

**UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
SEDE “Oscar Lucero Moya”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES**

TRABAJO DE DIPLOMA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BIODIGESTORES PARA LA
EMPRESA DE PRODUCTOS LÁCTEOS HOLGUÍN**

RAUDELÍ FUENTES RODRÍGUEZ

HOLGUÍN

2017

UNIVERSIDAD E HOLGUÍN
SEDES “OSCAR LUCERO MOYA”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES

TRABAJO DE DIPLOMA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BIODIGESTORES PARA LA
EMPRESA DE PRODUCTOS LÁCTEOS HOLGUÍN**

AUTOR: RAUDELÍ FUENTES RODRÍGUEZ

TUTORES: Ing. Yusleydis Cano Ricardo

MSc. Raymundo C. Rodríguez Tejeda

HOLGUÍN

2017

PENSAMIENTO

La inteligencia consiste no solo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.

Aristóteles

AGRADECIMIENTOS

A mis amigos y a todos los que compartieron conmigo en todos estos años de estudios gracias por las experiencias y por la motivación con su apoyo.

A mis tutores por su colaboración en el desarrollo de esta tesis y a los profesores por todas las enseñanzas que me brindaron para mi preparación como futuro profesional.

A la Universidad, al departamento de Construcción Civil y al Centro de Competencia por aportar directa e indirectamente en mi formación.

Muchas gracias a todas las personas que de una forma u otra contribuyeron al desarrollo de mi vida como estudiante.

DEDICATORIA

A mis padres por la paciencia, la dedicación y sus esfuerzos por impulsarme a ser alguien cada día mejor en la vida y ayudarme alcanzar mis metas.

A mi familia por todo el apoyo, los consejos y la ayuda que me han brindado durante los años de estudio en la universidad.

RESUMEN

La generación de aguas residuales en las industrias alimentarias es una de las mayores fuentes de contaminación al medio ambiente, debido a las altas cargas contaminantes que transportan. Específicamente la industria láctea se caracteriza por poseer una gran cantidad de materia orgánica, especialmente grasas y aceites, además de sólidos suspendidos y valores de pH elevados inaceptables para su vertimiento. La Empresa de Productos Lácteos de Holguín es un constante foco de contaminación, pues no cuenta con un sistema de tratamiento que permita procesar los residuos generados de los procesos productivos, y la disminución de las cargas contaminantes hacia los cuerpos receptores. Por ello a partir de la caracterización de los residuos, se lleva a cabo la propuesta de un sistema compuesto por tratamientos primarios y biológicos a través de la digestión anaerobia. Como resultado y elemento principal, se realiza el diseño para la construcción de cuatro biodigestores de cúpula fija y de flujo continuo que fueran capaces de evacuar los residuos emanados diariamente y tratarlos. El cumplimiento de los objetivos y los resultados obtenidos en la investigación, fueron posibles debido al empleo de diferentes métodos de investigación científicas de carácter empírico, teórico y estadísticos – matemáticos.

ABSTRACT

The generation of wastewater in the food industries is one of the major sources of pollution to the environment, due to the high polluting loads they carry. Specifically the dairy industry characterized by having a large amount of organic matter, especially fats and oils, as well as suspended solids and high pH values unacceptable for their dumping. Dairy Products Company of Holguín is a constant source of contamination, since it does not have a treatment system that allows processing the waste generated from the production processes, and the reduction of contaminating loads towards the receiving bodies. Therefore, from the characterization of the residues, the proposal of a system composed of primary and biological treatments through anaerobic digestion was carried out. As a result and main element, the design was made for the construction of four continuous flow fixed dome reactor that were able to evacuate the residues emitted daily and treat them. The fulfillment of the objectives and the results obtained in the research were possible due to the use of different scientific methods of empirical, theoretical and statistical - mathematical research.

