aquellos procesos en los que la eliminación de los contaminantes del agua residual se lleva a cabo mediante la adición de reactivos químicos o bien mediante las propiedades químicas de diversos compuestos. Los procesos químicos se utilizan en la depuración de aguas junto a operaciones físicas y procesos biológicos.
- 4) Definición y utilidad de las características biológicas: se puede realizar en todo tipo de aguas y es generalmente un tratamiento secundario. Tiene como misión la coagulación y eliminación de sólidos coloidales no sedimentables en la decantación primaria así como la estabilización de la materia orgánica. El consiste en la oxidación biológica de la materia orgánica disuelta y coloidal, medida como una reducción de la DBO5 del efluente.

La mayor parte de los países cuentan con leyes o con códigos de reducción de la contaminación para el tratamiento de los residuales, en los que se establecen normas de manejo que reducirán las formas más graves de contaminación y el reuso de las aguas residuales.

➤ Origen de las aguas residuales en los mataderos y plantas de elaboración

Los corrales o establos anexos a los mataderos suelen estar dotados de canales de captación pavimentados y cubiertos. Las aguas están constituidas por los desbordamientos de los depósitos, excrementos líquidos y las aguas para lavar los corrales que contienen estiércol. Los corrales no cubiertos están expuestos a inundaciones en las épocas de lluvias con la consiguiente lixiviación del propio estiércol al sumidero.

La naturaleza de estos desechos es de prever que varía considerablemente, según que existan o no canales de captación, las prácticas de retirada del estiércol o la frecuencia de los lavados, así como el grado en que los materiales de paja de las camas y los restos de alimentos no utilizados se incorporan a la carga diaria y el grado de la limpieza en seco inicial de los establos o de los vehículos de transporte.

Cuando no se respetan esas prácticas de limpieza, aumentará el número de coliformes y la carga orgánica en las aguas residuales descargadas. Los excrementos se deben recoger secos y apiñarse para formar un composte o un cúmulo de estiércol para la recogida periódica con el fin de utilizarlo como abono agrícola o en los climas cálidos y secos, si se trata de excrementos de oveja, como ingrediente para la fabricación de ladrillos.

Por otro lado, las granjas producen un elevado volumen de residuos húmedos en forma de estiércol de animales. La forma común de tratar estos residuos es esparciéndolos en los campos de cultivo, con el doble interés de disponer de ellos y obtener beneficio de su valor nutritivo. Sin embargo, cuando existen cantidades elevadas de estiércol esta práctica puede provocar una sobrefertilización de los suelos y la contaminación de las cuencas hidrográficas.

El **estiércol**: es el nombre con el que se denomina a los excrementos de animales que se utilizan como abono orgánico para fertilizar los cultivos y como materia orgánica para la generación de biogas. En ocasiones el estiércol está constituido por más de un desecho orgánico, como por ejemplo excrementos de animales y restos de las camas, como sucede con la paja. El lugar donde se vierte o deposita el estiércol es el estercolero (Veall, 1993).

En Cuba el estiércol es utilizado ampliamente como materia orgánica para la producción de biogás por descomposición anaeróbica. Se alimenta a un biodigestor, en condiciones requeridas, para la producción de biogas utilizado como combustible de alto valor agregado, además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico.

Las actividades enumeradas más arriba son los procesos primarios realizados en los mataderos propiamente dichos a los que se añade quizá las operaciones de tratamiento de subproductos que contribuyen a la carga de aguas residuales del matadero. Conviene repetir que con la limpieza inicial en seco de los corrales en ciertos departamentos se pueden reducir las cargas de aguas negras.

Piso de los locales de matanza: Muchos mataderos recogen la sangre para elaborarla en las plantas de preparación de subproductos o venderla a fabricantes de fertilizantes. Algunas plantas utilizan parte de la sangre para incorporarla a su harina de carne y venden o regalan la restante. Esto reducirá sustancialmente la demanda de oxígeno y colorantes de las aguas residuales descargadas en el alcantarillado y se debe, por tanto, estimular.

Estiércol de las tripas: Se suele segregarse de los desechos líquidos y se añade al estiércol de los corrales para la preparación de compostes, por separado. Los mataderos de las ciudades pueden también deshacerse del estiércol con la basura. Una eliminación por separado del estiércol de las tripas reduce materialmente la cantidad de sólidos sedimentables en las aguas residuales que entran en las alcantarillas.

Lavado del suelo y del equipo: Contienen en todos los departamentos sangre, excrementos, carne, grasas y partículas de huesos.

Preparación de las canales: Las aguas con que se han lavado las canales contienen sangre, carne y partículas de grasa de los recortes.

Preparación de subproductos: Muchos mataderos utilizan las canales decomisadas y los despojos para preparar sebos y harina de carne no comestible. Cuando se utiliza el tratamiento húmedo de subproductos, el agua que queda en los depósitos después de quitar las grasas y los residuos se vuelve a tratar. Las instalaciones de tratamiento de subproductos en seco no producen aguas depositadas ya que toda el agua cargada en el fundidor se evapora. La materia prima utilizada para la preparación de subproductos se desmenuza y lava. Esta operación incorpora una considerable cantidad de residuos a las aguas negras que están constituidos por pequeñas partículas de carne y grasa y contenido de los intestinos. Cuando se emplea el procedimiento de tratamiento por vapor la centrifugación produce más aguas depositadas.

Eliminación de los pelos del ganado: Los pelos se aflojan en una caldera de escaldado y se quitan raspándolas. La descarga de las aguas de la caldera y los restos de los raspados contienen pelo, suciedad y costras de la piel de los cerdos que se añaden a la carga de las aguas residuales. Para reducir estos residuos, las cerdas se pueden hidraulizar por medio de su tratamiento por vapor con la incorporación de cal y cuando se seca produce un material en polvo.

Almacenamiento de los cueros: Los cueros recién extraídos en el piso para la matanza se apilan con el lado de la carne hacia arriba y se espolvorean con sal. Una pequeña cantidad de residuos de esas pilas, además de las aguas utilizadas para lavar los suelos, van a parar al sistema de drenaje.

Cámara de refrigeración: Los desechos líquidos procedentes de esta unidad tienen escasa importancia.

Limpieza de las entrañas: Después de extraer el contenido sólido, que se elimina como desecho semisólido destinado a la preparación de compostes, las entrañas se lavan para extraerles su mucosidad por compresión o presión, se salan, secan, vuelven a salar y envasan para el despacho. Los recortes y la mucosidad de las tripas se tratan para recuperar las grasas y las proteínas. Las aguas residuales de las máquinas de limpieza se descargan en los canales de captación para recuperar las grasas.

Cuarto de las tripas: La tripa o la parte muscular del estómago de los bovinos se lava y escalda. Las aguas del lavado y del escaldado que contienen grasas y materia suspendida se descargan en los canales de captación.

Lavandería: Las lavanderías de los mataderos grandes son de considerable dimensión y pueden producir aguas residuales con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días de 1300ppm.

➤ Consideraciones relativas al diseño del canal comunes a todos los tipos de recolección

Las aguas de desagüe y residuales deben ser recogidas, tratadas y eliminadas teniendo en cuenta las cantidades, el tipo de ganado, la índole de los líquidos y sólidos, las posibilidades de su uso después del tratamiento, la necesidad de evitar la contaminación del medio ambiente y la protección de la salud pública.

La instalación de recogida de las aguas residuales debe estar diseñada de manera que se divida en diferentes sistemas en el punto de origen, particularmente en lo que respecta a las plantas medianas o grandes:

- Drenaje de la sangre.
- Desagües de los corrales y del estiércol de las tripas.
- Desagüe de las áreas de la matanza, los subproductos y su tratamiento.
- Desagüe de residuos domésticos.
- Desagüe de las aguas caldeadas, y de las zonas de venta, aparcamiento y servicios.

La separación de los sistemas de desechos permitirá hacer economías en la adopción de medidas de tratamiento secundario en todo el sistema. La necesidad de esas medidas se limita a los departamentos o zonas donde la carga de contaminación o la demanda de oxígeno bioquímico es máxima. La separación normalmente dará origen a varios sistemas principales, como se ha mencionado más arriba, pero el desagüe desde las zonas de matanza, subproductos y tratamiento de subproductos es posible que requiera una mayor segregación.

Las cantidades de agua residuales estarán en lo esencial relacionadas con el número de animales sacrificados y el agua total (caliente y fría) consumida en la nave de carnización y las áreas para subproductos y su tratamiento, con inclusión de todos los desechos que contengan agua mezclada con la suciedad de lo que se ha lavado en ella y sólidos suspendidos, y el cálculo del volumen total se examina al tratar del volumen de las aguas de desecho con respecto al tratamiento.

El sistema de desagüe de la sangre debe calcularse para los mataderos sobre la base de un mínimo de 0,75 a 1,00 litros de sangre por cada oveja y cabra y de 10 a 12 litros por cada bovino y de 3 litros por cada cerdo sacrificado. Estas cifras se aumentan en un 30 por ciento para los bovinos cuyo peso en vivo es comparable al que se encuentra en Europa septentrional.

El sistema de alcantarillado para el estiércol de las tripas debe calcularse en lo que respecta a los mataderos sobre la base de 1,25kg de estiércol por cada oveja y de 16kg de estiércol por cada bovino sacrificado. Estas cifras se aumentan en el 30 por ciento para los bovinos con un peso en vivo comparable con el que se encuentra en

Europa septentrional.

El sistema de alcantarillado doméstico debe calcularse en función de la población. Los sistemas de drenaje de los corrales y de las áreas de aparcamiento y servicios suelen depender de la elección final y del emplazamiento del matadero y no pueden uniformarse exclusivamente sobre la base de la capacidad de matanza.

Sea cual sea el tratamiento y el sistema de eliminación posteriores, las medidas de pretratamiento de las aguas residuales son obligatorias y es prescriptivo que las aguas residuales crudas no contengan más de 50 partes por millón de grasas que puedan flotar y deben haber atravesado una parrilla de barros.

En esas situaciones los efluentes, hayan recibido tratamiento secundario o no, pueden descargarse en los cursos de agua o en los canales de regadío. La descarga, sin embargo, sólo debe autorizarse cuando la corriente de agua de todas las fuentes es suficiente en todas las estaciones del año para arrastrar las aguas residuales lejos de la planta o, en las zonas de fuertes precipitaciones, cuando el aumento de la corriente durante la estación de las lluvias no las acumulará en los locales del matadero.

Nunca se insistirá lo bastante en que el tratamiento de las aguas residuales comienza en la planta, donde se debe hacer todo lo posible por adoptar una recuperación eficiente de los subproductos y una limpieza en seco, no sólo porque ese material es en sí valioso, sino también porque la cantidad de desechos en el agua y el volumen efectivo del agua utilizada disminuyen asimismo, reduciendo de ese modo los gastos.

➤ Fases y sistemas de tratamiento

Tras la separación inicial de las diversas categorías de aguas residuales, el grado y el método tecnológico de tratamiento varía considerablemente debido en parte a la falta de uniformidad de la producción, la tecnología de elaboración, el equipo de tratamiento de las aguas residuales y su emplazamiento.

Siempre que es posible, las aguas residuales deben dirigirse a un sistema de alcantarillado público, aunque este procedimiento requerirá cierto grado de tratamiento primario o pretratamiento como requisito mínimo. Las exigencias de los países en desarrollo difieren en la medida en que no existen sistemas de alcantarillado principales salvo, quizá, en el centro de la capital o de las ciudades principales y en esos países, por consiguiente, se debe dar por supuesto que las aguas residuales se descargan en las aguas de superficie (ríos, lagos o tuberías de desagüe en alta mar) y en esas situaciones se producen invariablemente diversos grados de tratamiento que pueden contribuir a la viabilidad económica de la empresa de elaboración de manera aún más significativa que en los países industrializados. Los procedimientos de tratamiento que se pueden emplear se clasifican en tres categorías distintas, a saber: primario, es decir, tratamientos físicos y químicos; secundario, es decir, tratamientos biológicos anaeróbicos o aeróbicos y, por último, una combinación de los dos tratamientos secundarios. Todos los

tratamientos indicados garantizan cierto grado de control, si no un control total, de los patógenos y de los niveles de contaminación.

En la mayor parte de los sistemas, una vez extraída la grasa y los elementos sólidos gruesos de las aguas de desecho, por lo general se deja que las corrientes separadas se mezclen y, si es posible descargar las aguas de desecho en un alcantarillado público local. quizá no se requiera ningún otro tratamiento en el matadero. Cuando resulta posible, la descarga en un alcantarillado público local es obviamente el mejor método de eliminación. pero en los países en desarrollo apenas se dispone de alcantarillas y las instalaciones de tratamiento no tienen la capacidad para ocuparse de los desechos comerciales, por lo que en esas situaciones es factible tratar las aguas de desecho directamente por medio del tratamiento primario más arriba indicado.

Uniformización de las corrientes de agua residuales: La utilización de depósitos equilibradores e igualizadores de las corrientes evitan la necesidad de que las plantas especializadas de tratamiento tengan una dimensión excesiva para ocuparse de las corrientes máximas. Constituido simplemente por un depósito de acero o de hormigón fabricado localmente (o de una laguna cuando se dispone de tierras) el depósito equilibrador ofrece la ventaja de que la descarga del matadero se efectúe en un sistema municipal de alcantarillado y de tratar a sus propias aguas residuales. En el primer caso, se puede necesitar una cisterna para evitar que se supere el límite de la corriente impuesto por las autoridades locales en los momentos de máxima producción. En el otro caso, un depósito equilibrador, al regular las diversas corrientes diurnas, permite que el procedimiento de tratamiento en la planta se conciba para corrientes medias y no máximas. El control de los contaminantes y de las cargas de choque puede también dar origen a una utilización más eficiente de las instalaciones de tratamiento posterior. A título de ejemplo típico, las aguas residuales se impulsan a un ritmo regular a lo largo del período de trabajo deseado (es decir, si las aguas residuales diarias totales = 400m³, una bomba puede dar un impulso de 17m³/hora durante 24 horas o de 40m³ durante 10 horas). El ritmo efectivo debe poder ajustarse insertando en la cadena de descarga una junta en T, haciéndose retroceder a la corriente controlable hacia el depósito de igualización. El nivel no debe descender por debajo del 30 por ciento del volumen total para que se disponga de líquido que permita la igualización de las corrientes de entrada de aguas residuales.

➤ Sistemas de tratamiento primario (físico)

Los procedimientos de tratamiento físico comúnmente utilizados son los siguientes: procedimientos de ordenación y de limpieza propiamente dicha seguidos del tamizado para la eliminación de los sólidos pesados y sedimentables, tubos en U para grasas y depósitos de despumación para la eliminación de los sólidos finos y las grasas y aceites.

En el pretratamiento de las aguas residuales de la industria de la carne se utiliza invariablemente el paso por una rejilla para excluir la carne, los huesos, las

descarnaduras de pieles y cueros y otros sólidos gruesos de las aguas de desecho. Su función es sumamente importante y produce la eliminación de condiciones perjudiciales (bloqueos de la bomba o de las tuberías), corriente abajo, así como el mejoramiento de la eficiencia de los procedimientos de pretratamiento. Ese método tiene escaso efecto en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno, las grasas y los aceites o los sólidos en suspensión. Aunque en general no se consideran muy favorablemente las rejillas de barrotes, por obstruirse fácilmente y requerir una constante atención para evitar bloqueos, esta desventaja se puede pasar por alto cuando existe abundancia de mano de obra barata. Una serie de rejillas fabricadas localmente podría también resultar adecuada, cuando se utilicen dos o tres rejillas de barras con aperturas comprendidas entre los 5 cm y los 0,5 cm.

Esas rejillas pueden necesitar ser limpiadas a mano con regularidad. Más eficientes, pero que no dejan de necesitar limpieza, son los tamices del tipo Baur Hydrasieve construidos con patente con alambre en forma de cuña. Los datos relativos al rendimiento son los siguientes: un tamiz con una superficie de 1m (espaciamiento de 1mm) = 6 a 18m³ de corriente/hora.

Las altas concentraciones de grasas que se dan en las aguas residuales de la industria de la carne se pueden reducir si los canales de desagüe del suelo y el equipo de los departamentos competentes se dota de tubos en U antes de pasar por la criba para evitar el bloqueo de las tuberías, los desagües y otro equipo. Las grasas pueden causar problemas en las cámaras de sedimentación que cuentan con separadores de espumas insuficientes cuya acumulación puede bloquear el filtro y provocar un posterior estancamiento y problemas de olor, en el cieno activado a causa de la acumulación y en los digestores al formar una capa en la superficie que no se degradará. La eliminación de hasta el 90 por ciento de las grasas que flotan libremente mediante la utilización de tubos en U para grasas es posible, pero de tratarse de desechos de carne, particularmente cuando se transportan trozos de carne, es más eficiente la flotación por aire disuelto.

La flotación por aire disuelto es el procedimiento de flotación más común y se utiliza principalmente para el tratamiento primario de las aguas residuales de los mataderos. El aire se disuelve en el agua residual bajo presión (3–4m³/hora por m³ de depósito) y posteriormente se transforma en microburbujas (de 50 mm a 200 mm de diámetro) a presión atmosférica. La flotación por aire disuelto facilita la recuperación de sebos, aceites y grasas, sólidos suspendidos y la demanda bioquímica de oxígeno, por un total de un 30 por ciento a un 60 por ciento de sólidos suspendidos y de un 50 por ciento a un 80 por ciento de sebos, aceites y grasas.

➤ Tratamiento primario (fisicoquímico)

Una tecnología relativamente sencilla permite extraer hasta el 95 por ciento de los sólidos en suspensión y posiblemente el 70 por ciento de la demanda bioquímica de oxígeno por medio del tratamiento fisicoquímico.

En lo esencial, el procedimiento fisicoquímico consiste en los siguiente:

Condicionamiento o pretratamiento de las aguas residuales mediante la incorporación de coagulantes y agentes de floculación para facilitar la sedimentación de los sólidos en suspensión. Esta fase va seguida de la clarificación: paso a través del depósito de sedimentación que separa el sedimento pesado del flotante, que es un líquido claro casi desprovisto de sólidos en suspensión y con unos niveles muy reducidos de demanda bioquímica de oxígeno.

Cuando las aguas residuales se tratan íntegramente en el lugar del matadero, es esencial facilitar la sedimentación primaria, que es probablemente necesaria si los desechos van a pasar posteriormente por filtros. Se utilizan dos tipos de depósitos de sedimentación y las dimensiones varían considerablemente.

Los depósitos de sedimentación de corriente horizontal son necesarios para las cargas pesadas y sus dimensiones deben permitir un período de retención de seis horas. Esos depósitos requieren, sin embargo, la eliminación regular del cieno, por lo que es necesario disponer de un depósito de reserva. La eliminación del cieno puede efectuarse por gravedad o con una bomba de cieno después de haber bombeado las materias flotantes al depósito de reserva. Para corrientes de más de 1000 m³/día pueden resultar rentables raspadores mecánicos.

Los depósitos cilíndricos de sedimentación vertical de fabricación local parecen ser sedimentadores primarios más eficientes y eficaces en función de los costos para los mataderos de tamaño mediano. Se pueden fabricar de acero con revestimiento epoxídico, con fibras de vidrio o contruidos en forma rectangular empleando hormigón armado, si se dispone de este material.