| | |
|---|----|
| ÍNDICE | |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO – I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS – CONCEPTUALES ASOCIADOS AL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS | 8 |
| I.1 Tratamientos de los residuos orgánicos en la industria láctea. Clasificación | |
| 8 | |
| I.1.1 Tratamientos primarios o pretratamientos | 9 |
| I.1.2 Tratamientos biológicos | 11 |
| I.1.2.1 Tratamiento aeróbico | 11 |
| I.1.2.2 Tratamiento anaeróbico | 14 |
| I.2 Biodigestores | 16 |
| I.2.1 Clasificación y tipos de biodigestores..... | 18 |
| I.2.2 Clasificación y caracterización de la Biomasa..... | 21 |
| I.2.3 Factores que afectan el proceso de fermentación | 24 |
| I.3 Experiencias y antecedentes en el empleo de biodigestores para las Empresas de Productos Lácteos | 26 |
| I.4 Aspectos para el diseño de Biodigestores | 30 |
| I.4.1 Componentes de los biodigestores | 31 |
| I.4.1.1 Datos principales para calcular y diseñar una planta de biogás..... | 32 |
| Conclusiones parciales..... | 35 |
| CAPÍTULO – II: DISEÑO DEL SISTEMA DE BIODIGESTORES PARA LA EMPRESA DE PRODUCTOS LÁCTEOS HOLGUÍN..... | 36 |
| II.1 Caracterización de la Empresa de Productos Lácteos | 36 |
| II.2 Caracterización de la biomasa en la industria láctea | 39 |
| II.3 Diseño de una planta de tratamiento y de un sistema de biodigestores para la Empresa de Productos Lácteos..... | 42 |

| | |
|---|----|
| II.3.1 Puesta en marcha de la planta..... | 53 |
| II.3.2 Mantenimiento..... | 54 |
| Conclusiones parciales | 55 |
| CONCLUSIONES GENERALES | 56 |
| RECOMENDACIONES..... | 57 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 1 |
| ANEXOS..... | 5 |

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos es un problema al cual la sociedad enfrenta a lo largo de su historia. Tanto la industrialización, como el aumento de la producción en el actual modelo de consumo, provocan que cada día se generen mayores volúmenes de desechos orgánicos. Este incremento de residuos sólidos y líquidos resultados de las distintas actividades desarrolladas por el hombre, origina que constantemente el medio ambiente se vea contaminado debido a un inadecuado tratamiento y disposición final. No obstante existen otras alternativas de gestión más recomendables y eficientes, como es la disminución de la producción de residuos, el reciclaje, la reutilización y la valoración material o energética.

Las estrategias de recuperación, reducción y reaprovechamiento se imponen, y en cuanto a los residuos orgánicos, empieza a generalizarse su explotación y su uso como un nuevo recurso energético diferente a las derivadas de los combustibles fósiles. Sin duda alguna, los restos de biomasa que no se aprovechan y los desechos que se utilizan como materia prima ofrecen un gran potencial. Como resultado de la considerable aceleración en el crecimiento poblacional y del desarrollo de las sociedades, se ve un alza en el consumo de la energía eléctrica, al formar esta, parte fundamental del propio desarrollo del hombre, lo cual conlleva a una sobreexplotación y al agotamiento de los recursos naturales. Por lo tanto con el propósito de mantener el medio ambiente en unas condiciones adecuadas para garantizar el desarrollo sostenible, se favorece en los últimos años la utilización y aprovechamiento de nuevas fuentes de energía renovables.

Existen diferentes tipos de esta energía: la solar, eólica, hidráulica, geotérmica y la biomasa. Estas tienen tres aplicaciones posibles: la generación de electricidad, el uso térmico y como combustible para el transporte. Entre ellas se suceden diferentes potencialidades y limitaciones, teniendo a la biomasa como la única apta para utilizarse en cada una de las aplicaciones, por lo que se empieza a considerar por las industrias como una variante, total o parcial tanto a nivel industrial como doméstico.

En este sentido la digestión anaeróbica de la biomasa, se presenta como una opción factible de realizar, no solo por los costos que requiere, sino también por el

saneamiento ambiental logrado y las ventajas que ofrece. Por lo tanto en el tratamiento de efluentes representa un excelente recurso para la sustitución de combustibles no renovables, a la vez que ofrece soluciones eficientes, que dan respuesta a la contaminación de las aguas residuales. Es por ello que se implementa como un nuevo sistema de eliminación de los desechos, que a su vez permite la utilización energética de los gases que se originan en este proceso, lo cual favorece el ahorro ante los excesivos precios de los combustibles y la energía eléctrica.

Este proceso de fermentación permite tratar la materia orgánica y obtener productos derivados, donde el biogás es el resultado fundamental. Se le considera como una de las principales fuentes renovables en el mundo.

Actualmente, el interés por la tecnología de la digestión anaeróbica va en ascenso ya que los métodos tradicionales para el saneamiento de efluentes, no logran una eficiencia óptima en la disminución de los índices de contaminación de las aguas servidas, a fin de que no sean agresivas a los cuerpos receptores. Este tipo de proceso tiene hoy una aplicación generalizada para el tratamiento de aguas residuales con un alto contenido de materia orgánica. En los países industrializados la historia es diferente y su desarrollo responde más bien a motivaciones medioambientales que puramente energéticas. Se constituye como un método clásico la estabilización de lodos activos de las plantas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias.

A nivel mundial, 2 millones de toneladas de aguas residuales, desechos industriales y agrícolas se vierten y más del 80% de esos residuales generado en los países en desarrollo se descargan sin tratamiento a cuerpos de agua superficiales. Con el objetivo de prevenir la contaminación se vienen implementando leyes y decretos para el control de los residuos en todo el mundo. Los países desarrollados usualmente invierten en infraestructura para la reducción y estabilización de los desechos orgánicos, cuentan con un control sobre su cantidad y calidad, así como de su disposición final y/o aprovechamiento. En Europa, a través de la Comisión para la Unión Europea en Bruselas, se fijan normas de vertimientos para toda Europa al

igual que en los Estados Unidos de América (EE.UU.), pero existen otros países en donde se aplican normativas más estrictas. Tanto en Europa como en EE.UU. las normas que se aplican son comunes debido a tratados suscritos en décadas anteriores, como el Acuerdo de Estocolmo (1972), sobre vertido de residuos/lodos al mar o la Cumbre de Río (1992), que trata de fijar objetivos de desarrollo sustentable. Además, para algunos países europeos, muchas normas derivan de aquellos más estrictos medio-ambientalmente como lo son Alemania, Dinamarca y Holanda. En otros países como los pertenecientes al Reino Unido existen normas desde principios de siglo, mientras en EE.UU., desde 1948 el Congreso norteamericano reacciona frente a la contaminación derivada de la industrialización, y crean leyes federales que se modifican en múltiples ocasiones, siendo cada vez más estrictas.

En Cuba se intentan diversas prácticas de tratamiento, como la de los biodigestores a escala industrial para la reutilización de los residuos pero esto se ve frenado por factores de diversa índole. Entre ellos, la carencia de recursos materiales, financieros y las dificultades para acceder a estas tecnologías más limpias. Además, el pobre énfasis en los sistemas regulatorios sobre las emisiones, la falta de un sistema de control de la contaminación a la salida del proceso, la inexistencia de normativas tecnológicas y ambientales actualizadas y la falta de conocimiento a todos los niveles de las organizaciones productivas atentan contra la realización de estos tipos de procesos. Por lo que, muchos de los desechos orgánicos no tienen un tratamiento apropiado. Los afluentes de la industria láctea son considerados como aguas residuales complejas, debido a su alto contenido orgánico de varios tipos de compuestos, tales como carbohidratos, proteínas y lípidos. La búsqueda de su mejor uso representa altos presupuestos, siendo depositados en rellenos sanitarios donde ocupan grandes espacios o entran al medio ambiente como un foco contaminante de aguas, suelos y atmósfera.

No obstante la introducción y desarrollo de fuentes renovables de energía es un aspecto importante de la política energética que se traza. Esto incentiva la búsqueda de soluciones y específicamente se presta mayor atención a las posibilidades que brinda la fermentación anaeróbica de los desechos orgánicos. Cuba es uno de los

primeros países en América Latina donde se introduce la tecnología del biogás. Su primera aplicación industrial es en 1940, cuando se construyen dos biodigestores para procesar los residuales de una fábrica de cervezas en La Habana. En la década de los años 70, es donde se considera como uno de los mejores medios para enfrentar la escasez de combustible debido a la crisis de esos años. Su uso crece de forma acelerada a partir de 1980 con la construcción de biodigestores de las tecnologías de campana flotante y de cúpula fija, para la cocción de alimentos y el consecuente ahorro de combustibles. En los años 1990 surge el Movimiento Nacional de Biogás y el uso de los biodigestores alcanza una mayor presencia fundamentalmente en las zonas rurales.

Específicamente en Holguín, esta tecnología se usa principalmente en zonas rurales en los llamados biodigestores familiares para procesar las excretas de origen animal, fundamentalmente en las granjas ganaderas y en los porcinos. Las empresas productoras de alimentos son grandes generadoras de residuos orgánicos que son contenedores de altas cargas contaminantes.

Esto origina que constantemente el medio ambiente se afecta por el inadecuado tratamiento y disposición final de dichos desechos. Como solución se urge en la necesidad de la búsqueda de soluciones viables y factibles, que puedan solventar estas insuficiencias en el sector industrial y que den respuesta a la contaminación de las aguas residuales. Además de fomentar y de aportarle a la sociedad nuevas alternativas que permitan estrategias de recuperación, reducción y reciclaje en cuanto a los residuos orgánicos y a su aprovechamiento energético.