Al ser los ángulos de 60°, el cieno de las paredes se quita solo. El requisito fundamental es en este caso que se produzca cierto grado de turbulencia en la entrada para lograr la mezcla e impulsar la floculación. Las turbulencias deben evitarse en los demás lugares. Con el empleo de la gravedad, los sólidos se asientan y se concentran en la base, desde la que pueden extraerse a través de la válvula. Las aguas residuales clarificadas se extraen suavemente de la parte superior. El ritmo de la corriente ascendente debe oscilar entre 1,0 m³ y 1,5 m³/hora.

Manejo y eliminación del cieno: El cieno resultante de los sistemas de sedimentación descritos debe estar libre de sustancias tóxicas y resultaría aceptable en muchas regiones como fertilizante agrícola. El cieno resultante contendrá de un 3 por ciento a un 5 por ciento de sólidos y podrá pasar por gravedad o por bombeo al área de eliminación; de lo contrario se necesitarán lechos para el secado.

Lechos para el secado o bandejas de evaporación: Se recomiendan para mataderos de tamaño pequeño o mediano, aunque sólo si están situados en la periferia de las ciudades. Para países con amplios recursos de tierras, la disponibilidad de cieno en las zonas de engorde del ganado puede mejorar la viabilidad económica y proporcionar empleo. Estas tareas requieren mucha mano de obra y el vaciado se debe efectuar a mano cuando la concentración de sólidos alcanza aproximadamente

1m³ por 40 kg de cieno.

Construcción de los lechos o bandejas: Normalmente se construyen con capas de materiales de filtración provistas de tuberías en la base que conducen a las tierras agrícolas para recoger los materiales de desecho líquidos que deben volver a reciclarse en el depósito de igualización para proceder a un nuevo tratamiento. Los tanques de evaporación se recomiendan para países con altas tasas de transpiración y escasas precipitaciones y se construyen de manera análoga con revestimiento interior de butilo para contener el cieno y con tubos de desbordamiento y terraplenes para retener las aguas residuales en períodos de aguaceros o de las lluvias cortas de los monzones.

A título de indicación, por cada metro cúbico de lechado de cieno producido al día hace falta 1m² de superficie de lecho al día. Por ejemplo, si un lecho tuviera 14 m x 5 m de superficie para secar a 35 m³ de lechado de cieno, período de secado podría variar de 2 a 4 semanas según las condiciones locales y el grado de acondicionamiento de cualquier producto químico recibido. Si la semana es de seis días de trabajo, se necesitarían de 10 a 12 lechos de secado con las dimensiones más arriba indicadas (superficie total requerida de 700 m² a 1400 m²).

Contaminación de las aguas subterráneas: Durante la instalación y utilización de lechos, bandejas, cuencas o estanques se debe prestar la debida consideración a las condiciones geológicas locales. Si no se dispone de datos en cuanto a la permeabilidad de los subsuelos puede resultar apropiado revestir todos esos elementos con láminas de butilo o con hormigón pintado con betún natural, para evitar la contaminación de las aguas subterráneas por lixiviación de la planta de tratamiento.

Otros sistemas de eliminación del agua del cieno: Los espesores del cieno (coagulantes) anteriormente indicados pueden emplearse para intensificar la condensación del cieno hasta que se transforme en sólidos al 10 por ciento en un día. Sin embargo, incluso cuando están así condensados, siguen siendo difíciles de manipular y necesitan otro tratamiento (por ejemplo, los lechos de secado).

Si la clarificación (eliminación de los sólidos en suspensión) es eficiente en los procedimientos de tamizado y fisicoquímicos, las aguas residuales finales procedentes de ese tratamiento deben tener una turbiedad y un color mínimos y estar prácticamente libres de tóxicos, por lo que su descarga sería aceptable en casi todas las circunstancias. Ese tratamiento requiere bastante poco capital y la tecnología ha de resultar comprensible y corresponder a la esfera de competencia del personal de mantenimiento del matadero. Solo en las situaciones urbanas debe resultar necesario pasar a procedimientos de mayor densidad de capital y resultaría difícil controlar las etapas secundarias del tratamiento de las aguas residuales (biológico) para suprimir los niveles reducidos de contaminación restantes, etapas que se enumeran a continuación.

➤ Sistemas de tratamiento secundario (biológico)

Se necesitarán procedimientos adicionales principalmente cerca de zonas urbanas donde las descargas de desechos tratados pueden ir a parar a capas freáticas o cerca de éstas. Se requieren normas superiores a las aceptables para los sistemas de tratamiento en regiones remotas, entre las cuales las siguientes:

- Aeróbicos;
- Procedimiento de cieno activado (convencional);
- Procedimiento de cieno activado (foso de oxidación);
- Tratamiento biológico anaeróbico (formación de estanques).

El diseño y utilización de estos sistemas incumbirán, debido a las normas y salvaguardias que se han de respetar, a las autoridades locales competentes y no al explotador del matadero quien tendrá, no obstante, que pagar una carga por esos servicios. Sólo los grandes mataderos que descargan en las redes de alcantarillado municipales pueden considerar que la imposición de otro tratamiento secundario resultará económicamente justificable para producir posteriormente una reducción de sus descargas de aguas residuales.

La elección del sistema más adecuado depende de los costos, del nivel de demanda bioquímica de oxígeno requerido, de la superficie de tierras disponibles, del nivel de olores y de los requisitos municipales, en la forma en que proceda. Estos sistemas secundarios que se mencionan en la sección siguiente, deben ser selectivos y requieren un gran capital. Un tratamiento secundario de ese tipo para una planta de tamaño intermedio estaría justificado únicamente si se comparte con otros usuarios industriales o si se incluye una carga doméstica de la ciudad de que se trate para sacar partido de las economías de escala necesarias. En todos los sistemas mencionados, se da por supuesto que es necesario un tratamiento preliminar en el matadero, particularmente en la sedimentación, cuando las aguas residuales pasan por filtros como en los sistemas aeróbicos.

1.2.2 Conclusiones y consideraciones sanitarias aplicables a los países en desarrollo

La purificación de las aguas residuales es un proceso de centralización y aceleración que normalmente se da en la naturaleza. Sin embargo, las variaciones en la índole de los desechos crudos, en los grados de pretratamiento en las operaciones de elaboración de la carne, en las prácticas de conversación de los desechos, en las condiciones climáticas y en las características del subsuelo influirán en el diseño. Algunos estanques son anaeróbicos por proyecto, otros por accidente. Algunos sistemas reciben un tratamiento de aeración inducido en la etapa primaria, mientras que otros lo reciben en la etapa secundaria en un intento por

conseguir que el agua contaminada entre en contacto íntimo con el aire en la medida en que resulte posible.

Dados los diferentes tipos de sistemas convencionales de tratamiento mecánico utilizados y las variantes de sus subsistemas, muchos de los cuales no están todavía internacionalmente uniformados, resulta difícil cualquier intento de generalización. No obstante, se pueden sacar algunas conclusiones generales para los países en desarrollo, y una premisa importante es que es más realista y factible instalar una planta de tratamiento segura y cuya dirección resulte fácil para eliminar hasta el 75 por ciento de los contaminantes que gastar posiblemente el séxtuplo del capital para montar una planta convencional perfeccionada, que requeriría unos conocimientos tecnológicos de que no se dispone. Existe además la posibilidad de que en cuestión de meses incluso esas plantas resulten inoperativas. Debido al costo, al mantenimiento y al propio proceso, no se aconseja un tratamiento convencional sofisticado, por los motivos siguientes:

Comparado con otros procedimientos, incluso el tratamiento convencional de las aguas residuales es muy caro tanto en capital como en gastos de funcionamiento. Pocos países en desarrollo disponen de las instalaciones para fabricar el equipo relativamente complejo requerido para el tratamiento convencional, equipo que se ha de importar y pagar con las escasas divisas de que se dispone; a título de ejemplo, los gastos anuales del tratamiento convencional de las aguas residuales son de 4 a 6 veces superiores a los de los sistemas de estanques aireados y de estabilización de desechos.

Mantenimiento: El tratamiento convencional depende en gran medida de todo un conjunto de máquinas eléctricas que han de mantenerse a un alto nivel de rendimiento para que la planta funcione de manera satisfactoria. En muchos países en desarrollo no se dispone de los expertos en mantenimiento necesarios.

El propio proceso: (i) El tratamiento convencional de las aguas residuales está concebido principalmente para eliminar materia orgánica con el fin de evitar la contaminación en los cursos de agua receptores; se presta escasa atención al destino de los patógenos fecales, pese a que en muchos países en desarrollo tropicales y subtropicales la distribución de los patógenos fecales es considerablemente más importante que la eliminación de la demanda bioquímica de oxígeno. (ii) El tratamiento del cieno puede resultar difícil y caro, y representar hasta el 40 por ciento del gasto total del tratamiento de las aguas residuales. (iii) La formación y emisión de olores puede ser muy intensa en climas cálidos, especialmente si se dispone de filtros de goteo de ritmo lento que tienen también la desventaja de ser un criadero de sicódidas, cuya presencia en grandes nubes puede impedir efectivamente toda actividad humana en las cercanías de las instalaciones (Veall, 1993).

En los mataderos emplazados en o cerca de las periferias urbanas, donde las tierras son escasas, el tratamiento convencional es inevitable y el empleo de filtros de goteo muy rápidos con unos ritmos de carga hidráulica de hasta cinco veces los de

los filtros de ritmo elevado pueden resultar necesarios, al igual que las técnicas de filtración doble alternativa para conseguir unos niveles satisfactorios con una utilización mínima de la tierra. Esta consideración puede por sí sola determinar en gran medida la elección de un matadero. En zonas rurales, con escasa limitación de disponibilidad de tierras, los sistemas primarios (tratamiento físico/químico) suelen bastar y, de ser necesario lograr unos niveles superiores de tratamiento de las aguas residuales, se ha considerado adecuada alguna forma de tratamiento en estanques.

La mayoría de los países en desarrollo se encuentran en zonas tropicales o áridas y cuando la incidencia de enfermedades epizoóticas es sumamente elevado el peligro para la salud pública es mayor que en las regiones templadas. Incluso así, los animales sanos en cualquier región debe darse por supuesto son portadores no descubiertos de salmonelas. Los organismos patógenos, como los bacilos de la fiebre tifoidea, los quistes de la disentería y las huevas de las lombrices, se ha demostrado que inicialmente no se ven afectados por los tratamientos anaeróbicos. Debido a ello, sea cual sea el procedimiento o grado de tratamiento de las aguas residuales que se adopte, habría que desinfectar siempre a las aguas residuales finales y aplicar tratamiento térmico al cieno, particularmente en las plantas de preparación de productos no comestibles donde pueden proliferar las esporas del ántrax.

No obstante las desventajas climáticas, la situación de la tierra es tal que a menudo se dispone de más terrenos para la producción de cultivos y la aplicación de procedimientos de riego que en los países industrializados posiblemente más urbanizados. Cuando se dispone de una superficie de tierra adecuada y las condiciones climáticas son favorables, las aguas residuales digeridas pueden estancarse en estanques de oxidación adecuadamente diseñados, para que la fotosíntesis pueda actuar y se pueden descargar las aguas residuales que tienen una demanda bioquímica de oxígeno negativa. Ese tratamiento en estanques evita las dificultades de la nitrificación y supera los problemas relacionados con un cieno finamente dividido puesto que los únicos sólidos descargados son los asociados con el fitoplancton vivo que puede darse por supuesto se transforma en un componente de la flora biológica de las aguas receptoras. Una ventaja de este tratamiento en estanque reside en la capacidad de reducir las bacterias en las aguas residuales descargadas. Por otro lado, para los mataderos de tamaño intermedio, el costo de esa purificación de las aguas residuales es prohibitivo y, aunque sea a expensas de la calidad de las aguas residuales, la etapa del tratamiento en estanque podría omitirse y el tratamiento primario solo resultaría de una calidad suficiente para el riego en los pastizales para el ganado bovino o en los forrajes para las ovejas. Esas aguas residuales primarias tendrían un alto contenido orgánico (la demanda bioquímica de oxígeno podría llegar a 1000 mg/l), cierta cantidad de sólidos en suspensión (por ejemplo, 100 mg/l) y un elevado número de bacterias, por lo que consecuentemente las aguas de desecho probablemente contendrían algunos microorganismos patógenos.

Los estanques, en cambio, reducirían considerablemente las posibilidades de que las aguas residuales finales contengan organismos patógenos. Sin embargo, si las aguas residuales se utilizan después del tratamiento primario exclusivamente, este problema podría superarse en gran medida utilizando una rotación de pastizales y tierras de regadío en barbecho después del período de riego durante por lo menos dos semanas antes de un nuevo pastoreo. Durante ese período morirían los microorganismos patógenos y de otro tipo.

El empleo de estas aguas residuales primarias para pastos para ovejas o para forrajes para ovejas se ajustaría a lo indicado en el informe técnico de la OMS N° 517, relativo a la nueva utilización de las aguas residuales. Esas aguas residuales se han utilizado en muchos países, entre ellos Nueva Zelanda. En las normas de renovación de las aguas de California y Alemania se han enumerado las aguas residuales primarias como adecuadas para los cultivos de semillas y de fibras de forraje. La adopción de esas medidas reduce los gastos del tratamiento de desechos y las economías en la renovación de los pastos de las tierras de regadío aumentará los ingresos resultantes del engorde de ganado en situaciones donde las reses necesitan un amplio descanso y piensos antes de la matanza.

Aunque puedan existir tratamiento de residuales , estos tambien pueden ser aprovechados en la producción de energía, tal es el caso de los biodigestores.

1.3.BIODIGESTORES

El biodigestor es el digestor de desechos orgánicos es en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales que no incluyen cítricos ya que acidifican el medio y otros desechos orgánicos) en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos(Fúquene and Hernández, 2012).

Los biodigestores que se aplican en las industrias carnicas son:

- **Digestor UASB de Manto de Lodos en Flujo Ascendente (UpflowAnaerobicSludge Blanket) (Lorenzo and Obaya, 2006)**

- **Ventajas**

- La producción de lodos estabilizados en exceso es mínima y fácilmente drenable hasta de 30 a 40 % y, por tanto, los costos de tratamiento del lodo y su transportación posterior son relativamente bajos.
- Se pueden aplicar altas cargas hidráulicas y orgánicas con eficiencias aceptables.

- El reactor necesita poco espacio.
- Los lodos anaerobios adaptados pueden mantenerse sin alimentación por largos períodos de tiempo, por lo que el proceso resulta muy adecuado para las industrias que trabajan de forma cíclica.
- Su construcción no es compleja y los costos de operación y mantenimiento son relativamente bajos.
- Desventajas
 - El comienzo del proceso es lento y requiere de un período de 8 a 12 semanas.
 - El proceso es sensible a la presencia de compuestos tóxicos.
 - La reducción de bacterias patógenas es relativamente baja.
- **Digestor CSTR de Mezcla Continua (Continuously Stirred Tank Reactor) (Azmar and Cabanelas, 2000)**
 - Ventajas:
 - Buen control de temperatura, simplicidad de construcción, bajos costes de operación
 - Desventajas:
 - Baja conversión por unidad de volumen
- **Biodigestores de membrana**
 - Ventajas:
 - Reduce el volumen (tamaño) del tanque de alimentación
 - Desventajas:
 - La biomasa es mezclada varias veces al día
- **Sistemas de biofiltros anaeróbicos**
 - Ventajas:

- Sistema Ecológico que permite el reuso de las aguas tratadas.
 - Sistema modular muy flexible.
 - Produce Lodos Estables que pueden ser utilizados como abono natural.
 - Alta eficiencia en el tratamiento de sólidos y líquidos orgánicos.
 - Eliminación de agentes patógenos sin necesidad de etapa posterior □de cloración.
 - Bajos costos de operación, mantenimiento y limpieza.
 - No requiere suministro de oxígeno, el diseño contempla la aereación natural.
 - No requiere usuarios expertos.
- Desventajas:
- Requiere de grandes volúmenes de reactor para su implementación.
 - No resiste periodos sin alimentación- Necesidad de suministrar nutrientes.
 - Requiere de un proceso de adaptación -Arranque complejo.
 - No soporta variaciones grandes de carga ni caudal.
 - No es recomendable para tratar grandes volúmenes de efluente.
-
- **Lagunas de estabilización anaeróbicas**
- Ventajas:
- Simplicidad de construcción y operación
 - Costos bajos de operación (no se necesita equipos mecánicos o energía eléctrica)
 - No se requieren operadores de calificados
 - Alta eficiencia en eliminación de patógenos
 - Pueden tratar aguas residuales domésticas e industriales
- Desventajas:
- Necesidad de grandes extensiones de terreno

- Necesidad de terrenos aptos para la ejecución de lagunas
- No hay modelos matemáticos completos
- Problemas de olores
- Son sensibles a factores ambientales (incontrolables)

Se recomienda donde el precio de la tierra sea bajo, el clima sea favorable y se desee tener un método de tratamiento que no requiera de operadores especialmente capacitados.

1.4.TECNOLOGIAS MÁS LIMPIA Y ANÁLISIS ECONÓMICO

Una tecnologías más limpia, es la tecnologías que al ser aplicada no produce efectos secundarios o transformaciones al equilibrio ambiental o a los sistemas naturales, de manera que las tecnologías limpias lo más destacable es la reducción de los desechos no biodegradables, y la auto sostenibilidad ambiental, es decir, la reposición del gasto ecológico causado por la actividad manufacturera. El uso de estas tecnologías más limpias posibilita un mejor manejo de desechos, esto a través de un aprovechamiento máximo de las materias primas, alcanzando un alto grado de utilidad, con poca producción de desechos se alcanza controlar el problema de la contaminación hasta cierto punto. Las tecnologías limpias son un grupo de técnicas empleadas de forma continua para la disminución de la contaminación de los ecosistemas, minizando las repercusiones sobre las personas y los ecosistemas en general.

Tecnología verde o tecnología más limpia es la aplicación de la ciencia ambiental para conservar el ambiente natural y los recursos, y frenar los impactos negativos de la involucración de humanos. El desarrollo sustentable es el núcleo de las tecnologías ambientales. Cuando se aplica el desarrollo sustentable como solución para asuntos ambientales, las soluciones tienen que ser socialmente equitativas, económicamente viables, y ambientalmente seguras(PNUMA, 1989).

En el orden económico estas tecnologías llevan consigo importantes disminuciones em los costos por lo que cada empresa debia aspirar a tener cada dia una tecnologia em la que no solo se tenga en cuenta las tecnologías sino tambien el entorno natural estos aspectos se realcionana a continuación:

Impactos Económicos cuando se introducen cambios hacia tecnologías más limpias(Castañeda, 2011):

- Disminución del costo del tratamiento de los residuales y su disposición final.
- Disminución de los costos de operación de la planta de tratamiento.

- Disminución de los costos legales asociados a problemas de seguridad ambiental (multas indemnizaciones, etc.).
- Mejora de la imagen ambiental.
- Mayor accesibilidad a los mercados internos con un producto de mayor calidad y a los mercados externos con sensibilidad ambiental.
- Minimización de la tasa de fallas y rechazo de los productos.