En la Empresa de Productos Lácteos, no existe en explotación un sistema de tratamiento que permita procesar y aprovechar los residuales generados diariamente en la producción así como los residuos sólidos o subproductos que son inadecuadamente aprovechados o no reciclados. La empresa vierte los residuos en los suelos con un deficiente tratamiento, o falta total del mismo, por lo que estos, son causa de focos de contaminación debido a su carga contaminante, lo cual afecta la conservación del medio ambiente natural y la salud de los trabajadores. Solo cuenta con un pretratamiento de los residuales líquidos que está concebido con 2 trampas

de grasa y un sistema de rejas para eliminar los residuos sólidos que se limpian. Los residuos son descargados al CP5 y luego a la Cuenca del Cauto.

De esta manera se revela la contradicción fundamental existente entre la contaminación que genera los residuos de la empresa y la falta de un sistema de tratamiento que procese esos residuales.

Siendo así el problema científico: La falta de un sistema para el tratamiento de los residuales que se generan en la Empresa de Productos Lácteos, que permita la disminución de la carga contaminante.

El objeto de estudio de la investigación se define como el tratamiento de residuos orgánicos, y el campo de investigación el diseño de biodigestores para el tratamiento de residuos orgánicos en la Empresa de Productos Lácteos.

Por tanto, se define como objetivo general: Diseñar un sistema de biodigestores a partir de las características de los residuos generados en la Empresa de Productos Lácteos para su tratamiento. Para lo cual se establecen los siguientes objetivos específicos:

- 1- Sistematizar los fundamentos técnicos - metodológicos que sustentan el empleo de biodigestores para el tratamiento de los residuales.
- 2- Determinar el estado actual de los sistemas de tratamiento de residuales en las Empresas de Productos Lácteos.
- 3- Diseñar un sistema de biodigestores para el tratamiento de los residuales en la Empresa de Productos Lácteos.

Para dar solución al problema expuesto se formula la hipótesis de investigación siguiente: Si se diseña un sistema de biodigestores capaz de procesar adecuadamente los residuos orgánicos generados en la elaboración de los diferentes productos a partir de su caracterización en la Empresa de Productos Lácteos, se podrá contar con una herramienta que permita la toma de decisiones en la reducción de la carga contaminante de los residuales.

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados se empleó un sistema de métodos de la investigación científica. Los métodos teóricos que se utilizaron en la investigación son:

- Análisis históricos – lógicos: Se efectuó una amplia revisión bibliográfica con la finalidad de tomar conocimiento de los sistemas tradicionales y de las nuevas tecnologías aplicables al tratamiento de los residuales orgánicos. Se realiza el análisis del estado del arte en referencia a tecnologías para el tratamiento de los residuos orgánicos.
- Análisis – Síntesis: Se realiza el estudio de los diferentes parámetros y factores que intervienen en los procesos anaeróbicos que se producen en los biodigestores. Se indaga en los fundamentos técnicos - metodológicos que sustentan el empleo de biodigestores para el tratamiento de los residuales.
- Análisis hipotético – deductivo: Fue necesario para concebir la lógica del proceso investigativo partiendo desde la teoría general para transformar la práctica.
 - Los métodos empíricos utilizados son:
 - Documental: Se realiza la búsqueda de documentación para la obtención de las diferentes metodologías en la proyección y diseño de los biodigestores.
 - Consulta a expertos: El diseño de los biodigestores se pondrá a disposición de especialistas para el análisis de la factibilidad y el funcionamiento de este sistema.
 - Encuestas y entrevistas: Para la recopilación de datos en la caracterización del objeto de estudio se realizaron visitas a trabajadores para la presentación de la propuesta.
 - Observación científica: Reconocimiento visual en las visitas a la empresa y al terreno de estudio donde se llevará a cabo la implementación de los biodigestores. En los cuales se recopiló información sobre la situación de los residuales y su tratamiento.
 - Estadísticos - Matemáticos:

- Estadísticos – Descriptivo: Confección de tablas para la caracterización del objeto de estudio y la realización de cálculos donde queda expuesto el diseño de la propuesta realizada.

La novedad científica es el diseño de un sistema de biodigestores que se propone para el tratamiento de los residuos orgánicos que se generan en la Empresa de Productos Lácteos, considerando las características de los residuos y de la empresa.

Como aporte científico se propone el diseño de un sistema de biodigestores para el tratamiento de los residuos orgánicos que se generan en la Empresa de Productos Lácteos.

La actualidad del tema constituye uno de los resultados del proyecto internacional de colaboración entre la Universidad de Ciencias Aplicadas de Magdeburgo-Stendal, Alemania y el Departamento de Construcciones, y tributa a una de las líneas de investigación sobre "Fuentes de energías alternativas y renovables", específicamente en el uso de Biodigestores para la obtención del biogás.

El informe de investigación se estructura en dos capítulos. En el capítulo I se muestran los resultados de los fundamentos históricos, teóricos - conceptuales que sustentan el empleo de biodigestores para el tratamiento de los residuales orgánicos y la obtención de biogás. Además del estado actual de los sistemas de tratamiento usados en las Empresas de Productos Lácteos. En el capítulo II se propone el diseño de un sistema de biodigestores y de otros componentes que conforman una planta de tratamiento para los residuos en la Empresa de Productos Lácteos, según la caracterización de los mismos, y los resultados de su validación en la práctica social se hacen a través de talleres de socialización, talleres científicos-metodológicos, y consultas a especialistas.

CAPÍTULO – I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS – CONCEPTUALES ASOCIADOS AL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS

Introducción al capítulo

En este capítulo se realiza el análisis de una serie de conceptos y definiciones a través de los métodos históricos, teóricos – metodológicos y empíricos en el proceso de los residuos que transportan materias orgánicas. Se describen los diferentes tipos de tratamientos existentes a nivel mundial y nacional que se emplean para la reducción de las cargas contaminantes. Finalmente se presentan los pasos para el diseño de un biodigestor y se aborda sobre los parámetros y detalles fundamentales en el proceso de la digestión anaeróbica para su funcionamiento.

I.1 Tratamientos de los residuos orgánicos en la industria láctea. Clasificación

El problema ambiental más importante de la industria láctea es la generación de aguas residuales, tanto por su volumen como por la carga contaminante asociada, fundamentalmente de carácter orgánico. La mayor parte del agua consumida en el proceso productivo se convierte finalmente en agua residual (Sgarlatta, Tarditti, 2015). El volumen de los efluentes y su contenido de contaminación son muy variables, según sea la naturaleza de la fabricación, las técnicas de trabajo y de cómo se realicen las operaciones de limpieza. Por otra parte la generación de residuos sólidos es muy pequeña, y se circunscribe generalmente a los desechos de envases y embalajes, tales como vidrio, cartón, plástico y envases especiales.

Después de la implementación de medidas tendientes a prevenir la generación de residuos, los residuales generados deben someterse a tratamiento, para así ser dispuestos con el mínimo impacto ambiental (Comisión Nacional del Medio Ambiente Región Metropolitana, 1998.). Las tecnologías existentes para el procesamiento de este tipo de residuos son muy amplias, por lo que es difícil precisar una estándar. No obstante, de forma general alrededor del mundo existen algunas que son habitualmente empleadas al igual que en nuestro país; las cuales se dividen en tratamientos primarios o pretratamiento y en secundarios o biológicos.

I.1.1 Tratamientos primarios o pretratamientos

El pretratamiento puede ser del tipo físico o físico-químico, en dependencia de las concentraciones que presenten aquellos contaminantes inhibidores del proceso biológico. Los procesos físicos involucran operaciones gravitacionales, manuales o mecánicas, que permiten remover básicamente sólidos de distinta granulometría y densidad del efluente. La etapa de tratamiento químico implica la separación de la materia suspendida del efluente.

Entre los sólidos suspendidos se incluye a las proteínas, las cuales se coagulan bajo condiciones de balance químico y pH específicas (Comisión Nacional del Medio Ambiente Región Metropolitana, 1998). Por lo que la primera etapa de un sistema de tratamiento de residuos líquidos incluye normalmente, la separación de sólidos y material no disuelto, neutralización de pH, regulación de caudal y estabilización térmica. La variedad de sistemas y tecnologías disponibles comercialmente es muy amplia generalmente.

- Tratamientos físicos
 - Tamizado mediante filtros: elimina los sólidos gruesos antes de la entrada a la planta depuradora. Se emplean tamices estáticos o rotatorios que sean autolimpiables (Vega, 1997). Los tamices se caracterizan por disponer de aberturas libres inferiores a los 15 mm (Metcalf y Eddy, 1995).
 - Tanques de sedimentación: Se suelen emplear para aquellas industrias lácteas que generen una gran cantidad de sólidos en suspensión. Se lleva a cabo una sedimentación en reposo con recogida de la materia flotante y grasa así como la eliminación del lecho de fango sedimentado. Se realiza en decantadores con una geometría variada incluyéndose: circulares (los más frecuentes), rectangulares, cuadrados (Kiely, 1999).
 - Ecuación de flujo: El estanque de ecuación tiene por objeto proporcionar tanto un caudal como características físico-químicas de los residuos a tratar, lo más homogéneas posible (Chile, Conama, 1998). Zaror (2000), señala que el flujo y composición de los residuos líquidos presenta enormes variaciones durante la

operación rutinaria de la planta, reflejando diferentes operaciones que tienen lugar durante el proceso. Lo cual puede presentar serios problemas, particularmente para las operaciones de tratamiento secundario, que se caracterizan por ser procesos muy lentos, cuya eficiencia es muy sensible a las variaciones de flujo y concentración