1.5. Conclusiones Parciales

1. Son numerosos los criterios encontrados en la bibliografía relacionados con el diseño, la construcción y la explotación de las empresas conocidas como mataderos pero hay coincidencia que el criterio más importante a tener en cuenta es aquel relacionado con el saneamiento, la higienización y el impacto ambiental de los residuales generados durante el proceso.
2. El matadero municipal Chichi Padron de Santa Clara ha quedado comprendido en una zona industrial con el paso del tiempo, razón por la cual debe proyectar una inversión importante para el tratamiento de los residuales líquidos, sólidos y gaseosos.
3. Los criterios a tener en cuenta para la purificación de las aguas residuales coinciden en la utilización de sistemas de digestión aerobia del agua residual y digestión anaerobia de los sólidos constituido principalmente por el estiércol animal.
4. Una tecnología más limpia requiere del tratamiento económico de los desechos líquidos, sólidos y gaseosos que contribuya a la higienización del proceso, a la seguridad ambiental, y la elaboración de un producto alimenticio de mayor calidad.

CAPÍTULO II: DIAGNÓSTICO DE LA UEB MATADERO “CHICHI PADRÓN”

En el presente capítulo se expone el diagnóstico actual de la UEB Matadero “Chichi Padrón”, así como la descripción del proceso y como se llevará a cabo el tratamiento de los residuales de la misma. La evaluación del impacto o nivel de significancia que éstos ocasionan, constituyendo los puntos más importantes en la ejecución del diagnóstico, por cuanto son los que permiten trazar la estrategia o programa de Producción Más Limpia a seguir por la organización.

2.1 Establecimiento y cumplimiento de buenas prácticas y procedimientos establecidos para el desarrollo de la actividad fundamental de la entidad

La UEB Matadero “Chichi Padrón” tiene implantado desde el año 2003 el Sistema de Perfeccionamiento Empresarial, al igual que el resto de los establecimientos que componen la Empresa Cárnica. Dentro de las buenas prácticas que realiza esta entidad se puede citar las siguientes (GEOCUBA, 2009):

- Comercialización de los desechos sólidos procedentes del sacrificio de ganado vacuno, entre los que se encuentran los cueros de las reses que son vendidos a la Tenería; así como los intestinos, hueso blanco, astas y sangre que son cedidos a la Pesca para el alimento animal. □
- El contenido ruminal de la panza del libro se entrega a la agricultura urbana para la elaboración de compost, el cual se utiliza como fertilizante orgánico en el mejoramiento de los suelos. □
- En el proceso productivo se obtiene el rabo de las reses, el cual se desinfecta y se recupera el pelo para venderlo a la Industria Local de Camagüey, que lo utiliza en el trabajo artesanal. □
- El estiércol de las reses estabuladas es utilizado como abono orgánico por el organopónico que se encuentra cerca de la unidad, así como para la producción de combustible.
- Existe un área para el almacenamiento de chatarra, la cual se entrega a la Empresa de Materias Primas. □
- La entidad también cuenta con la fábrica de jabones en un local del propio centro, empleando como materia prima el sebo obtenido en el proceso. Este producto se utiliza en la lavandería de la propia entidad, aseo de los trabajadores y para el consumo interno de las demás unidades que integran la Empresa Cárnica, reduciendo gastos por este concepto. □

- La sangre obtenida en el proceso productivo se utiliza para la elaboración de bioestimulín, el cual se le entrega a LABIOFAM para la elaboración de medicamentos. □

2.1.1 Descripción del proceso(GEOCUBA, 2009)

A continuación se realiza la descripción de los procesos tecnológicos que se desarrollan en la entidad.

Proceso de sacrificio:

Recepción del ganado: Las reses procedentes de las distintas unidades de la Empresa Pecuaria, se pesan primeramente, luego el personal técnico de veterinaria inspecciona las condiciones de cada res y comprueba si coincide con el Certificado de Concordancia. Este ganado es estabulado en naves de sombra durante 72 h antes de ser sacrificado.

Pesado: Antes del sacrificio se pesa la res para sacar la diferencia de merma ya que existe una pérdida aproximada de 10 % por la eliminación de la excreta y orina.

Depósito y lavado: Las reses después de ser pesadas, prosiguen al depósito y lavado pasando por la manga del cepo para eliminar las suciedades.

Aturdido: Se le aplica corriente de alto voltaje con una varilla metálica entre los dos cuernos (electro-narcosis) para ser aturdida antes del desangre.

Izaje y desangre: La res es izada por una de sus patas, luego abren la valona y cortan la arteria para el desangrado.

Corte de cabeza y patas: Se cortan los bombos y se quita la caretilla, luego se corta la cabeza y las patas. Ambos pasan al área de subproducto, a la cabeza se le cortan las astas y se deshuesa (se sacan lengua, cachetes, el hueso sentimiento, seso y la hipófisis); y las patas pasan al bombo donde son lavadas con agua caliente a 650C, y luego pasan a un tacho con agua caliente a 1000C para quitarle las pezuñas y pelarlas. Posteriormente se realiza el predescuere de los muslos y la región torácica.

Descuere: El cuero es separado completamente de la res halándolo con un gancho, luego se pone en un burro donde se le quita la carnaza, finalmente es pesado y clasificado según su calidad para ser comercializado a la tenería.

Evisceración Abdominal: Se procede a separar mondongo. Los estómagos e intestinos pasan al área de subproducto donde primeramente se hace un prelavado a 650C y luego se realiza la cocción a 1000C utilizando agua calentada con vapor directo. En esta etapa también se obtiene la ubre, que también pasa al área de subproducto donde se cocina en un tacho con agua caliente a 1000C.

Evisceración Torácica: Se obtiene hígado, corazón, pulmones y riñones.

Bandeo: Se separan con una sierra o hacha las bandas.

Limpieza seca: Se extrae degolladero, sebo y se eliminan suciedades. El sebo pasa al área de elaboración de jabón donde se fríe a 150°C en un tanque enchaquetado utilizando vapor de agua.

Limpieza húmeda: Se limpia con agua a presión el interior de las bandas

Refrigeración: Finalmente las bandas son pesadas y llevadas a la nevera de conservación por un tiempo de 24 horas a una temperatura de 0-4°C.

Proceso de deshuese:

Las bandas ya refrigeradas durante 24 horas, son deshuesadas; las carnes se separan y clasifican según su calidad, luego se limpian y pasan a la nevera para ser refrigerada antes de ser expedida.

Proceso de elaboración:

Pesada: La primera etapa del proceso de elaboración es el pesaje por separado de las materias primas cárnicas o no cárnicas. La materia prima y cantidad cambia de acuerdo al producto a elaborar.

Triturado: Si el producto tiene entre sus componentes MDM (Masa deshuesada molida), este es previamente triturado.

Molido: Las carnes son molidas por separado y sin magulladuras, en disco de diferentes diámetros, según el tipo de carne.

Homogenizado: Se mezclan todos los componentes hasta lograr una masa homogénea. Si la fórmula del producto a elaborar contiene soya, esta debe ser hidratada antes de realizar la mezcla.

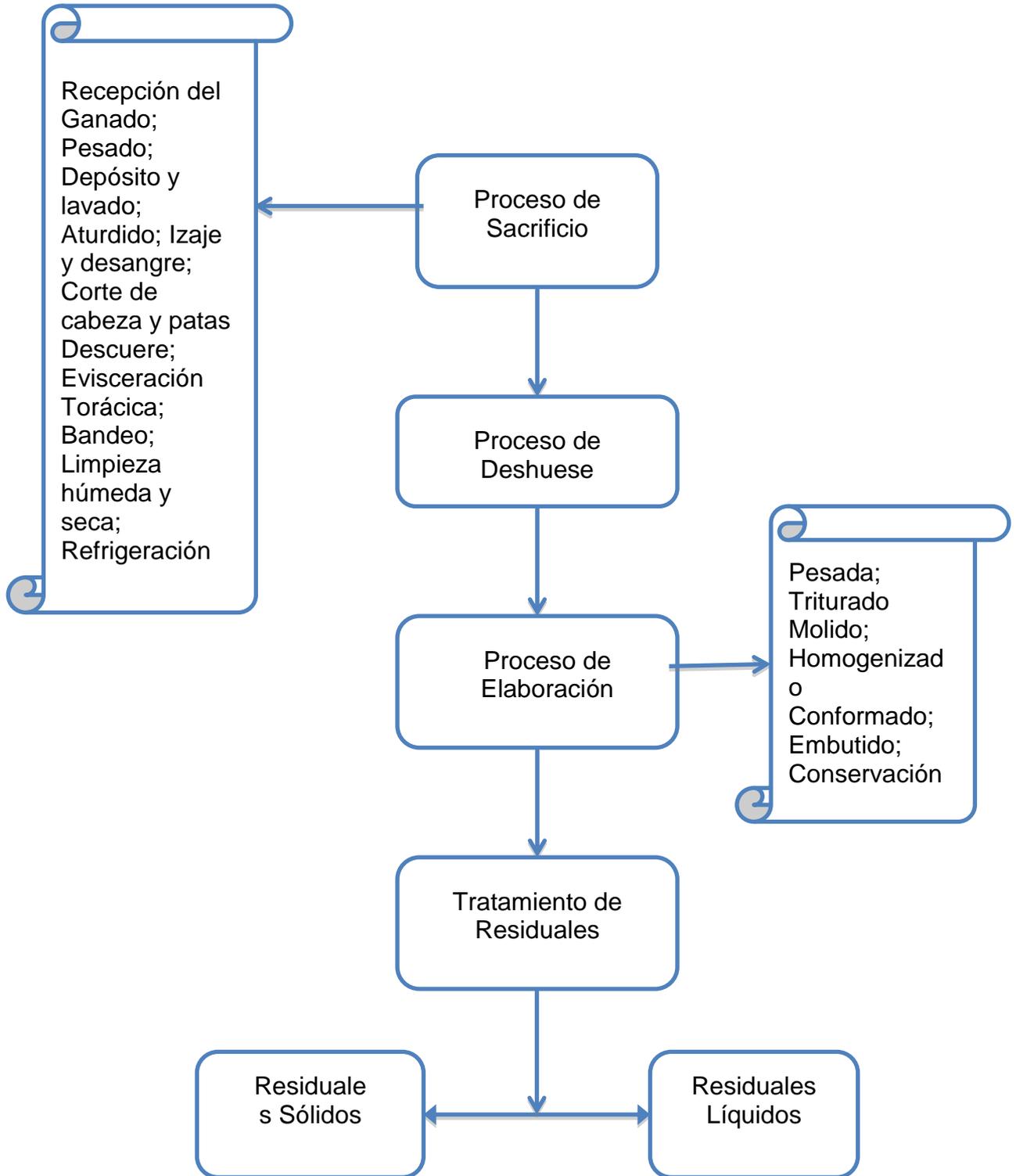
Conformado: Esta etapa es solamente para la hamburguesa, la masa obtenida es trasladada hasta la máquina encargada de configurarla.

Embutido: La masa de picadillo es llevada a la embutidora, donde se embute en bolsas de nylon o se vierte en recipientes de acero inoxidable.

Conservación: el producto elaborado se conserva en neveras a temperatura de 0 – 4°C hasta su expedición.

Tratamiento de residuales : se encarga de procesar los residuales líquidos y sólidos de la empresa.

El diagrama de flujo de los procesos descritos (sacrificio, deshuese y elaboración) se muestra en los Anexos (A, B y C), respectivamente.



2.2 Caracterización de los residuales

2.2.1 Uso del agua

Sistema de abastecimiento de agua de la entidad (GEOCUBA, 2009):

La UEB Matadero “Chichi Padrón” se abastece principalmente del agua proveniente del Acueducto Municipal de Santa Clara, además de tener en explotación un pozo artesano en áreas de la instalación, el cual se usa debido a la alta demanda de este recurso en el proceso productivo.

La red de suministro interno es de acero galvanizado y su estado técnico es regular, debido a la antigüedad de las mismas. Estas poseen incrustaciones que reducen el flujo y presión del agua. Como el suministro de agua por gravedad no es suficiente se hace necesaria la utilización de una bomba eléctrica para no afectar la calidad de la limpieza de los pisos, equipos y utensilios de trabajo.

El sistema de almacenamiento está compuesto por una cisterna y tanques elevados, los cuales se describen a continuación:

Cisterna: esta se encuentra ubicada al sur de la cortina de enfriamiento del sistema de refrigeración y fue construida a nivel cero con muros de bloques y hormigón armado, con una capacidad de 600 m³, encontrándose la misma aforada. Posee una capacidad para dos días aproximadamente en condiciones de trabajo normal sin recibir el servicio. Se planifica y ejecuta su limpieza una vez al año.

Dos baterías de tres tanques elevados de tipo vaquería: estos se encuentran próximos a la cisterna y poseen una capacidad de 4 m³, para una capacidad total de 24 m³. La limpieza de los mismos se realiza cada seis meses.

Se encuentra instalado en la entrada a la cisterna un hidrómetro que permite cuantificar la cantidad de agua que abastece a la unidad por el servicio de acueducto, así como también existe un metro contador para el pozo artesano.

Sistema de bombeo:

Los depósitos elevados reciben el agua procedente de la cisterna, a través de una bomba eléctrica que posee una capacidad de bombeo de 18 m³/h, con un consumo de 75 kW, con un funcionamiento diario de 6 horas aproximadamente. Esta posee un estado técnico regular y se garantiza su mantenimiento con personal capacitado propio de la entidad con una frecuencia trimestral.

Existe otro sistema de bombeo instalado desde el pozo que se encuentra en explotación, una bomba eléctrica sumergible nueva en buen estado técnico, con una capacidad de bombeo de 14,4 m³/h, que permanece trabajando de 6 a 8 horas diarias aproximadamente.

Consumo de agua y métodos de control:

Existen dos planes de consumo de agua, uno correspondiente al servicio que ofrece el Acueducto municipal, de 3525 m³ como promedio mensual y otro para la explotación del pozo por parte de Recursos Hidráulicos de 1200 m³/mes. El pago de este servicio se realiza al INRH a través del metro contador y en el caso del servicio de acueducto según la lectura del hidrómetro de la cisterna.

Se realiza un control diario del consumo real de agua, por parte de un especialista de la entidad encargado del control de los portadores energéticos, llevando un registro del mismo, donde se refleja que el consumo promedio es de 300 m³/día.

Según los balances realizados, el mayor consumo de agua está centrado en el proceso productivo, el sacrificio actual promedio es de 109 reses por día con un consumo de agua real de 253 m³/día, según la cifra que norma la actividad el consumo de agua por res sacrificada es de 0,9 m³/ día, lo que daría un valor aproximado de 100 m³/día, es decir se están consumiendo 153 m³/ día por encima del valor normado.

2.2.2 Residuales líquidos(ENAST, 2016)

En la entidad existen dos fuentes fundamentales de generación de residuales líquidos:

- Aguas albañales, provenientes de los baños sanitarios y el comedor, las cuales se incorporan al alcantarillado.
- Las aguas residuales del proceso productivo provenientes de: naves de corrales, áreas de sacrificio, deshuese y elaboración. A continuación se describen estas últimas.

Nave de corrales: residual líquido del duchado, sólidos con excretas y orina de las reses. Este se incorpora al alcantarillado.

Área de sacrificio: se generan altos volúmenes de residual líquido como resultado de la matanza (sangre) y la limpieza del área, incorporándose de forma directa al alcantarillado.

Área de deshuese: se generan residuales líquidos del lavado de las piezas y limpieza del local.

Área de elaboración: es un área donde se generan residuales líquidos del fregado de equipos y la limpieza de forma general del local, también se incorporan residuos sólidos. Todos estos residuos van al alcantarillado.

Según datos de la bibliografía, se estima que el volumen de aguas residuales de un matadero, representa entre el 80–95% del consumo diario total. Teniendo en cuenta esta cifra, podemos decir que en la entidad se generan aproximadamente 270 m³/d de agua residual.

Las aguas residuales de forma general, pasan a través de sistemas de rejillas, estas tienen como objetivo la retención de sólidos, que en todos los casos no funciona correctamente, una por desperfecto de las rejillas y otras por prácticas incorrectas de los trabajadores que las levantan para que los sólidos pasen, alcanzando los registros colectores ubicados en el exterior.

Es de destacar, que se logró una modificación del colector final, incorporándose una rejilla para una mayor retención de los sólidos, los cuales son evacuados sistemáticamente, evitando que pasen estos al alcantarillado.

2.2.3 Residuales sólidos(GEOCUBA, 2009)

La práctica del manejo de los residuos sólidos incluye la colección, el almacenamiento, la transportación, el tratamiento y la disposición final.

Los desechos sólidos de basura común se recogen a diario de las oficinas y se depositan en un supiadero que existe en áreas de la entidad, donde también se ubica la hojarasca del área de jardinería, las cajas de cartón del MDM utilizado, el papel separador desechado de las hamburguesas y las bolsas de nylon. El servicio de comunales recoge estos desechos 3 veces por semana.

Los desechos resultantes del área productiva como son: mondongos, panza, bonete, librillo y cuajar, residuos sólidos de las cabezas y las cabezas en decomiso, así como los huesos blancos resultantes del proceso de deshuese se almacenan en un tanque para la recolección, los que son vendidos a diferentes cooperativas para la alimentación animal. Según los balances de masa realizados se generan aproximadamente 445 t/mes de este tipo de residuos. En el caso específico de los cueros son vendidos a la tenería.

Existe además en la UEB un área destinada para la ubicación temporal de los desechos sólidos recuperables (tuberías, planchas de acero, etc.), la cual se encuentra señalizada; teniéndose además el control de cada uno de estos medios en desuso según su tipo y peso. Las condiciones higiénico-sanitarias y organizativas de esta área son adecuadas.

2.4 Plan de medidas

2.4.1 Medidas para garantizar una producción más limpia.

a. Desangrado

Colección de la sangre del vacuno en tanques refrigerados para disminuir la descarga de sangre y reducir la carga orgánica en el efluente. De esta forma se pueden obtener beneficios económicos al procesar la sangre en la producción de varios subproductos alimenticios, tales como harina, emulsiones y sueros.

b. Rumen, pelos y otros residuos.

Eliminar estos residuos por el canal de descarga para reducir la carga orgánica en el efluente y ser utilizado en el compostaje aeróbico a fin de obtener un subproducto que puede ser utilizado en la agricultura como fertilizante orgánico.

c. Aguas residuales.

El proceso de matanza se caracteriza por el elevado número de operaciones de lavado que deben realizarse, así como las operaciones del mantenimiento de las condiciones de higiene que se exige a una empresa alimenticia.

Estos residuos líquidos con alta carga orgánica es el producto del lavado del ganado en los corrales, de la sangría, la remoción de cueros, pelos y otras partes no comestibles, que resultan del procesamiento de la carne, el cual incluye el procesamiento de vísceras, intestinos y operaciones de limpieza. Las aguas de limpieza contienen, además, desinfectantes.

Los efluentes líquidos constituyen uno de los principales problemas debido al alto contenido de carga orgánica que genera el proceso. La optimización del uso del agua a través de mejoras de procedimientos y de algunas condiciones de infraestructura, como el uso de válvulas de presión en mangueras, disminuirá el consumo de agua y por ende la cantidad de efluente a tratar.

Tabla #1. Valores ilustrativos de las características de las aguas residuales.