- Desengrasado: este proceso es también muy importante en la industria láctea, la cual genera gran cantidad de grasas difíciles de desenmulsionar. Consiste en la separación de los aceites, grasas y sustancias menos densas que el agua. Se realiza por flotación de dichas materias por medio de aire disuelto (DAF). Consiste en la inyección de aire a presión lo cual produce microburbujas sobre las cuales se adhiere el material graso, formándose partículas grasa-microburbujas menos densas, las cuales ascienden a la superficie. La grasa formada en la superficie se retira a una canaleta y a un contenedor para llevarla al vertedero (Vega, 1997).
 - Tratamientos químicos
 - Ajuste de pH

Se aplica cuando el afluente tiene un pH fuera de los límites aceptables. Normalmente, se utilizan ácidos o bases (soda cáustica) para llevarlo a un rango cercano a 7. La influencia del pH dentro de una planta de tratamiento es tanto química como biológica. Su control es necesario para asegurar que las aguas residuales no dañen las estructuras, equipos o cañerías. De igual forma es necesaria la neutralización de los residuos ya que la mayoría de los procesos biológicos operan en un rango neutro (Casas, 2009).

- Flotación

La tendencia natural de los sólidos en el efluente lácteo es a flotar y no a sedimentar; por esta razón, se utilizan unidades de flotación para efectuar la separación física de los flóculos. En el proceso de flotación se incorporan microburbujas de aire al efluente en la entrada a la unidad. Estas se adsorben a los flóculos bajando su densidad y provocando la flotación natural. (Chile, Conama, 1998).

Para efectuar la flotación se pueden utilizar dos tecnologías, CAF (Cavitation Air Flotation) o DAF (Dissolved Air Flotation). Existen dos tecnologías adicionales, IAF (Induced Air Flotation) y Electroflotación. Estas dos últimas no son recomendadas en la industria láctea pues la primera involucra mayores costos de operación, y la segunda no es viable por la baja conductividad del efluente. (Casas 2009)

- Floculación y coagulación

La coagulación y floculación son dos procesos dentro de la etapa de clarificación del agua. Ambos procesos se pueden resumir como una fase en la cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamadas flocos, tal que su peso específico supere a la del agua y puedan precipitar. La floculación, provoca que las partículas hagan contacto entre sí, para que mediante el crecimiento de las partículas coaguladas se forme un flocos suficientemente grande y pesado como para sedimentar. La coagulación se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas. (Altaner, 2009)

I.1.2 Tratamientos biológicos

Para reducir la carga contaminante que transportan los residuales a los valores legalmente admisibles no basta con los pretratamientos, por lo que es necesario recurrir a los tratamientos biológicos. El tratamiento secundario o biológico se basa en la acción de microorganismos que degradan las sustancias contaminantes, estos procesos son variados, pueden ser de características aeróbicas, anaeróbicas o combinados (Casas 2009).

I.1.2.1 Tratamiento aeróbico

La digestión aeróbica consiste en procesos realizados por diversos grupos de microorganismos a través de la oxidación y la autooxidación de los residuos biodegradables. Principalmente son bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno, actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular. Al comienzo, el proceso de digestión aeróbica tuvo

escasa aceptación, debido al desconocimiento de sus principios fundamentales, además del encarecimiento de los costos del tratamiento por la cantidad adicional de energía necesaria para el suministro de aire al proceso (Varnero, 2011).

La digestión aerobia presenta diversas ventajas como la facilidad de operación del sistema, no genera olores molestos, reduce la cantidad de coliformes fecales y por lo tanto de organismos patógenos. Sus inconvenientes más importantes es la generación de una gran cantidad de lodos y un importante gasto energético para proporcionar el oxígeno necesario en la fermentación (Varnero, 2011).

Existen un conjunto de sistemas de tratamientos aeróbicos que son las más empleados y utilizados en el tratamiento de los residuos orgánicos acumulados y las lagunas de acabado o maduración.

- Zanjas de oxidación

Lothar (1980) plantea que hay autores que consideran la zanja de oxidación como similar a una laguna aireada, principalmente cuando la instalación incluye alguna forma de sedimentador. Es necesario considerar, sin embargo, que determinadas formas de zanjas presentan la posibilidad de eliminar nitrógeno por anoxia, debido al flujo orbital, mientras en las lagunas aireadas esto no es posible porque constituyen sistemas de mezcla completa, por lo menos las de tipo aerobio. Son empleadas para el tratamiento de efluentes de granjas porcinas, granjas avícolas y productos lácteos.

- Lagunas de oxidación

Este tratamiento consiste en unas balsas o lagunas de grandes dimensiones, donde se tiene un tiempo de residencia suficiente para disminuir el contenido orgánico de las aguas. En el primer metro de profundidad, la renovación de oxígeno atmosférico hace que sea la reacción aerobia la que se lleve a cabo, ya que las bacterias que se desarrollan son aerobias. En los metros más profundos es una degradación anaerobia. Así se distinguen los distintos tipos: lagunas aerobias para las que tienen aproximadamente un metro de profundidad, y las lagunas facultativas, que combinan

la reacción aerobia en la superficie con la anaerobia en las partes más profundas (Metcalf y Eddy, 1995).

- Lodos activados

Proceso desarrollado hacia 1914 por Arden y Lockett, en donde cualquier agua residual sometida a aireación durante un período de tiempo, reduce su contenido de materia orgánica, formándose a la vez un lodo floculento, el cual contiene una masa de microorganismos vivos o activados, que son capaces de degradar la materia orgánica contaminante por vía aeróbica. El proceso se desarrolla en un reactor, donde se mantienen suspendidos gracias a la aireación forzada, los microorganismos y las aguas residuales. Aquí las bacterias utilizan la materia orgánica en suspensión para obtener energía y generar nuevas células bacterianas, gases como el dióxido de carbono y amoníaco, además de la formación de agua (Altaner, 2009).

- Sistema de Reactores Discontinuos Secuenciales o SBR, del inglés Sequencing Batch Reactors

Igual se utilizan los lodos activados. La diferencia está en que se sigue una secuencia de ciclos de llenar y vaciar los tanques, en cinco etapas. En la primera se adiciona substrato a los tanques, luego viene la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica. Al finalizar esta degradación se produce la sedimentación y posteriormente se procede a vaciar el efluente clarificado desde el reactor. Por último corresponde a la fase inactiva, donde se evacua la totalidad del efluente restante además de todos los lodos y se comienza a llenar nuevamente con substrato el reactor (Metcalf y Eddy, 1995).

- Biodiscos:

Son una serie de discos circulares de poliestireno o cloruro de polivinilo, situados en un eje, a corta distancia unos de otros. Estos discos se sumergen en el agua residual y giran lentamente en ella, poniendo en contacto a los microorganismos adheridos a la superficie de los discos con la atmósfera, desde la cual adsorben oxígeno,

transfiriéndola a la biomasa, que se mantiene en condiciones aeróbicas. Al girar los biodiscos se elimina el exceso de sólidos en ellos y, los sólidos suspendidos son arrastrados desde el reactor a un clarificador posterior (Metcalf y Eddy, 1995).

- Lombrifiltro

En la industria láctea uno de los métodos utilizados en esta fase o tratamiento secundario, está basado en el sistema denominado Biofiltro Dinámico Aeróbico, o Lombrifiltro. Consiste básicamente en un sistema conformado por un lecho con capaz de diferentes estratos filtrantes, encontrándose en el estrato superior una alta densidad de lombrices y microorganismos. El principio de este sistema se basa en que las lombrices consumen la materia orgánica de los afluentes residuales transformándola, por oxidación, en anhídrido carbónico y agua. Una parte, aproximadamente un tercio, pasa a constituir masa corporal y la otra da origen a humus que pueda utilizarse para mejorar los terrenos; es decir, no se generan lodos (Altaner, 2009).