Indicador	Valor esperado
Consumo de agua, m ³ /ton	5 – 6.5
Consumo de agua, m ³ /vacuno	0.5 – 1.0
DBO ₅ , ppm	1800 - 9000
NT, ppm	80 - 140
PT, ppm	> 29
Grasa, ppm	30 - 110
DQO/DBO ₅	1.9
Solidos volátiles, %	50 - 75
Solidos disueltos, %	70 - 85

2.4.2 Alternativas de tratamiento biológico de las aguas residuales.

El objetivo principal de la depuración de las aguas residuales es que el efluente producido no contamine el medio ambiente. Para lograr esto, los contaminantes que contiene el residual deben ser eliminados antes de ser incorporados al sistema de alcantarillado.

El tratamiento primario contempla el uso de operaciones físicas, tales como el **cribado y tamizado** para la eliminación de estiércol, rumen, pelos y trozos de grasa. Esta operación se realiza con cierta eficiencia.

El tratamiento secundario o biológico emplea operaciones biológicas con bacterias facultativas para eliminar la mayor parte de los sólidos coloidales y disueltos.

Se propone intensificar el tratamiento secundario para eliminar el impacto ambiental del vertimiento de los residuales líquidos en el medio ambiente, mediante los procesos siguientes:

1. **Biofiltro** para el tratamiento del agua residual y **digestor anaerobio** para el tratamiento del estiércol recolectado en seco.
2. **Lagunas de estabilización** para el tratamiento del agua residual y **digestor anaerobio** para el tratamiento del estiércol recolectado en seco.

Tratamiento	Uso del agua residual	Tratamiento adicional
Clase 1	Riego, recreación, pesca	Desinfección
Clase 2	Riego agrícola	Estabilización

2.5 Criterios de diseño

2.5.1 Lagunas de estabilización.

Entre las técnicas de bajo costo en el campo del tratamiento de aguas residuales, los sistemas lagunares son los que han encontrado mayor aplicación.

Las primeras lagunas de estabilización fueron en realidad embalses construidos como sistemas reguladores de agua para riego. Se almacenaban los excedentes de agua residual utilizada en riegos directos, sin tratamiento previo. En el curso de este almacenamiento se observó que la calidad del agua mejoraba sustancialmente, por lo que empezó a estudiarse la posibilidad de utilizar las lagunas como método de tratamiento de aguas residuales.

Lagunas de estabilización es el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Están constituidos por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tiene forma rectangular o cuadrada.

Las lagunas tienen como objetivos:

1. Remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación.
2. Eliminar microorganismos patógenos que representan un grave peligro para la salud.
3. Utilizar su efluente para reutilización, con otras finalidades, como agricultura.

La eficiencia de la depuración del agua residual en lagunas de estabilización depende ampliamente de las condiciones climáticas de la zona, temperatura, radiación solar, frecuencia y fuerza de los vientos locales, y factores que afectan directamente a la biología del sistema.

Las **lagunas de estabilización** operan con concentraciones reducidas de biomasa que ejerce su acción a lo largo de periodos prolongados. La eliminación de la materia orgánica en las lagunas de estabilización es el resultado de una serie compleja de procesos físicos, químicos y biológicos, entre los cuales se pueden destacar dos grandes grupos.

- Sedimentación de los sólidos en suspensión, que suelen representar una parte importante (40-60 % como DBO5) de la materia orgánica contenida en el agua residual, produciendo una eliminación del 75-80 % de la DBO5 del efluente(Romero, 1999).
- Transformaciones biológicas que determinan la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua residual.

La laguna de estabilización recomendable es la **laguna facultativa**.

Reciben aguas residuales que han sido sometidos a un pre-tratamiento y que contienen relativamente pocos sólidos en suspensión. En ellas se produce la degradación de la materia orgánica mediante la actividad de bacterias aerobias que consumen oxígeno producido fotosintéticamente por las algas.

Son lagunas poco profundas de 1 a 1.5m de profundidad y suelen tener tiempo de residencia elevada, 20-30 días (Romero, 1999).

Ventajas:

- La estabilización de la materia orgánica alcanzada es muy elevada.
- La eliminación de microorganismos patógenos es muy superior a la alcanzada mediante otros métodos de tratamiento.
- Presentan una gran flexibilidad en el tratamiento de puntas de carga y caudal.
- Pueden emplearse para el tratamiento de aguas residuales industriales con altos contenidos en materia biodegradables.
- Desde el punto de vista económico, es mucho más barato que los métodos convencionales, con bajos costos de instalación y mantenimiento.
- El consumo energético es nulo.
- En el proceso de lagunaje se generan biomasas potencialmente valorizables una vez separada del efluente.

Inconvenientes:

- La presencia de materia en suspensión en el efluente, debido a las altas concentraciones de fitoplancton.
- Ocupación de terreno, que es superior a la de otros métodos de tratamiento.
- Las pérdidas considerables de agua por evaporación en verano.

2.5.1.1 Factores climáticos que afectan a las lagunas facultativas(Romero, 1999).

a. Temperatura.

Las reacciones físicas, químicas y bioquímicas que ocurren en las lagunas de estabilización son muy influenciadas por la temperatura.

En general y para los intervalos de temperatura normales en las lagunas, se puede decir que la velocidad de degradación aumenta con la temperatura, en especial en lo que concierne a la actividad de las bacterias. Estos fenómenos son retardados por las bajas temperaturas. Por eso, el proyecto de las lagunas debe tener en cuenta siempre las condiciones de temperaturas más adversas.

b. Radiación solar.

La luz es fundamental para la actividad fotosintética, ésta depende no solo de la luz que alcanza la superficie del agua, sino de la que penetra en profundidad. Como la intensidad de la luz varía a lo largo del año, la velocidad de crecimiento de las algas cambia de misma forma. Este fenómeno da lugar a dos efectos: el oxígeno disuelto y el pH del agua presentan valores mínimos al final de la noche, y aumentan durante las horas de luz solar hasta alcanzar valores máximos a media tarde.

c. Viento.

El viento tiene un efecto importante en el comportamiento de las lagunas, ya que induce a la mezcla vertical del líquido de la laguna, una buena mezcla asegura una distribución más uniforme de DBO, oxígeno disuelto (importante para lagunas aerobias y facultativas), bacterias y algas y por lo tanto un mejor grado de estabilización del agua residual.

d. Evaporación.

La repercusión principal de la evaporación es la concentración de los sólidos que contiene el agua almacenada. El consiguiente aumento de la salinidad puede resultar perjudicial si el efluente se va a emplear en riego.

e. Precipitación.

El oxígeno disuelto suele bajar después de tormentas debido a la demanda adicional de oxígeno provocada por los sólidos arrastrados por el agua de lluvia y los sedimentos de las lagunas que se mezclan con la columna de agua. Otro efecto de la lluvia es una cierta oxigenación en la zona superficial de las lagunas, debido tanto al propio contenido en oxígeno de la lluvia como a la turbulencia que provoca con su caída.

2.5.1.2 Factores físicos que afectan a las lagunas facultativas.

a. Estratificación.

La densidad del agua cambia con la temperatura, es mínima a 4°C y aumenta para temperaturas mayores o menores, el agua más cálida es más ligera y tiende a flotar sobre las capas más frías. Durante los meses de primavera y verano el calentamiento tiene lugar desde la superficie, la capas superiores están más calientes que las inferiores, son menos densas y flotan sobre ellas sin que se produzca la mezcla entre unas y otras.

b. Flujo a través de las lagunas.

La circulación del agua a través de la laguna viene afectada por la forma y tamaño de ésta, la situación de entradas y salidas, velocidad y dirección de los vientos dominantes y la aparición de diferencias de densidad dentro de la misma. Las anomalías de flujo más frecuentes se manifiestan en la aparición de zonas muertas, es decir, partes de la laguna en las que el agua permanece estancada durante largos períodos de tiempo.

c. Profundidad.

La profundidad de las lagunas es normalmente 1.5, aunque se pueden usar profundidades entre 1 y 2 m. El límite inferior viene condicionado a la posibilidad de crecimiento de vegetación emergente para profundidades menores, lo cual se desaconseja normalmente para evitar el desarrollo de mosquitos.

Existen varias razones por las que en estos sistemas profundos se obtiene mayor eficacia de tratamiento como es la mayor productividad de las algas en un medio en el que tienden a sedimentar en la zona profunda y morir. La zona profunda tiende a estar en condiciones anaerobias, y en ella se produce la degradación lenta de compuestos orgánicos y microorganismos sedimentados desde la superficie. De esta forma se generan nutrientes solubles que se reincorporan a la capa superficial y contribuyen a la actividad biológica.

2.5.1.3 Factores químicos y bioquímicos que afectan a las lagunas facultativas(Romero, 1999).

a. pH.

El valor de pH en las lagunas viene determinado fundamentalmente por la actividad fotosintética del fitoplancton y la degradación de la materia orgánica por las bacterias. Las algas consumen anhídrido carbónico en la fotosíntesis, lo que desplaza el equilibrio de los carbonatos y da lugar a un aumento del pH. Por otra parte, la degradación de la materia orgánica conduce a la formación de dióxido de carbono como producto final, lo que causa una disminución de pH.

Como la fotosíntesis depende de la radiación solar, el pH de las lagunas presenta variaciones durante el día y el año. Cuanto mayor es la intensidad luminosa, los valores del pH son más altos. Estas variaciones diarias son muy marcadas en verano, cuando pueden alcanzarse valores de pH en torno a 9 o mayores, partiendo de valores de 7-7.5, al final de la noche(Romero, 1999).

b. Oxígeno disuelto.

El contenido en oxígeno disuelto es uno de los mejores indicadores sobre el funcionamiento de las lagunas. La principal fuente de oxígeno disuelto es la fotosíntesis, seguida por la re-aireación superficial. La concentración de oxígeno disuelto presenta una variación senoidal a lo largo del día. El contenido en oxígeno es mínimo al amanecer y máximo por la tarde, y puede oscilar entre un valor nulo hasta la sobresaturación. Durante el verano es posible encontrar que las capas superficiales de las lagunas están sobresaturadas de oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto presenta variaciones importantes en profundidad. La concentración de oxígeno disuelto es máxima en superficie, y a medida que aumenta la profundidad va disminuyendo hasta anularse.

c. Nutrientes.

Los nutrientes son fundamentales para la buena marcha del tratamiento en lagunas. A medida que progresa la depuración se va produciendo una eliminación de nutrientes que puede dar lugar a que uno o varios alcancen concentraciones limitantes para el desarrollo subsiguiente de algas o bacterias. En lagunas de estabilización el agotamiento de nutrientes solo ocurre en pocas de intensa actividad biológica, y suelen venir de la eliminación de materia orgánica hasta los niveles máximos en este tipo de tratamiento.

2.5.1.4 Criterios constructivos de las lagunas facultativas (Romero, 1999)

a. Preparación del sitio.

- Localizar el sitio y marcarlo temporalmente en la tierra.
- Llevar los materiales y herramientas necesarias para comenzar con los trabajos.
- Despejar el sitio de la laguna y del terraplén, todos los árboles, arbustos, grandes rocas y cualquier otro material que impida la construcción de la laguna.
- Quitar tierra vegetal o el césped del sitio y colóquelo en otro lado. Esto será utilizado más adelante para acabar el terraplén.

b. Marcaje del sitio y localización de tubería.

- Fijar las estacas de referencias, indicando los límites del fondo de la laguna, encuentre la elevación de cada estaca usando el nivel topográfico.

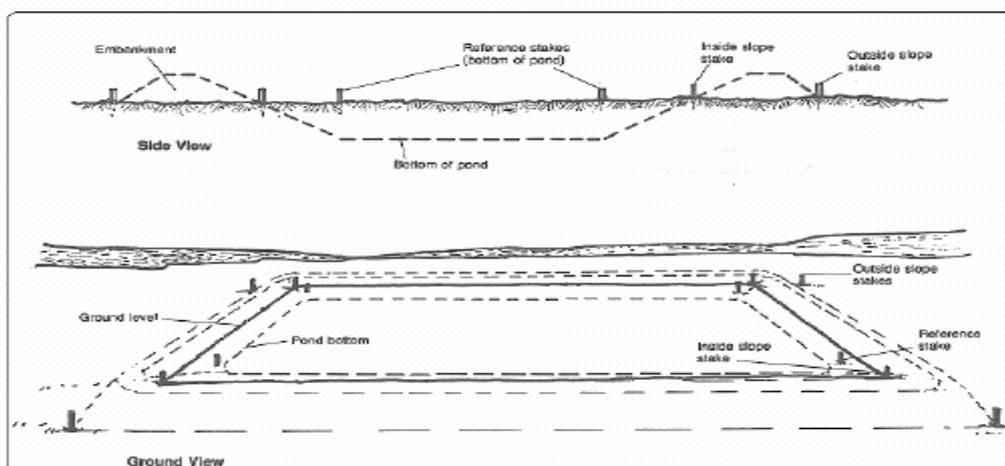


fig.1 Construcción de lagunas de estabilización.(OPS/CEPIS/05.164)

- Medir la distancia y la elevación de las estacas de referencia, fije las estacas que indican los puntos en los cuales se va a comenzar a construir el terraplén y a excavar la laguna. Fijar las estacas indicando la localización de la tubería, esto elimina las porciones de re-excavación del terraplén.

c. Excavación de la laguna.

Se comienza a excavar en las estacas de zonas interiores, hasta que se alcance la elevación inferior. La nivelación se comprueba con un nivel y la barra de un topógrafo.

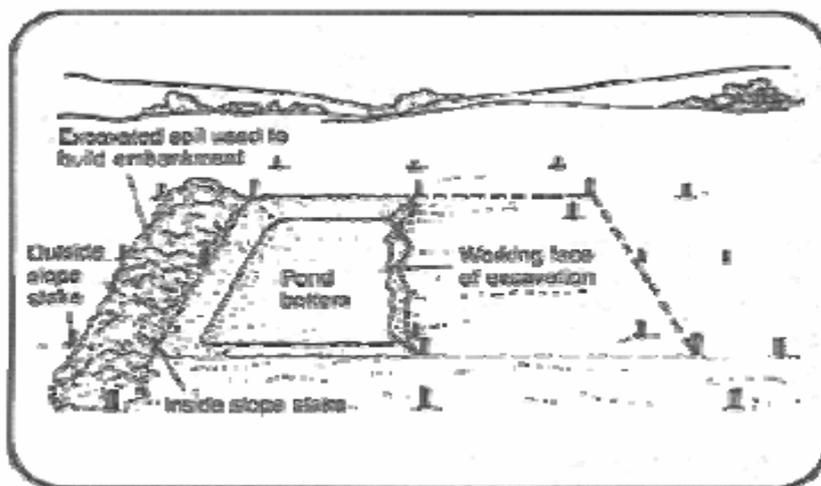


fig.2 Excavación de una laguna de estabilización.(OPS/CEPIS/05.1641)

Continuar excavando a lo largo del fondo de la laguna, utilice el suelo excavado para acumular los terraplenes. El fondo de la laguna debe estar tan llano y uniformemente como sea posible. Si hay puntos o raíces suaves de árbol, cávelos hacia fuera.

d. Construcción de los terraplenes.

- Comenzar la construcción de los terraplenes como la laguna es excavada, los terraplenes se deben apisonar bien, con los lados inclinados según especificaciones de diseño.
- Deje los boquetes en el terraplén, en las localizaciones de la tubería. Puede también ser conveniente dejar unos o más boquetes amplios para el retiro del suelo excavado.
- La parte superior del terraplén debe ser nivelada, bien apisonada, y por lo menos 1.0 m de ancho. La distancia de la tapa del terraplén al fondo de la laguna deberá ser igual a la profundidad del diseño de la laguna más 1.0 m.

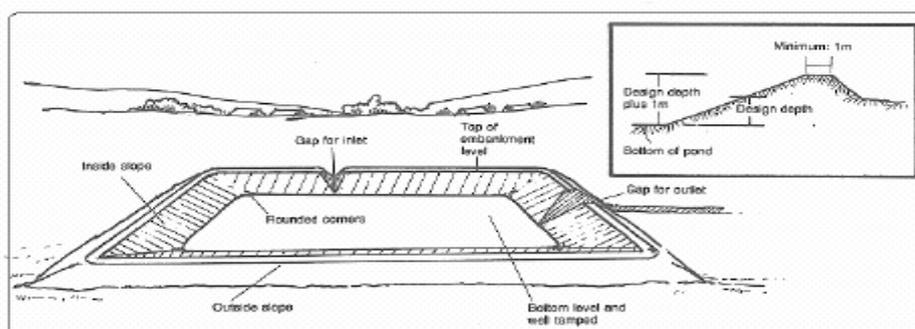


fig.3 Construcción de terraplenes. (OPS/CEPIS/05.164)

e. Colocación de la tubería.

- Excavar las zanjas para las tuberías con la profundidad y las localizaciones del diseño. Los fondos de las zanjas deben ser bien apisonadas.
- Construya las bases cerca de los 0.5 m de alto para la tubería de entrada, de concreto o piedra. El propósito de las bases es levantar la tubería de entrada sobre el fondo de la laguna(RESTREPO, 2008).

c) Construya las losas para las tuberías de salida, de concreto o de la piedra. El propósito de la losa es apoyar la tubería de salida y prevenir la erosión a la descarga de las aguas residuales tratadas. Construir las losas bajo todas las localizaciones de la válvula.

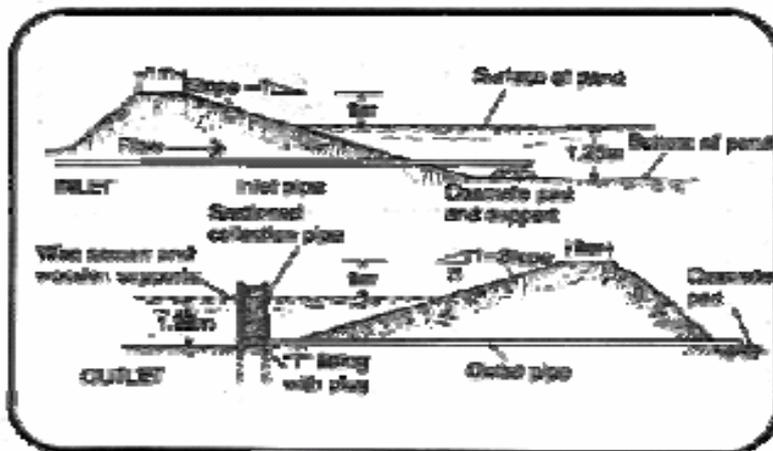


fig.4 Colocación de las tuberías.(OPS/CEPIS/05.164)

d) Colocar la tubería del alcantarillado y el mortero juntos. Instale las válvulas. Construya la salida vertical de acuerdo a la profundidad de la laguna. Deberá ser igual a la profundidad del diseño calculado por el diseñador del proyecto. Las secciones envueltas permitirán que la laguna se drene cuando sea necesario.

e) Rellenar cuidadosamente las zanjas de las tuberías con suelo húmedo y apisonarlo.

f. Terminado de los terraplenes.

Completar cualquier boquete en el terraplén que fuera utilizado para poner la tubería o remover el suelo excavado. Apisonar a fondo la tapa y las pendientes y hacerlas uniformes con el terraplén existente.

Alinear la pendiente del terraplén con las rocas y las piedras planas. Esto previene la erosión, debido a la acción de la onda durante la operación de la laguna. Las rocas y las piedras se deben colocar suavemente para conformarse con el diseño de la pendiente del terraplén. Evitar usar grava y los guijarros porque este material tiende mover la pendiente.

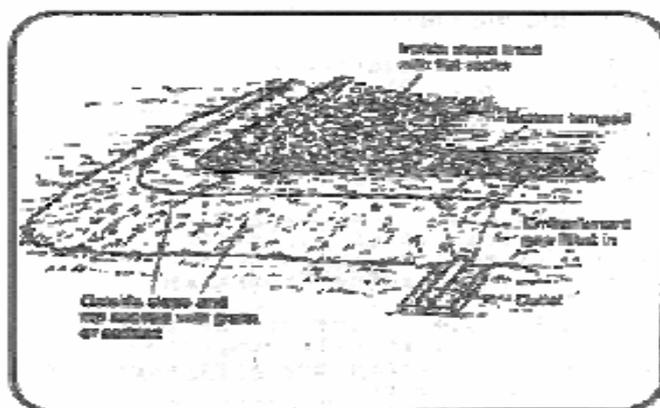


fig.5 Diseño de los terraplenes. (OPS/CEPIS/05.164)

2.5.2 Biofiltro percolador.

Los **biofiltros percoladores** conforman uno de los sistemas de tratamiento biológico más antiguos que se conocen. Se consideran un proceso altamente eficiente y relativamente económico en comparación con otros procesos.

El agua residual cuele a través de un lecho fijo constituido por un medio filtrante que soporta las bacterias aerobias responsables de este proceso.

Principio de funcionamiento

Como todo proceso biológico los moos son los responsables de la oxidación de la materia orgánica presente, tanto disuelta como suspendida.

La materia orgánica del líquido es adsorbida en una película biológica, en cuyas capas externas (0.1- 0.2 mm) se degrada bajo la acción de microorganismos aerobios. Esta película biológica que cubre el medio filtrante contiene bacterias y otros seres vivos y recibe el nombre de biomasa.

Conforme la película aumenta de espesor, la materia orgánica adsorbida se metaboliza antes de que pueda alcanzar los microorganismos situados cerca de la superficie del medio filtrante.

El espesor de la película es tal que se dificulta el paso de oxígeno y esto trae como consecuencia que se desarrollen microorganismos anaerobios: los cuales al no disponer de una fuente orgánica externa de carbono celular se encuentran en fase de crecimiento endógeno y en estas condiciones pierden la capacidad de adherencia a la superficie del medio.

Luego el líquido a su paso a través del medio arrastra la película y se inicia el crecimiento de una nueva capa biológica. Este fenómeno de desprendimiento de la capa biológica es función de la carga hidráulica y la carga orgánica. La carga hidráulica origina la velocidad de arrastre y la carga orgánica influye en la velocidad del metabolismo de la capa biológica.

2.5.2.1 Criterios constructivos de los biofiltros percoladores

Los lechos bacterianos o filtros biológicos consisten de:

1. **Estructura cilíndrica:** Generalmente son paredes de hormigón, bloques o ladrillos, diseñados para resistir las presiones del material de relleno y las presiones hidráulicas que actúan sobre ellos.
2. **Medio de contacto:** Es el soporte del crecimiento bacteriano y en su superficie tiene lugar el desarrollo de este cultivo. Debe ser un material que posea una elevada área superficial por unidad de volumen, que sea económico, duradero y que no se obstruya fácilmente.

Entre los materiales convencionales empleados en los filtros están: basalto, granito, piedra caliza triturada, carbón duro, escorias de altos hornos, materiales plásticos y otros materiales

Cuando se utilizan piedras, sus dimensiones oscilan entre 2.5 y 10 cm y la profundidad del lecho suele estar entre 0.9 y 2.5 m, siendo su geometría generalmente circular.

Los filtros que emplean material plástico pueden tener diversas formas y su profundidad puede variar entre 4 y 12 m.



Fig.6 Sistema de distribución

3. Sistema distribuidor: Los distribuidores rotatorios de salidas múltiples se componen de 2 ó más brazos horizontales balanceados estructuralmente a una columna central que los soporta y le suministra agua.

4. La ventilación: es producida por una adecuada circulación de aire, es fundamental para el funcionamiento de un filtro percolador. El factor responsable de la ventilación en un filtro abierto en su parte superior, es la ventilación natural, aunque puede utilizarse la ventilación forzada. La ventilación natural, ha resultado ser adecuada para los filtros.

5. Sistema de drenaje inferior: tiene por misión, la recogida del efluente y sólidos biológicos arrastrados y distribuir el aire a través del filtro. El sistema se compone de la solera del filtro, el canal de recogida y de los drenes inferiores.

2.5.3 Biofiltros horizontales con plantas acuáticas

Un **biofiltro horizontal** con plantas acuáticas es un humedal artificial de flujo subterráneo, sembrado con plantas acuáticas en la superficie del lecho filtrante, por donde el agua residual pre-tratada fluye en forma horizontal.

Los biofiltros son pilas de poca profundidad rellenas con un material que sirve como lecho filtrante, en cuya superficie se siembran plantas, y en las que las aguas residuales pre-tratadas fluyen en sentido horizontal.

El biofiltro de flujo horizontal consta de pilas rectangulares con profundidades que oscilan entre 60 y 100 cm, con un relleno de material grueso (5 a 10 cm de diámetro) en las zonas de distribución (entrada) y recolección (salida). La fracción principal del lecho filtrante, ubicada entre las zonas de material grueso, es homogénea y más fina, normalmente de 0.5 a 15 mm de diámetro fig.7.

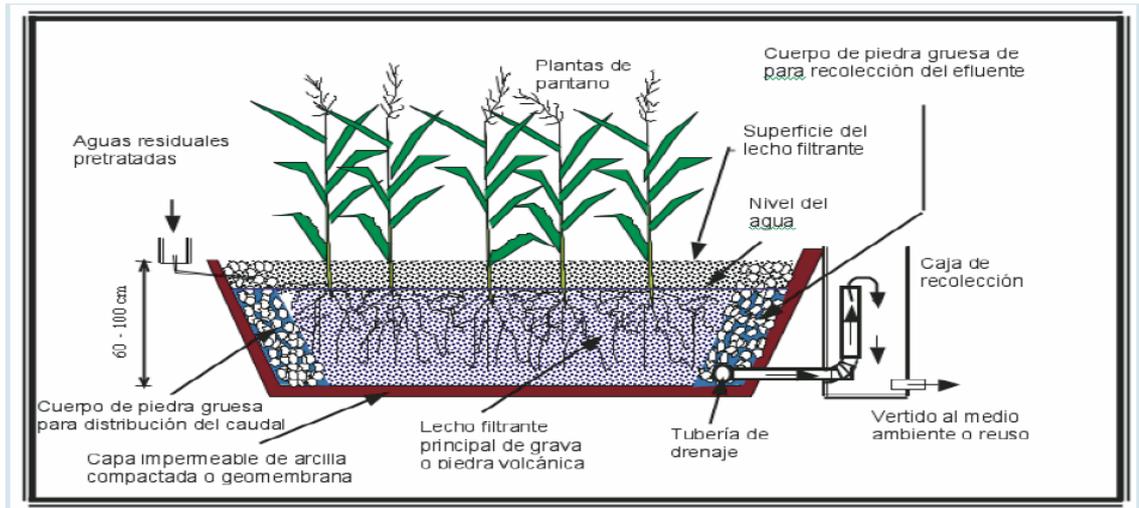


fig.7 Sección longitudinal de un biofiltro de flujo horizontal

En este tipo de biofiltro, las aguas residuales pre-tratadas fluyen lentamente desde la zona de distribución en la entrada de la pila, con una trayectoria horizontal a través del lecho filtrante, hasta llegar a la zona de recolección del efluente. Durante este recorrido, que dura de 3 a 5 días, el agua residual entra en contacto con zonas aeróbicas (con presencia de oxígeno) y anaeróbicas (sin presencia de oxígeno), ubicadas las primeras alrededor de las raíces de las plantas, y las segundas en las áreas lejanas a las raíces.

Durante su paso a través de las diferentes zonas del lecho filtrante, el agua residual es depurada por la acción de microorganismos que se adhieren a la superficie del lecho y por otros procesos físicos tales como la filtración y la sedimentación.

La alta eficiencia en la remoción de contaminantes obtenida mediante el sistema de biofiltro, su bajo costo de operación y mantenimiento, su aspecto agradable y el reducido impacto negativo respecto a olores y proliferación de vectores en las zonas aledaña.

2.5.3.1 Criterios constructivos del biofiltro horizontal con plantas acuáticas

Para la construcción de un sistema de biofiltro horizontal con plantas acuáticas que funcione adecuadamente se requiere un área suficiente con cierto desnivel para permitir el flujo por gravedad.

Los componentes principales de un biofiltro son los siguientes:

a. Lecho filtrante

Sus funciones principales son eliminar los sólidos que contienen las aguas pre-tratadas y proporcionar la superficie donde se desarrollarán los microorganismos que se encargarán de degradar aeróbica y anaeróbicamente la materia contaminante, además de constituir el medio utilizado por las raíces de las plantas macrófitas para su fijación y desarrollo.

Los criterios para seleccionar el lecho filtrante son la granulometría, la porosidad, la permeabilidad y la resistencia física contra el desgaste provocado por las aguas residuales. Los materiales utilizados son grava, piedra triturada o piedra volcánica. En la figura se presentan los procesos que se llevan a cabo dentro del lecho filtrante durante el paso de las aguas residuales pre-tratadas en un biofiltro de flujo horizontal. En la fig.8 se presenta el papel del lecho filtrante.

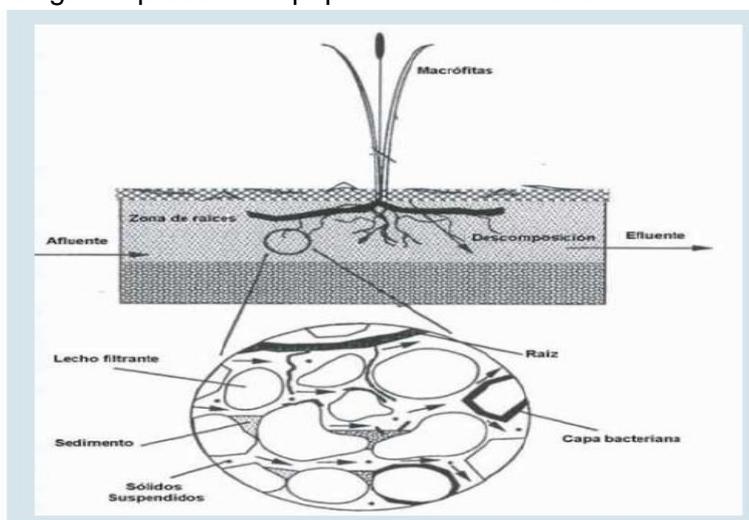


fig.8 El papel del lecho filtrante

b. Plantas acuáticas

Las funciones que cumplen las plantas en los procesos de tratamiento de aguas residuales las convierten en componente esencial del biofiltro. Así, las raíces de las plantas ayudan a incrementar los efectos físicos tales como la filtración y el desarrollo de los microorganismos en su área superficial. La introducción de oxígeno en el lecho filtrante permite la formación de una población microbiana aeróbica en zonas cercanas a las raíces de las plantas.

c. Microorganismos

El papel principal de los microorganismos es degradar aeróbicamente (en presencia de oxígeno) y anaeróbicamente (en ausencia de oxígeno) la materia orgánica contaminante contenida en las aguas residuales, con lo cual la putrescibilidad en el biofiltro se reduce significativamente.

d. Materiales de construcción

La construcción del biofiltro demanda la disponibilidad de dos tipos de materiales que se utilizan en gran proporción y que influyen en los costos de construcción: un banco de arcilla para la impermeabilización del fondo y los taludes, y un banco de material que pueda utilizarse como lecho filtrante.

El área superficial requerida por el biofiltro es de aproximadamente 1.5 m² por 100 litros diarios de aguas residuales con una carga hidráulica de 82 L/m²·d.

Calidad del efluente del biofiltro

El efluente del biofiltro es claro, sin sólidos suspendidos apreciables (<10 ppm), lo que facilita su manejo con fines de reúso. El bajo contenido de materia orgánica contaminante del efluente (DBO₅<10 mg/L y DQO<70 mg/L), evita que se generen fenómenos de putrefacción en el área donde se aplica el riego. El efluente puede presentar una concentración de coliformes fecales mayor que la máxima permisible para su reúso sin restricción en riego agrícola.

Las cantidades disponibles de nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) en el efluente del biofiltro posibilitan el desarrollo de los cultivos sin necesidad de usar fertilizantes sintéticos.

Antes de utilizar aguas tratadas para el riego de cultivos agrícolas, es necesario determinar la calidad del efluente con relación a las normas establecidas para el reúso en el riego agrícola. No se recomienda el riego de cultivos cuyos productos se consumen crudos, principalmente hortalizas, dado su riesgo para la salud.

2.5.4 Digestor anaerobio.

La digestión anaeróbica es el proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno. Este proceso genera diversos gases, entre los cuales el dióxido de carbono y el metano son los más abundantes (dependiendo del material degradado). En los biodigestores se aprovecha liberación de metanos para ser usados como combustible. La intensidad y duración del proceso anaeróbico varían dependiendo de diversos factores, entre los que se destacan la temperatura y el pH del material bio-degradado.

Proceso

Los microorganismos que participan en la digestión anaerobia, incluyen las bacterias que forman ácido acético y las que forman metano.

Estos organismos producen ciertos procesos químicos al convertir la biomasa a biogás.

En presencia de ciertos productores de metano, los intermediarios se convierten en metano, dióxido de carbono y trazas de ácido sulfhídrico. En un sistema anaerobio la mayor parte de la energía química almacenada en las materias primas se libera por bacterias generadoras de metano en forma de metano.

Etapas del proceso

Hay cuatro procesos biológicos y químicos elementales en los procesos de digestión anaerobia:

1. Hidrólisis
2. Acidogénesis
3. Acetogénesis
4. Metanogénesis

En la mayoría de los casos la biomasa se hace de enormes polímeros orgánicos. Para que las bacterias en digestores anaerobios tengan acceso a la energía potencial de este material las cadenas deben ser rotas a partes más pequeñas. Estas partes, llamadas monómeros, como los azúcares ya están preparadas para las demás bacterias. El proceso de rompimiento de estas cadenas y su disolución en moléculas más pequeñas se llama hidrólisis. Por eso la hidrólisis de estas enormes cadenas es el primer paso para la digestión anaerobia. A través de la hidrólisis las complejas moléculas orgánicas se parten a azúcares, aminoácidos y ácidos grasos simples.

El acetato y el hidrógeno producidos en las primeras etapas pueden ser usados directamente por bacterias generadoras de metano. Otras moléculas como ácidos grasos volátiles con una longitud de cadena mayor a la del acetato deben pasar por

un proceso de catabolización para ser transformados a compuestos que pueden ser usados por bacterias productoras de metano.

El proceso biológico de acidogénesis resulta de la ruptura de los componentes restantes por bacterias generadoras de ácido (fermentativas). Aquí los ácidos grasos volátiles se crean junto con amoníaco, dióxido de carbono, ácido sulfhídrico y otros subproductos. El proceso de acidogénesis es similar al proceso en el que la leche se vuelve agria.

La tercera etapa de la digestión anaerobia es la acetogénesis. En ésta las moléculas que se crearon por la acidogénesis son digeridos por bacterias productoras de acetatos, para producir en su mayor parte, ácido acético, como dióxido de carbono e hidrógeno. La etapa final de la digestión anaerobia es el proceso biológico de la metanogénesis. Aquí las bacterias productoras de metano usan los productos intermedios de las etapas previas y los convierten en metano, dióxido de carbono y agua. Estos componentes son la mayoría del biogás emitido por el sistema. La metanogénesis es sensible a pH altos y bajos y ocurre a pH = 6.5 - 8. Las materias no digeribles para las bacterias que quedan y cualquier bacteria muerta permanecen como una parte de lo digerido. En la fig.9 se presenta las etapas del proceso de digestión anaerobia.

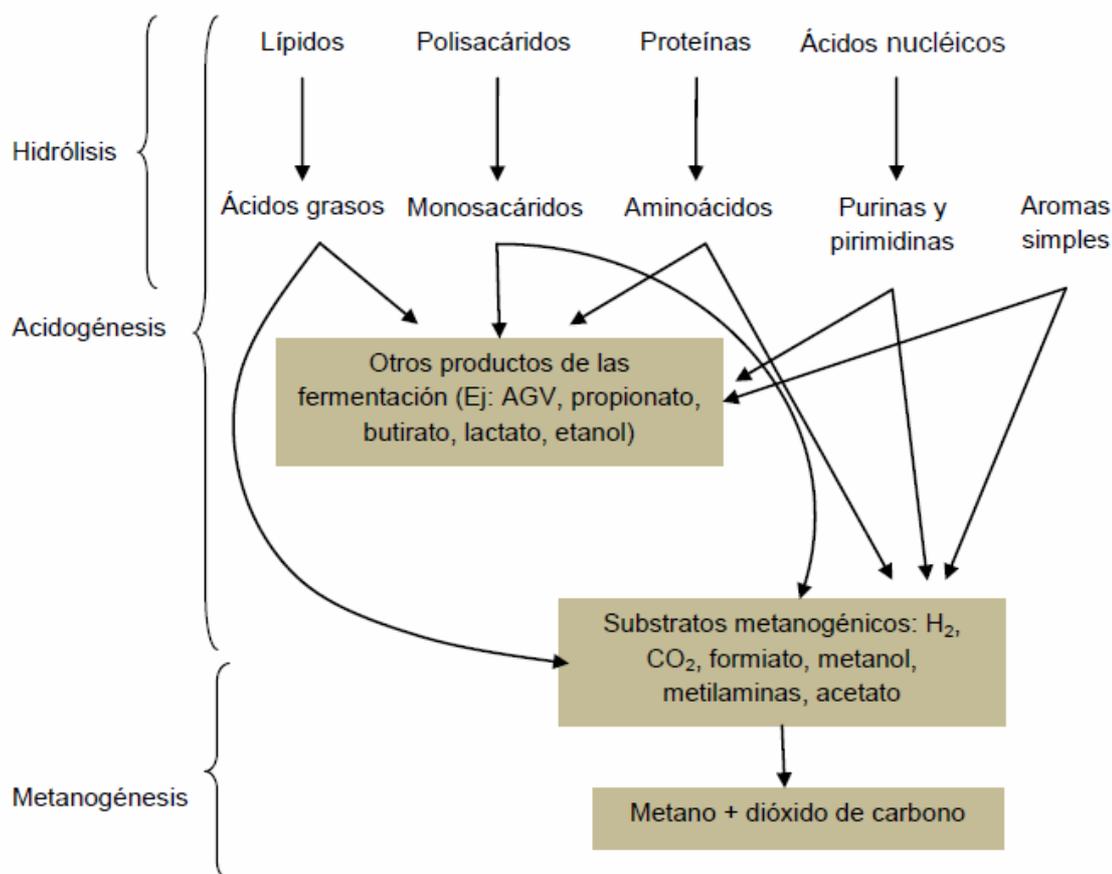


fig.9

Ventajas:

- No hay necesidad de suministrar oxígeno por lo que el proceso es más barato.
- Requerimiento energético es menor.
- Requerimiento de nutrientes inorgánicos como nitrógeno y fósforo es bajo.

- Se produce una menor cantidad de lodo (20% en comparación con un sistema de lodos activos) y además se puede disponer como abono y mejorador de suelos.
- Aprovechamiento de gas metano como fuente de energía.
- Por último, las bajas necesidades de químicos y el aprovechamiento del biogás, resulta económicamente atractivo.
- Es un tratamiento que logra una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Desventajas:

- Baja tasa de crecimiento; por lo tanto, al iniciar el proceso de arranque del reactor se requiere de un periodo de tiempo que dependerá de la calidad y cantidad de inóculo utilizado.
- Normalmente necesita un tratamiento aerobio con el propósito de alcanzar una calidad aceptable antes de descargarse a un cuerpo de agua.
- Producción de malos olores asociado al H₂S, el que puede controlarse mediante un diseño y ubicación adecuado.

2.5.4.1 Criterios de diseño de los digestores anaerobios.

Para estabilizar de manera correcta el lodo mediante digestión anaerobia, los microorganismos formadores de ácidos y de metano se deben encontrar en un estado de equilibrio dinámico. En este estado influyen una serie de factores físicos y químicos que alteran el equilibrio dentro del reactor, desplazándolo hacia altos o bajos rendimientos en cuanto a la producción y calidad del biogás generado y la calidad del efluente.

Los factores físicos y químicos que afectan el rendimiento global de los reactores anaeróbicos son los siguientes:

1. Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros ambientales que afectan de manera importante el crecimiento de las bacterias. En el tratamiento anaerobio los reactores de suelen mantener a temperatura entre los 25-40°C, conocido como rango mesofílico, y mayores de 45°C, conocido como rango termofílico. La estabilidad de este parámetro es importante, ya que cambios de temperatura pueden producir caídas en la eficiencia del proceso hasta lograr de nuevo la aclimatación.

Aspectos físico-químicos.

La solubilidad de los gases disminuye al aumentar la temperatura, favoreciendo su transferencia del medio acuoso a la fase gaseosa..

2. Nutriente.

Debido a los bajos índices de producción de biomasa, el proceso anaerobio se caracteriza por los bajos requerimientos de nutrientes. Sin embargo, la biomasa necesita para su desarrollo el suministro de una serie de nutrientes minerales, además de una fuente de carbono y de energía. Los principales nutrientes del sistema anaerobio son nitrógeno, sulfuro, fósforo, hierro, cobalto, níquel, molibdeno, selenio, riboflavina y vitamina B12.

3. Agitación.

La agitación de los reactores anaerobios tiene diversos objetivos:

- a) Poner en contacto el substrato influente con la población bacteriana.
- b) Eliminar los metabolitos metanogénicos, al favorecer la salida de los gases.

- c) Proporcionar una densidad uniforme de población bacteriana.
- d) Prevenir la formación de capa superficial, de espumas y la sedimentación en el reactor.

La velocidad de agitación es un parámetro que puede influir en el desarrollo del proceso, siendo necesario un equilibrio entre la buena homogeneización y la correcta formación de agregados bacterianos.

4. pH y alcalinidad.

En la digestión anaeróbica el pH se limita a un intervalo relativamente estrecho, de aproximadamente 6.0 a 8.5.

Varios productos químicos son utilizados para proporcionar una alcalinidad adecuada a los sistemas anaerobios.

Aquellos que ofrecen alcalinidad bicarbonática directamente (NaHCO_3 , NH_4HCO_3).

Los que reaccionan con el gas carbónico para formar alcalinidad bicarbonática (NaOH , CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$).

El hidróxido de calcio o cal es el material más utilizado para el control del pH en reactores anaerobios, debido a que es barato y fácil de conseguir. A nivel práctico la cal se añade cuando el pH se encuentra entre 6.4 a 6.5, en cantidades suficientes para elevar el pH hasta 6.8.

5. Nitrógeno amoniacal.

El inhibidor más común para el proceso anaeróbico es el amoníaco. El amoníaco en la digestión anaeróbica se origina a partir de amoníaco soluble en el afluente, de la degradación de proteínas y otros compuestos como urea. Aunque el nitrógeno amoniacal es un importante nutriente para el crecimiento de los microorganismos, cuya carencia puede provocar el fracaso en la producción de gas, una concentración excesivamente alta del mismo puede limitar su crecimiento.

6. Compuestos azufrados.

La presencia de sulfatos en el proceso anaerobio provoca que las bacterias metanogénicas y sulfato reductoras compitan por los substratos útiles. El resultado de esta competición determinará la proporción de sulfhídrico y metano en el biogás producido.

El sulfato es un inhibidor, su efecto inhibidor es función de la relación DQO/sulfato. Los substratos adaptados no muestran inhibición para valores de la relación por encima de 10, y sí hay signos de inhibición por debajo de un valor de 7-8.

7. Tiempo de retención.

El lento crecimiento de las bacterias formadoras de metano obliga a tiempos de retención más prolongados en los procesos de digestión anaerobia. Sin embargo, este bajo crecimiento implica que sólo una pequeña parte del lodo está siendo sintetizado en forma de nuevas células. Mediante los procesos anaerobios la mayor parte de la carga orgánica es convertida en metano, posibilitando una disminución en la cantidad neta de lodos.

El biogás, debido a su contenido de metano, es un gas combustible, por lo que se obtiene un producto final útil. Si se producen cantidades suficientes de metano, el gas puede ser aprovechado para la generación de energía.

Por causa de la baja tasa de crecimiento celular y de la conversión de la materia orgánica en gas metano y dióxido de carbono, la materia orgánica resultante está bien estabilizada. Esto la convierte, tras un proceso de deshidratación o secado, en

un material apto para su evacuación en vertederos, compostaje o aplicación al suelo, esto último, previo determinada su inocuidad.

8. Tipos de digestores

En los últimos años se han desarrollado numerosas tecnologías para el tratamiento anaerobio de lodos, tanto de cultivos en suspensión como fijos. Sin embargo, los dos tipos de digestores más empleados son los de alta y baja carga, ambos con cultivos en suspensión.

En los procesos de digestión de baja carga no se calienta, ni se mezcla el lodo contenido en un reactor, manteniendo tiempos de retención entre 30 y 60 días. En los procesos de alta carga, el lodo contenido en un reactor es calentado y mezclado, manteniendo tiempos de retención de entre 30 y 15 días. La fig.10 es tipo de biodigestor.

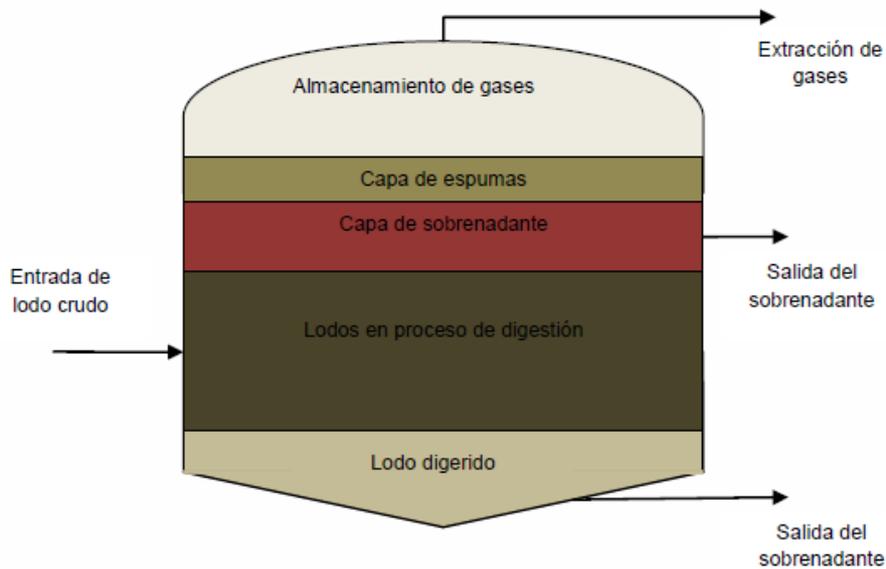


fig.10

Los principales parámetros de diseño utilizados en el dimensionamiento de digestores anaerobios son el tiempo de retención hidráulico y la carga volumétrica de sólidos volátiles.

En un digestor anaerobio de mezcla completa de alimentación continua, el tiempo de retención celular (R_c) es igual al tiempo de retención hidráulico (R). El caudal de lodo que el tanque puede recibir se calcula de acuerdo a la ecuación:

$$R_c = R = \frac{V_D}{Q}$$

Donde,

Q es el caudal de lodo a digerir, m^3/d .

V_D es el volumen del digestor, m^3 .

Una vez determinado el caudal de lodo (Q) que recibe el digestor se estima la carga volumétrica de sólidos volátiles ($kg\ SSV/m^3 \cdot d$) que recibirá el proceso. En la Tabla se muestra la carga orgánica recomendada para un sistema de mezcla completa.

Tabla #2. Carga volumétrica de sólidos volátiles, kg SSV/m³·d

SS (%)	Tiempo de retención R, días			
	10	12	15	20
2	1.4	1.2	0.95	0.70
3	2.1	1.8	1.4	1.1
4	2.9	2.4	1.9	1.4
5	3.6	3.0	2.4	1.8
6	4.3	3.6	2.9	2.1
7	5.0	4.2	3.3	2.5
8	5.7	4.8	3.8	2.9

El **mezclado** adecuado de un digestor es uno de los aspectos más importantes cuando se requiere optimizar el rendimiento del proceso de digestión. Los sistemas de mezclado de uso más frecuente son los siguientes:

- a) Inyección de gas
- b) Agitación mecánica mediante turbina de baja velocidad mantiene una buena eficiencia de mezclado.
- c) Bombeo mecánico

La **composición volumétrica del gas** generado en un proceso de digestión anaeróbica de lodos contiene entre un 65-70% de metano, 25-30% de dióxido de carbono y cantidades pequeñas de nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, vapor de agua y otros gases.

Los valores típicos varían entre 0.75 y 1.12 m³/kg de SSV destruidos.

El gas generado en los digestores se recoge bajo la cubierta de los mismos. Se emplean dos tipos de cubiertas:

- a) Cubiertas flotantes
- b) Cubiertas fijas

Las cubiertas flotantes se ajustan a la superficie del digestor y permiten que varíe su volumen sin que se produzca la entrada del aire. De ningún modo se permite la entrada del aire en el interior del digestor, ya que forma una mezcla explosiva junto con el metano.

Las cubiertas fijas proporcionan un espacio libre entre la cubierta del digestor y la superficie del lodo. Es necesario disponer de un sistema de almacenamiento de gas que permita: (1) Cuando varíe el volumen de lodo, entre gas en el digestor y no aire, y (2) no se pierda gas en el ingreso del lodo crudo.

Las formas más comunes de reúso y disposición de los lodos obtenidos por vías biológicas son la utilización como mejorador de suelos o su disposición en rellenos sanitarios, siendo ésta última una de las alternativas más empleadas.

2.6 Análisis comparativas de diversos tratamientos de aguas y residuales

Con vista a proponer un sistema de tratamiento de los residuales del matadero “Chichi Padrón” en la siguiente tabla se comparan cada uno de estos teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas.

Tabla#3 Tratamiento de las aguas residuales

Lagunas Facultativas	Biofiltros Percoladores	Biofiltros Horizontales	Digestor Anaerobio
<p>Ventajas:</p> <p>Bajo consumo de energía y costo de operación.</p> <p>Bajo costo de construcción. (siempre que el terreno sea barato)</p> <p>Esquemas sencillos de flujo.</p> <p>Operación y mantenimiento, simple.</p> <p>Remoción eficiente de bacterias patógenas.</p> <p>Amortiguamiento de picos hidráulicos, de cargas orgánicas y de compuestos tóxicos.</p>	<p>Ventajas:</p> <p>Fácil arranque y operación</p> <p>Bajos costos de inversión</p> <p>No produce agua de desecho.</p>	<p>Ventajas:</p> <p>Bajo costo de operación y mantenimiento.</p> <p>Variedad de materiales de relleno para su construcción.</p>	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No hay necesidad de suministrar oxígeno por lo que el proceso es más barato. • Requerimiento energético es menor. • Requerimiento de nutrientes inorgánicos como nitrógeno y fósforo es bajo. • Se produce una menor cantidad de lodo (20% en comparación con un sistema de lodos activos) y además se puede disponer como abono y mejorador de suelos. • Aprovechamiento de gas metano como fuente de energía. • Por último, las bajas necesidades de químicos y el aprovechamiento del biogás, resulta económicamente atractivo. • Es un tratamiento que logra una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
<p>Desventajas:</p> <p>Altos requerimientos de Área. (Solo son viables con un costo de terreno bajo)</p> <p>Efluente con elevado</p>	<p>Desventajas:</p> <p>No conveniente para tratamiento de contaminantes cuyos</p>	<p>Desventajas:</p> <p>Sobrecargas orgánicas e hidráulicas.</p> <p>Atascamientos</p> <p>Zonas de encharcamiento.</p>	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baja tasa de crecimiento; por lo tanto, al iniciar el proceso de arranque

<p>contenido de algas, puede ser rechazado para descargarlo en cuerpos de agua. Su funcionamiento depende de las condiciones ambientales tales como la temperatura, la irradiación solar, la velocidad del viento, etc., que son propiedades aleatorias. Generación de, olores desagradables y deterioro de la calidad del efluente por sobrecargas de contaminantes, bajo ciertas condiciones climáticas</p> <ul style="list-style-type: none"> □ Contaminación de acuíferos por infiltración, particularmente en lagunas construidas sobre suelos arenosos. 	<p>subproductos son compuestos ácidos.</p>	<p>Escasa ventilación. Malos olores.</p>	<p>del reactor se requiere de un periodo de tiempo que dependerá de la calidad y cantidad de inóculo utilizado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Normalmente necesita un tratamiento aerobio con el propósito de alcanzar una calidad aceptable antes de descargarse a un cuerpo de agua. • Producción de malos olores asociado al H₂S, el que puede controlarse mediante un diseño y ubicación adecuado.
--	--	--	--

2.6.1 Analisis de los resultados

Un análisis de la tabla anterior sugiere que para la selección del tratamiento de los residuos líquidos del matadero Chichi Padrón las opciones del biofiltro percolador y el biodigestor anaeróbico pueden ser los que más se ajustan, debido principalmente a sus ventajas y desventajas con respecto a las otras dos, pero teniendo en cuenta que el análisis del biodigestor se crean además otros productos que pueden ser empleados por la empresa para sus ganancias, ya sean por la producción de biogás o por la disminución de los gases que provocan efecto invernadero se hace más atractivo este último y en el próximo capítulo se realizará el diseño de este y el consiguiente análisis de factibilidad económica.

2.7 Conclusiones Parciales

1. La alternativa de la instalación de un biofiltro percolador para el tratamiento del agua residual del matadero Chichi Padrón, es la más factible para su implementación futura.
2. El biodigestor Anaerobio de 43m³ es una alternativa viable para la sustitución de combustible en el proceso de elaboración de subproductos cárnicos.

CAPÍTULO III: DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAEROBIO

3.1 Tarea de Inversión

3.1.1 Problema original de la inversión.

En Cuba la sustitución de importaciones a partir de la implementación de nuevas tecnologías es una necesidad de primer orden para disminuir la dependencia económica de la nación. En el Matadero `` Chichi Padrón`` además de las Buenas Prácticas Operativas se puede mejorar el desempeño productivo y ambiental del mismo a través de la incorporación de tecnología más limpia, que implican desarrollo tecnológico o inversiones que a mediano plazo puedan contribuir a esta política del país. La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables, ya que produce un combustible de valor además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico.

A partir de esta concepción se realiza una propuesta de una inversión en El matadero Chichi Padron para implementar um biodigestor anaeróbico

➤ Propuesta de inversión.

Se propone como una alternativa de Producción más Limpia en la UEB `` Chichi Padrón``, la instalación de un sistema de generación de biogás a partir de estiércol y aguas de desechos.

Objetivo de la inversión: Diseñar um biodigestor anaeróbico para la generación de biogás a partir del estiércol y aguas de desecho procedentes del matadero ``Chichi Padrón``.

➤ Análisis de la propuesta de inversión

Para seleccionar la propuesta de inversión se debe realizar un estudio de factibilidad, para ello es necesario el análisis del estudio de mercado (oferta-demanda), balance entre la demanda y la capacidad, análisis técnico-económico, características de las materias primas y productos a elaborar, requerimientos de fuerza de trabajo, alternativas de macro-localización, efecto económico diverso de la inversión, inversiones inducidas o auxiliares que requiere la inversión principal, así como el costo estimado de la inversión.

➤ Estudio de mercado

Los biodigestores se caracterizan por su bajo costo, fácil instalación y mantenimiento, así como por requerir sólo de materiales locales para su construcción. Por ello se consideran una “tecnología apropiada” y son factibles económicamente al tener un período de retorno de dos a cuatro años aproximadamente. Los beneficios que trae la instalación de los mismos son: reducción del volumen y la carga contaminante de las aguas residuales, reducción

del consumo de combustible y energía eléctrica, obtención de fertilizantes que pueden venderse generando beneficios económicos y reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.

➤ Balance entre la demanda y la capacidad

La disponibilidad de energía en el biogás a partir de la digestión de aguas residuales de mataderos, típicamente proveen entre 10 – 20% de los requerimientos de energía en las plantas térmicas, ya que el biogás puede ser utilizado en sistemas quemadores para el calentamiento de agua de escaldado, limpieza de la planta con agua caliente, alumbrado de los locales o bien empleando estufas de gas en la cocina para la cocción de los alimentos.

➤ Características de las materias primas fundamentales y producto a elaborar.

Las materias primas fundamentales de este proceso la constituyen:

Aguas Residuales: las aguas residuales más adecuadas para el tratamiento anaerobio son aquellas con valores intermedios o altos de DBO₅, los cuales oscilan entre 2000 a 20000 mg/l. Sin embargo, las aguas residuales del Matadero “Chichi Padrón”, según los resultados del diagnóstico, tienen una concentración de 420 mg/l de DBO₅. Esto significa que solo debe usarse para la generación de biogás, las aguas de desechos de los corrales que tienen mayor contenido de estiércol y materia biodegradable.

Estiércol: es el nombre con el que se denomina a los excrementos de animales que se utilizan para fertilizar los cultivos. En ocasiones el estiércol está constituido por más de un desecho orgánico, como por ejemplo excrementos de animales y restos de las camas, como sucede con la paja. El lugar donde se vierte o deposita el estiércol es el estercolero.

➤ Requerimientos de la fuerza de trabajo

Para la operación y puesta en marcha de la fábrica se dispondrá personal calificado para su construcción y de una atención periódica por parte de técnicos especializados.

➤ Alternativas de macro-localización

La planta para la obtención de biogás se localizará en la Carretera a Subplanta, s/n e/ CUPET y Circunvalación, Municipio Santa Clara ya que la UEB Matadero “Chichi Padrón”, perteneciente a la Empresa Cárnica de Villa Clara se encuentra en este lugar. De esta manera se aprovecha así el abasto de la materia prima y se trabaja en el tratamiento de este residual por lo que se aprovecha las condiciones para la nueva inversión. Es necesario aclarar que para procesar todo el estiércol que se genera el biodigestor sería muy grande por lo tanto se trabaja solo con un por ciento de este

➤ Efecto económico diverso de la inversión.

El análisis de esta opción de mejora debe ser profundizado, considerando la inversión y los posibles ahorros que generarían su recuperación ya que reduce el

consumo de combustible y eleva la eficiencia de la combustión disminuyendo así las emisiones atmosféricas.

- Las inversiones inducidas o auxiliares que requiere la inversión principal.

Para la utilización de biogás como combustible se necesita modificar el sistema de alimentación de la caldera reemplazando los quemadores de fuel oil por otros adaptados a la combustión de gas, ya que la presencia de H₂S en el biogás puede llevar a la corrosión de los equipos calentadores, lo cual puede ser solucionado haciendo pasar el biogás por un recipiente con limaduras de hierro además de la separación de la cantidad de estiércol seco a procesar.

- Costo estimado de la inversión

El costo estimado de la inversión se determinó empleando la ecuación 5.10 del Ulrich utilizando como planta referencia la diseñada y propuesta en el proyecto de inversión de una planta de biogás en Chile.

$$CI_{cp_n} = CI_{cp_r} \cdot \left(\frac{cp_n}{cp_r} \right)^{0.6}$$

CI_{cp} = 2 250, 20 \$

CP_n = 43 m³

(\$)

CP_r = 100 m³

CI_{cpn} = 1 355,97 \$

Leyenda:

CI_{cpn} Costo de inversión de la capacidad nueva

CI_{cp_r} Costo de inversión de la capacidad de referencia.

cp_n Capacidad nueva

cp_r Capacidad de referencia

3.2 Tarea de Proyección:

- Entidades Participantes

En la implementación de la planta intervienen como inversionista el Ministerio de la Industria Alimentaria MINAL.

- Microlocalización de la obra

La planta estará instalada en áreas internas de la UEB Matadero "Chichi Padrón", perteneciente al municipio Santa Clara en la provincia de Villa Clara; lugar en el cual se trabaja por lograr un perfeccionamiento empresarial desde el 2001. Para la toma de decisiones se tuvieron en cuenta los aspectos siguientes: se utilizará la electricidad y el agua así como otros servicios necesarios del matadero, se minimizan los costos en transportación ya que la materia prima sería el estiércol y el agua residual procedente del lugar y se ahorra combustible.

- Objetivo y capacidad de la obra.

Considerando la disponibilidad de materia prima la obra tiene como objetivo la implementación de una planta de producción de biogás a partir de estiércol y aguas residuales procedentes del matadero con una capacidad de dos bioreactores de 43 m³ cada uno, alimentado con una mezcla de 125 kg de estiércol y 4060 litros de agua.

- Vinculación de la obra con otras

La obra estará vinculada directamente con el Matadero “Chichi Padrón” ya que de este se obtiene la materia prima fundamental y los servicios auxiliares para los objetivos propuestos.

- Descripción general de la obra y relación completa de los objetos

La planta consta de:

- Parte tecnológica (Empresa de Construcción Especializada.)
- Parte civil (Empresa de Construcciones.)
- Movimiento de tierra.

Para ello es necesario el diseño y montaje de:

Losa de cimentación (cono)

Muro circular (cilindro)

Cúpula superior (esfera)

Cuello

- Consumos fundamentales

Los consumos fundamentales de la planta serían:

Materia Prima: debe ser de buena calidad y con un alto contenido de DBO5.

- Requerimientos funcionales.

Obras de Ingeniería Civil para la construcción de los cimientos.

Obras de Ingeniería Mecánica para llevar a cabo el montaje de los equipos, tuberías y accesorios.

Obras de Ingeniería Eléctrica para la realización de todas las instalaciones eléctricas necesarias.

3.3 Proyecto Tecnológico

3.3.1 Marco teórico

El biogás se produce en un proceso biológico. En ausencia de oxígeno (anaeróbico significa sin oxígeno), la materia orgánica se descompone formando una mezcla de gases conocida como biogás. Ese proceso se encuentra ampliamente en la naturaleza y ocurre, por ejemplo, en los páramos o en el fondo de los lagos en pozos de lodo líquido y en el rumen de los rumiantes. La materia orgánica se convierte casi enteramente en biogás gracias a la acción de una gama de distintos microorganismos. También se genera energía (calor y nueva biomasa).

La mezcla de gases resultantes consiste principalmente de metano (50-75 vol. %) y de dióxido de carbono (25-50 vol. %). El biogás también contiene pequeñas cantidades de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y otros gases traza. La composición del gas está determinada esencialmente por los sustratos.

Se proyecta la solución estructural de un generador de biogás para el sistema de tratamiento de residuales del matadero “Chichi Padrón” de la ciudad de Santa Clara.

Los principales aspectos que se deben tener en cuenta al ubicar un biodigestor son los siguientes:

- Seleccionar el lugar más cercano posible a la fuente de materia prima.
- En el lugar debe existir una fuente de agua para realizar la mezcla y mantener la limpieza de la planta.
- La instalación donde se utilizará el biogás debe encontrarse lo más cerca posible de la planta de biogás
- Se debe evitar el contacto con el manto freático, para prevenir las filtraciones hacia el interior o la contaminación del manto. Como norma, el fondo del biodigestor debe encontrarse a un metro o más sobre el manto freático.

En el proyecto se realizará una **planta de flujo discontinuo** de cúpula fija de mampostería. Su construcción se realizará con paredes de bloques de hormigón y cúpula de ladrillos, y se emplean otros materiales conocidos, como cemento, arena, piedra y acero constructivo, que aseguran una alta resistencia y durabilidad de la obra.

Este tipo presenta las ventajas siguientes:

- No presentan partes móviles propensas al desgaste, así como tampoco partes metálicas que faciliten la corrosión.
- Su tiempo de vida útil se extiende a más de 20 años.
- Posibilidad de hacer extracciones del lodo digerido, sistemáticamente, sin alterar su funcionamiento, lo que permite un mejor aprovechamiento del lodo y extiende los plazos de mantenimiento.
- Simplificación del método de construcción, lo que permite disminuir el tiempo de ejecución (de 10 a 15 días).

Su desventaja principal radica en la necesidad de personal calificado para su construcción y de una atención periódica por parte de técnicos especializados.

3.4 Cálculo del volumen del biodigestor

Volumen

El volumen del biodigestor (VD) se calcula en función del volumen de lodos diarios alimentado (VL) y el tiempo de retención (R), utilizando el criterio siguiente:

$$V_D = 0.7V_L R$$

El volumen de lodo depende de la cantidad de estiércol (ME) disponibles.

Si ME es de 125 kg de estiércol diario, se puede estimar el volumen de un lodo con 3% de estiércol y densidad de 1020 kg/m³, utilizando el criterio siguiente:

$$V_L = \frac{ME}{30.5} = \frac{125}{30.5} = 4.1 \text{ m}^3 \text{ lodo/d}$$

Se puede estimar el volumen de agua (VA) para diluir 125 kg de estiércol diario hasta 97% de humedad y 1020 kg/m³ de densidad, utilizando el criterio siguiente:

$$V_A = 990V_L = 990 \times 4.1 = 4050 \text{ l/d}$$

Para un tiempo de retención (R) de 15 días: $V_D = 0.7 \times 4.1 \times 15 = 43 \text{ m}^3$

Por lo tanto, se requieren construir dos bioreactores de 43 m³ cada uno, alimentado con una mezcla de 125 kg de estiércol y 4060 m³ de agua.

3.5 Planificación de las actividades para el montaje de la Planta.

En la siguiente tabla elaborada a través del Microsoft Project se muestra la programación de las actividades para el montaje y puesta en marcha de la planta junto al tiempo de duración y los principales recursos destinados para cada actividad:

ID	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Resource Names
1	Visita al lugar	1 day	Wed 1/24/18	Wed 1/24/18		
2	Preparación del terreno	5 days	Thu 1/25/18	Wed 1/31/18	1	Grúas,excavadoras,Camiones,Obreros
3	Compra de los materiales de construcción y equipos	2 days	Thu 1/25/18	Fri 1/26/18	1	Dinero,Camiones
4	Suministro de los materiales de construcción	3 days	Thu 2/1/18	Mon 2/5/18	2,3	Camiones
5	Construcción de cimientos	7 days	Tue 2/16/18	Wed 2/14/18	4	Materiales de construcción,Obreros,Ingenieros Civil
6	Edificación	7 days	Thu 2/15/18	Fri 2/23/18	5	Ingenieros Civil,Obreros
7	Instalación de equipos y tuberías	4 days	Mon 2/26/18	Thu 3/1/18	6	Ingenieros Químicos,Ingenieros Mecánicos,Obreros
8	Instalación eléctrica	3 days	Fri 3/2/18	Tue 3/6/18	7	Ingenieros Eléctricos,Electricistas
9	Prueba Hidráulica	1 day	Wed 3/7/18	Wed 3/7/18	8	Ingenieros Hidráulicos
10	Puesta en marcha	1 day	Thu 3/8/18	Thu 3/8/18	9	Ingenieros Químicos

Figura. 3.1 Plan de actividades

Diagrama de Grantt

Las actividades programadas en color rojo representan la ruta crítica; es decir, es necesario cumplir rigurosamente con las mismas en el tiempo establecido para no afectar el progreso de la obra.

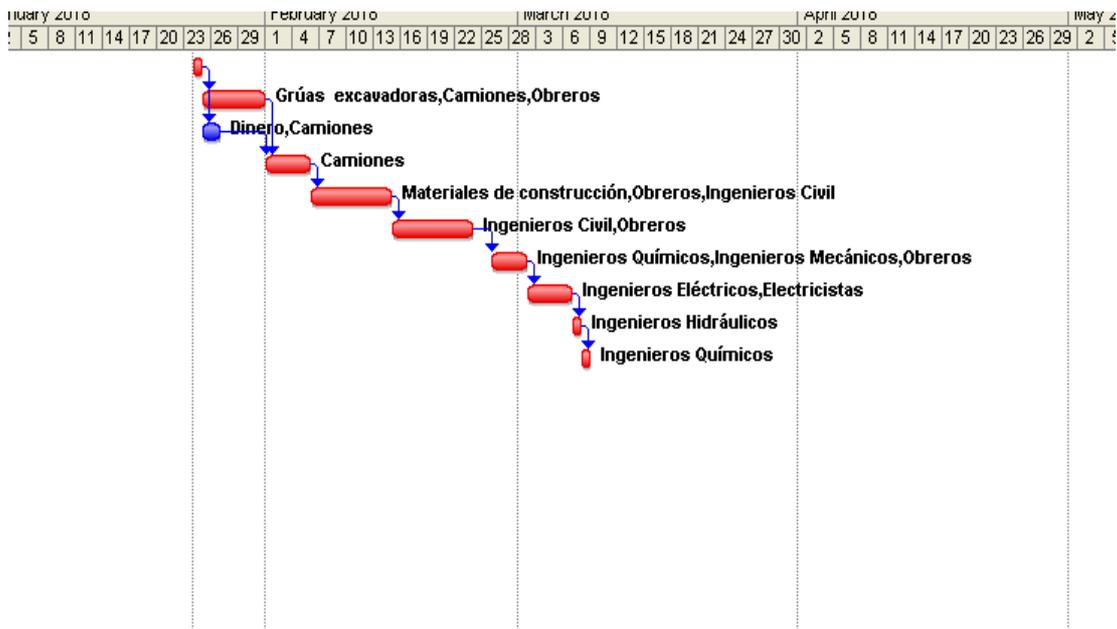


Figura 3.2 Ruta Crítica

3.6 Evaluación Económica Del Biodigestor

El diseño de toda planta incluye estudios económicos los cuales contribuyen a evaluar su rentabilidad sobre la base del cálculo del Costo Total de Inversión, Costo Total de Producción, Ganancias, así como el análisis de los indicadores dinámicos, dígame el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa de Rendimiento Interna (TIR) y el Período de Recuperación al Descuento (PRD); de esta forma se determina si es factible o no el montaje y la puesta en marcha de la planta.

El estimado de los indicadores se realiza aplicando la metodología propuesta en (Peters, 1991), mientras que los cálculos fueron programados con Microsoft Excel.

3.6.1 Evaluación Económica de la Planta de Producción de Biomasa de Chlorella.

3.6.1.1 Costo Total de Inversión.

Para el caso de los costos totales de inversión se considera principalmente la adquisición de los equipos para el montaje de la planta siendo estos costos actualizados a través de los índices de costos correspondientes:

$$\text{Costo de inversión (I)} = \text{Inversión fija(IF)} + \text{Inversión de trabajo(IT)} \quad \text{Ec 3.2}$$

$$\text{Inversión fija(IF)} = \text{Costos de Materiales} + \text{Mano de Obra} \quad \text{Ec 3.3}$$

En la Tabla 3.1 se muestra el costo de adquisición del equipamiento, así como la mano de Obra para una planta de capacidad de producción de 43m³ de los materiales.

Tabla 3.1-Lista de Materiales

Materiales	Cantidad	Precios UNIT (\$)	Residuos Totales
Cemento	50	6,24	312
Arena	4	5,36	21,44
Grava	5	4,38	21,9
Acero Ø	60	740,81	44448,6
Bloques	355	2,35	834,25
Ladrillos	5000	0,9	4500
Total			50138,19

Tabla 3.2- Mano de Obra

Descripción	Personal	Precio UNIT/ \$. Personal Dia	Nº de Dias	Presio Total (\$/)
Construcción del Digestor	12	30	34	1020
Construcción de los Depósitos de carga y Descarga	10	30	15	450
Total				1470

Tabla 3.3- Costos Directos

Descripción	Valor (\$)
Costo de Materiales	50238,19
Costo de Mano de Obra	1470
Total (\$.)	51708,19

Tabla 3.4- Costos Indirectos

Concepto		Costo (\$/año)
Depreciación	10%	5170,819
Impuestos	2%	1034,1638
Seguros	0,4%	206,83276
Total (\$.)		6411,81556

CTI= 6 411,81556+51708,19

CTI= 58 120,005 \$

3.6.1.2 Costo Total de Producción.

Los costos totales de producción se obtuvieron, entre otros aspectos, a partir de los consumos en materias primas, requerimientos y mano de obra.

CTP = Costo Total de Fabricación (CTF) + Gastos Generales (GG)

Ec 3.4

CTF = Costos Directos + Costos Fijos

Ec 3.5

Tabla 3.4- Costos de Requerimientos.

Requerimiento	Precio(\$/m3)	Consumo(m3)	Costo (\$/año)
Agua	0,08	4060	324,8
Costo Total (\$/año)			324,8

$$CTP = 58\ 120,005 + 324,8$$

$$CTP = 58\ 444,805 \text{ \$/ año.}$$

3.6.1.3 Ganancia.

Para el valor de la producción se tendrá en cuenta el producto que se será de utilidad en la misma fábrica.

$$\text{Ganancia} = \text{Valor de la producción} - CTP \quad \text{Ec. 3.6}$$

$$\text{Valor de Producción} = \text{Precio de venta} * \text{Producción} \quad \text{Ec. 3.7}$$

Tabla 3.5- Valor de Producción en 2 años

	Valor
Beneficios A Biogas Como combustible	
a.Producción de Biogás	2 0640
b.Equivalente neto a la combustión de combustible Fósil (Litros diesel)	20 000
c.Precio comercial por unidad de combustible fósil (soles/Lt)	3,5
d.ahorro total anual por el uso de biogás (b*c) soles	70 000,000
B Fyente como Fertilizante	
e.Nitrogéno (soles/año)	71,064
f.Fosforo (soles/año)	41,7
g.Potasio (soles/año)	87,136
h.ahorro total anual por el uso del efluente (e+f+g) (soles)	199,9
C.Beneficios Directos Totales Al Año (d+h) \$/	70 199,900

$$\text{Ganancia} = 11\ 755,095 \text{ \$/ año}$$

3.6.1.4 Indicadores dinámicos de rentabilidad

La valoración de factibilidad de la inversión se realizó sobre la base del cálculo de los indicadores dinámicos de rentabilidad. VAN, TIR, PRD, tomando una tasa de interés del 12%.

VAN: Valor Actual Neto

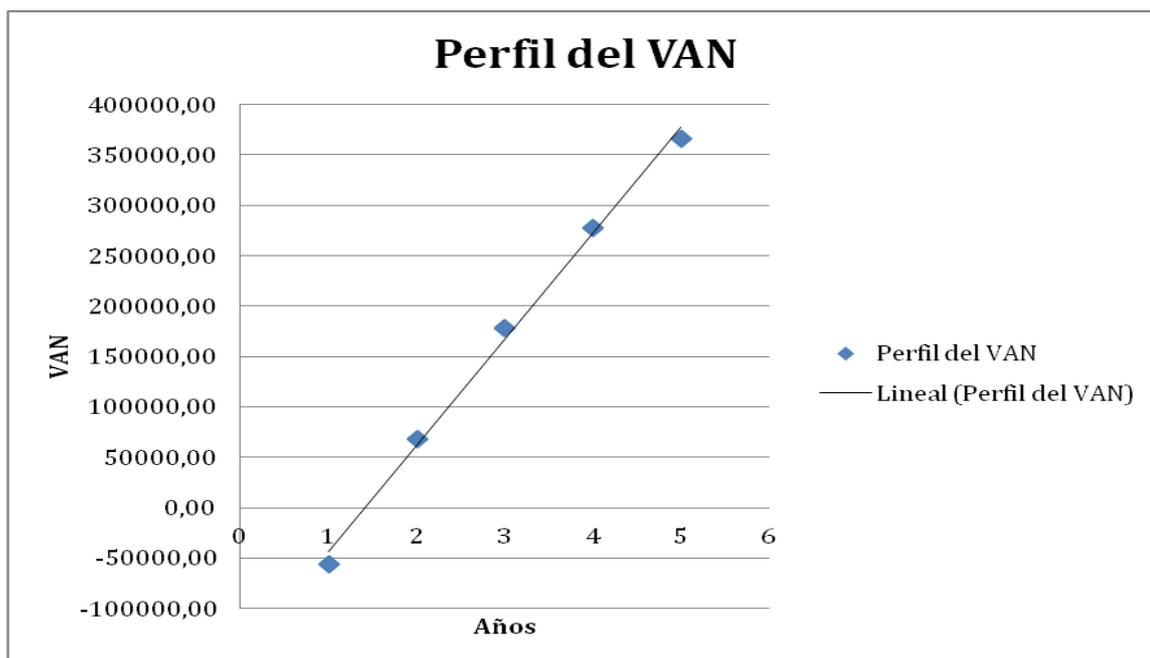
$$\text{Valor Actual Neto} = \sum_{k=1}^n \frac{\text{Flujo de caja}}{(1+i)^k} - \text{Inversión total}$$

TIR: Tasa Interna de Retorno □ PRD: Período de Recuperación al Descuento

Los resultados obtenidos se determinaron por un programa realizado en Excel, donde se evaluaron los indicadores.

Tabla 3.6 Indicadores Dinámicos

VAN	365807,34
TIR	66%
PRD	1,23



3.7 Conclusiones Parciales

1. La documentación del proyecto, conformada por la tarea de inversión y de proyección, permite determinar los aspectos fundamentales relacionados con la inversión inicial exponiendo la necesidad de implementación de este.
2. Considerando la disponibilidad de la materia prima, los balances y la metodología establecida para cada uno permitió diseñar el biodigestor para una capacidad de 43 m³, alimentado con una mezcla de 125 kg de estiércol y 4 060 litros de agua.
3. La Planta dio rentable para un periodo de recuperación de un año y medio. El VAN es de 365 807,34 y la ganancia es de 11 755,095.
4. La programación para el desarrollo de la obra, realizándose con la ayuda del Microsoft Project, estableció que el tiempo mínimo para la ejecución es de 34 días.

Conclusiones

1. La revisión bibliográfica y el diagnóstico del matadero Chichi Padrón fundamentan la necesidad de establecer una estrategia para disminuir los impactos de esta industria sobre el medio ambiente.
2. Se proponen varias alternativas para el tratamiento del agua residual de la planta siendo el Biofiltro Percolador más efectivo por las ventajas que este proporciona.
3. Considerando la disponibilidad de la materia prima, los balances y la metodología establecida se diseña un biodigestor de capacidad de 43 m³, para una relación de alimentación de una mezcla de 125 kg de estiércol y 4 060 litros de agua.
4. Por las implicaciones en producción de biogás para sostenibilidad de la planta y generación de otros productos esta empresa puede tener una ganancia de 11 755,095 anualmente.
5. La propuesta del biodigestor demuestra su factibilidad técnica económica y ambiental con un periodo de recuperación de un año y seis meses un VAN de 365 807,34.
6. La programación para el desarrollo de la obra, realizándose con la ayuda del Microsoft Project, estableció que el tiempo mínimo para la ejecución es de 34 días.

Recomendaciones

1. Implementar la tecnología de producción de biogás con la implementación de una batería de dos biodigestores.
2. Introducir las buenas prácticas como requisito de estricto cumplimiento por los operarios de las diferentes áreas de la empresa.
3. Continuar el estudio de otras alternativas de producciones más limpias para mejorar la implicación medioambiental de la empresa.

Bibliografía

- CANALES, C. 2005. Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector cárnico.
- Manual de Producción más Limpia. Available
- CITMA 1997. Ley 81 Del medio ambiente Cuba.
- CPMLN. 2007. Manual de Buenas Prácticas Operativas de Producción Más Limpia para la Industria de Mataderos. Available.
- Guía Técnica de Producción Más Limpia para Mataderos de Bovinos.
- DÍAZ, R. 2006. Tratamiento de Aguas y Aguas Residuales, La Habana, Cuba.
- Propuestas de alternativas de Producción Más Limpia en la Cervecería “Antonio Díaz Santana” de Manacas.
- ENAST 2016. Caracterización de los residuales líquidos de la UEB Matadero “Chichi Padrón”.
- Diagnóstico ambiental de la UEB Matadero “Chichi Padrón”.
- GILBERTO, C., CESARIO, C. 2008. Tratamiento de las aguas residuales de un centro de beneficio o matadero de ganado. Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Vol. 11, No 1, Págs. 29 - 35. 21. GRANADA, A. Y. C. 1974.
- LÓPEZ, R. 2004. Tecnología de Mataderos. Ediciones Mundi Prensa
- METCALF, E. 1996. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill.
- PNUMA 1989. Producción más Limpia, Un Paquete de Recursos de Capacitación”.
- SALHER 2014. Catálogo para Tratamiento de Aguas Residuales.
- TORRES, S. 2009. Produccion mas limpia. Universidad ICESI.
- VARELA, I. 2003. Definición de Producción más Limpia. Tecnología en Marcha, Vol. 16 N° 2. ZANETTI, F. E. 1972. Análisis de aguas negras. Revista Tecnológica, Núm. 10.
- AZMAR, A. & CABANELAS, J. C. 2000. Ingeniería de reacciones.
- CASTAÑEDA, W. 2011. Tecnología ambiental.
- CIDTA. 2017. *Características de las aguas residuales* [Online]. Available: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>.
- ENAST 2016. Caracterización de los residuales líquidos de la UEB Matadero “Chichi Padrón”.
- FÚQUENE, H. E. B. & HERNÁNDEZ, E. Y. R. 2012. *Propuesta para el diseño de un biodigestor para el aprovechamiento de la materia orgánica generada en los frigoríficos de Bogotá*. Proyecto de grado para optar al título de: Ingeniero de Producción Universidad Distrital Francisco José de Caldas
- GEOCUBA 2009. Diagnóstico ambiental de la UEB Matadero “Chichi Padrón”.
- LORENZO, Y. & OBAYA, M. C. 2006. La digestión anaerobia y los reactores UASB.Generalidades sobre los derivados de la Caña de Azúcar. *Revista ICIDCA*, 15, 8.
- MARTÍN, L. P. 2017. *Propuesta de alternativas de Producción Más Limpia en la UEB Matadero Chichi Padrón*. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas Facultad de Química-Farmacia Departamento de Ingeniería Química
- PETERS, T. A. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, Colorado.

PNUMA 1989. Producción más Limpia, Un Paquete de Recursos de Capacitación”.

RESTREPO, G. C. 2008. *EVALUACIÓN Y MONITOREO DE
L SISTEMA DE LAGUNAS DE*

ESTABILIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE

SANTA FÉ DE ANTIOQUIA,

COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL.

ROMERO. 1999. *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades.*

VEALL, F. 1993. Estructura y funcionamiento de mataderos medianos de países
en desarrollo. In: ALIMENTACIÓN, O. D. L. N. U. P. L. A. Y. (ed.). Roma: FAO.

[https://www.ceplan.gob.pe/wp-](https://www.ceplan.gob.pe/wp-content/uploads/files/Documentos/disenyo_y_construccion_de_un_biodig)

[content/uploads/files/Documentos/disenyo_y_construccion_de_un_biodig](https://www.ceplan.gob.pe/wp-content/uploads/files/Documentos/disenyo_y_construccion_de_un_biodig)
[estor_industrial_para_tratamientos_de_residuos_organicos.pdf](https://www.ceplan.gob.pe/wp-content/uploads/files/Documentos/disenyo_y_construccion_de_un_biodig)

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19117/capitulo4.pdf>

<http://www.tratamientodelagua.com.mx/lagunas-de-oxidacion-que-son/>

<http://www.vet.unicen.edu.ar/ActividadesCurriculares/IntroduccionSistemasPr>
[oductivos/images/Documento/2015/Tipos%20de%20Lagunas.pdf#page](http://www.vet.unicen.edu.ar/ActividadesCurriculares/IntroduccionSistemasPr)
[=1&zoom=auto,-135,848](http://www.vet.unicen.edu.ar/ActividadesCurriculares/IntroduccionSistemasPr)

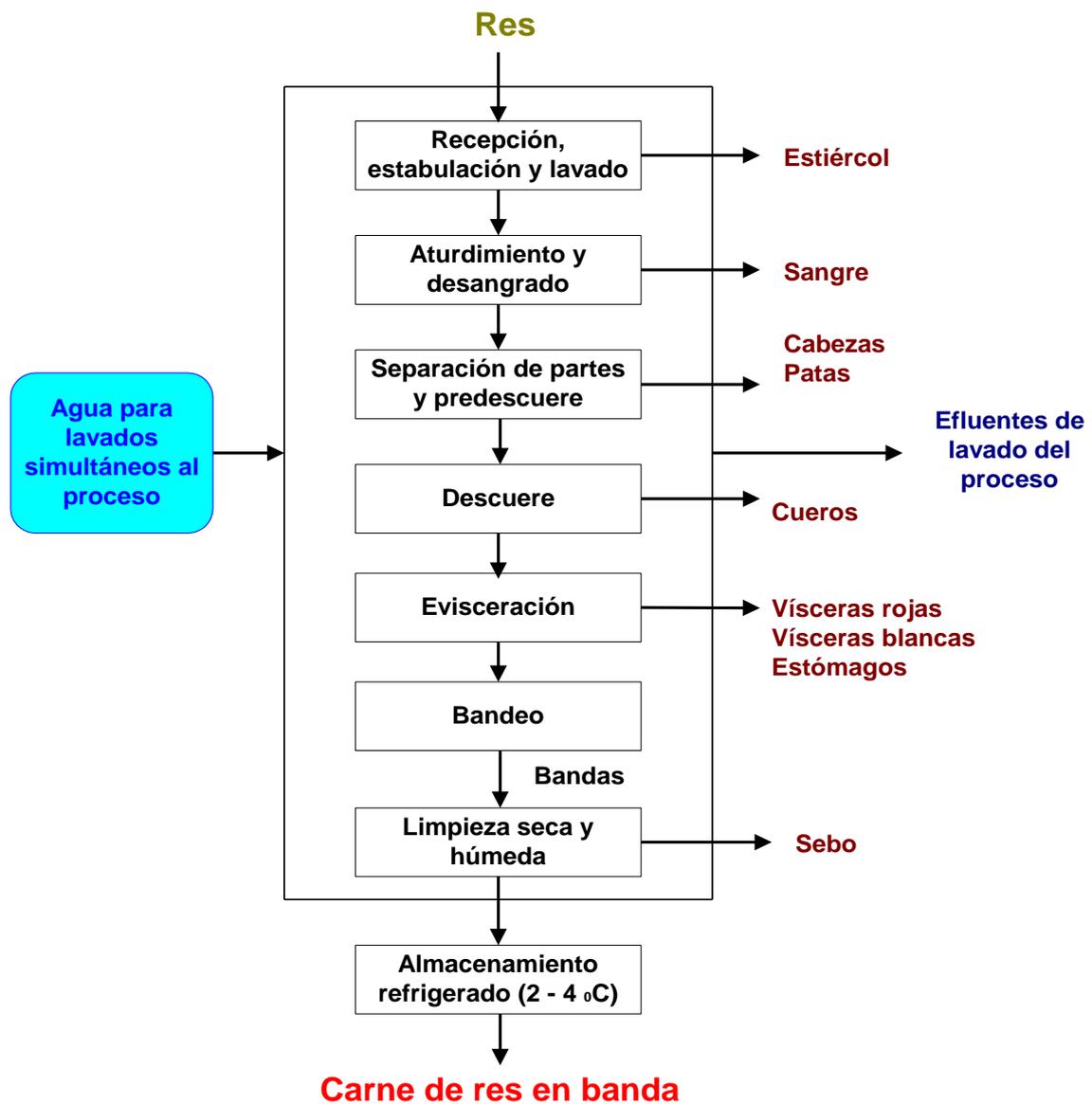
<http://www.redalyc.org/pdf/2231/223121549002.pdf>

<http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/778/1/2011639x->
[2011-2-IM.pdf](http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/778/1/2011639x-)

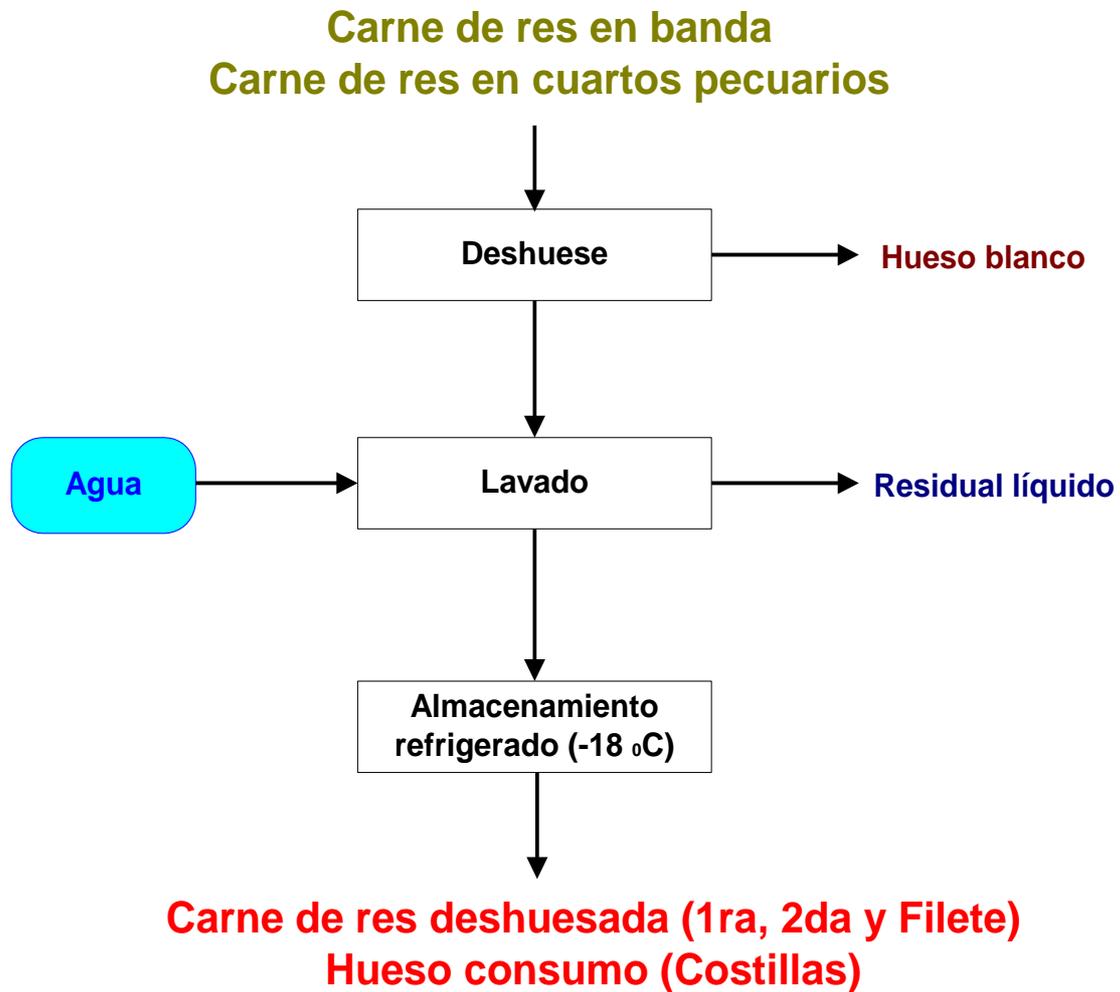
<http://www.catedradelagua.uji.es/wp-content/uploads/2016/09/08->
[A_Sempere.pdf](http://www.catedradelagua.uji.es/wp-content/uploads/2016/09/08-)

Anexos

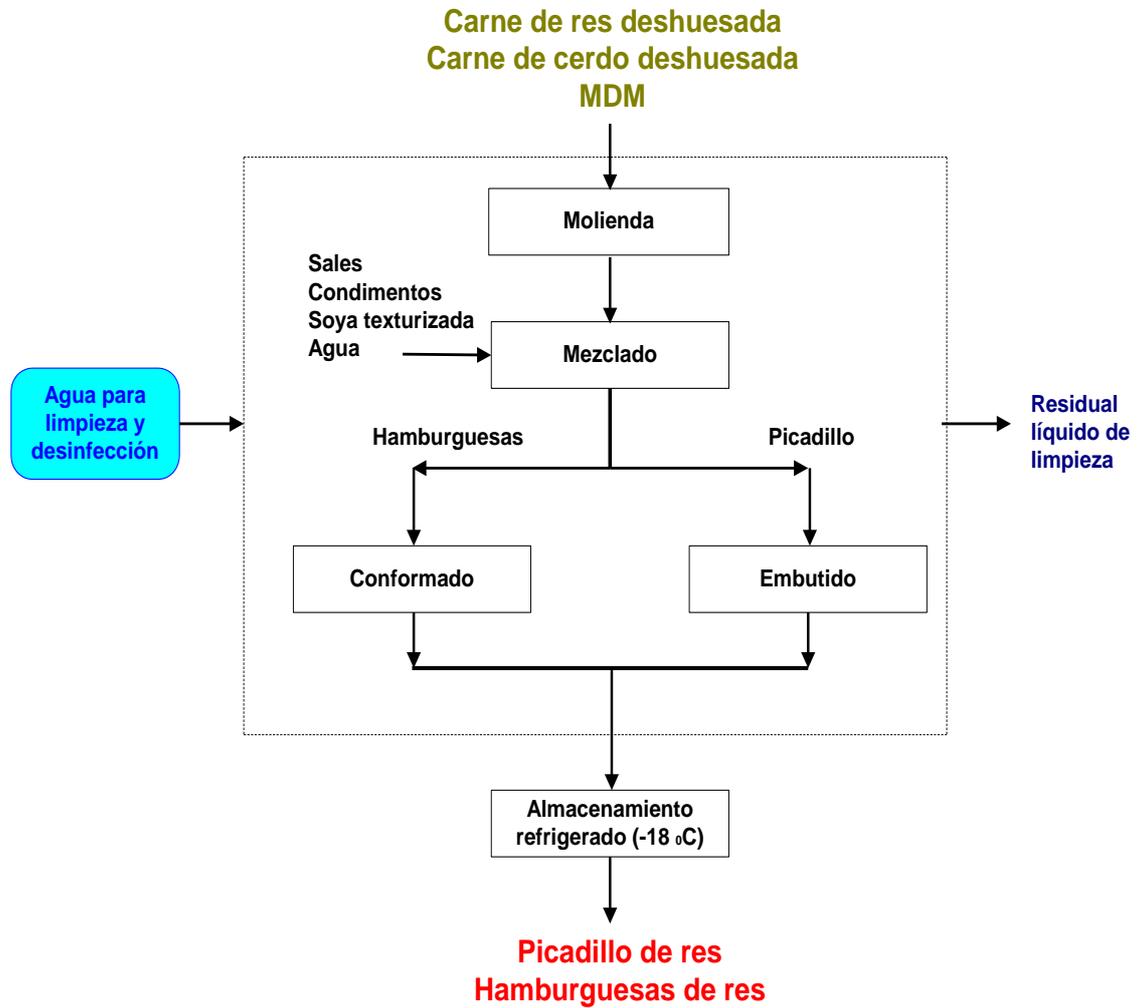
ANEXO A. Diagrama de bloques del proceso de sacrificio(Martín, 2017)



ANEXO B. Diagrama de bloques del proceso de deshuese(Martín, 2017)



ANEXO C. Diagrama de bloques del proceso de elaboración(Martín, 2017)



Anexo D. Flujo de caja de análisis dinámico de los costos

Años		1	2	3	4	5
Inversión	58120,005					
Producción		10320	20640	30960	41280	51600
Ingresos		3624,9	7019,9	7019,9	7019,9	7019,9
Costos variables		4013,19	4013,19	4013,19	4013,19	4013,19
Amortización		963	963	963	963	963
Beneficios		2810,00	155355,17	155355,17	155355,17	155355,17
Impuestos		843	843	843	843	843
Ingreso neto		1967	154512,17	154512,17	154512,17	154512,17
Flujo de caja	-58120,005	2930	155475,17	155475,17	155475,17	155475,17
Fact actualiz		0,892857143	0,797193878	0,711780248	0,635518078	0,567426856
F. caja actualiz		2616,071429	123943,8536	110664,155	98807,28128	88220,78686
VAN Año		-55503,93	68439,92	179104,08	277911,36	366132,14
Tasa de interés	12%					
VAN	366132,14					
TIR	66%					
PRD	1,22					