I.1.2.2 Tratamiento anaeróbico

La digestión anaerobia es un proceso biológico complejo, a través del cual, en ausencia de oxígeno y como resultado de la degradación, la biomasa residual es transformada en biogás (Bolívar Ramírez, 2012). Esta fermentación de la materia orgánica se lleva a cabo mediante la acción de un grupo de microorganismos que involucra varios procesos bacterianos y enzimáticos que simultáneamente se generan dentro del biodigestor. Montes (2008) plantea que está caracterizada por la existencia de varias fases diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato, donde intervienen diversas poblaciones de bacterias. Las etapas que la conforman son:

Hidrólisis

Etapas fermentativa o acidogénica

Etapas acetogénica

Etapas metanogénica

- Etapa hidrolítica

Varnero (2011) plantea que la materia orgánica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles. Por tanto, este es el primer paso necesario para la degradación anaerobia de los componentes orgánicos complejos, como los lípidos, proteínas e hidratos de carbono. Según Montes (2008) los compuestos orgánicos complejos, como los lípidos, proteínas e hidratos de carbono, son despolimerizados, por acción de enzimas hidrolíticas, en moléculas solubles y fácilmente degradables, como azúcares, ácidos grasos de cadena larga, aminoácidos, alcoholes. Se trata de un proceso enzimático extracelular, y las bacterias responsables de su generación son las bacterias hidrolítico-acidogénicas.

- Etapa acidogénica

En la etapa acidogénica o fermentativa, las moléculas orgánicas solubles son fermentadas, forman compuestos que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en el siguiente proceso. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias radica también en que eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema (Casas, 2009). Los compuestos solubles obtenidos en la etapa anterior, se transforman en ácidos grasos de cadenas cortas o volátiles. La función de estos microorganismos en el proceso de la digestión anaerobia es ser donantes de CO₂, acetato para las bacterias metanogénicas y de aportar aproximadamente el 54% del hidrógeno que se utilizará en la formación del metano (Corona, 2007).

- Etapa acetogénica

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H₂ y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) se transforman en productos más sencillos, como acetato e hidrógeno (H₂), a través de las bacterias acetogénicas. A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias anaeróbicas extraen todo el

alimento de la biomasa y, como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente (Varnero, 2011).

- Etapa metanogénica

Constituye la etapa final del proceso, en el que compuestos como el ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono se transforman para obtener productos finales del proceso metabólico como gas metano (CH_4), CO_2 , y trazas de H_2O , NH_3 . En esta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas estrictas, actúan sobre los productos resultantes de las anteriores. Los microorganismos metanogénicos se consideran los más importantes, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores. Se distinguen dos tipos principales, los que degradan el ácido acético (bacterias metanogénicas acetoclásicas) y los que consumen hidrógeno (metanogénicas hidrogenófilas). La principal vía de formación del metano es la primera, con alrededor del 70% del metano producido, de forma general. Estas son las más importantes ya que son las que transforman los ácidos propanoico y acético. Carmona (2008)

I.2 Biodigestores

El biodigestor es la estructura física o reactor que actúa como un contenedor cerrado, hermético e impermeable, que favorece en un proceso natural anaeróbico, la estabilización de la materia orgánica contenida en los residuos y la generación del biogás mediante la fermentación (Silva, 2002). Según Varnero (2011) corresponde al dispositivo principal donde ocurre el proceso bioquímico, puede tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular, aunque la mayor parte de los tanques que se construyen en la actualidad son cilíndricos. El suelo del reactor está inclinado, para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del afluente puedan ser extraídos del tanque.

Los digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido (Varnero, 2011). La alimentación y homogenización de los sustratos de entrada varía según las características propias de los mismos.

El biogás es un combustible gaseoso que puede usarse con facilidad como combustible para motores, en la cocción de alimentos, alumbrado y la generación de energía eléctrica y térmica. (Silva, 2002). La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso.

Tabla 1.1 Composición química del biogás

| Componentes | Formula Química | % Volumen |
|---------------------|------------------------|------------------|
| Metano | CH ₄ | 60-70 |
| Dióxido de Carbono | CO ₂ | 30-40 |
| Hidrógeno | H ₂ | 1,0 |
| Nitrógeno | N ₂ | 0,5 |
| Monóxido de carbono | CO | 0,1 |
| Oxígeno | O ₂ | 0,1 |
| Ácido Sulfhídrico | H ₂ S | 0,1 |

Fuente: Silva 2002

Silva (2002) plantea que las principales razones que pueden llevar a la implementación de la tecnología de biodigestores son:

- Obtener una fuente de energía económica que permita disminuir costos asociados al consumo de la energía eléctrica.
- Reducción de olores.
- Fertilizante de alta calidad.
- Reducción de la contaminación.

I.2.1 Clasificación y tipos de biodigestores

Varnero (2011) declara que los biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Los más sencillos caen dentro de la clasificación de digestores discontinuos o de cargas por lotes y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación. En general estos se clasifican según su diseño y su modo de operación con relación a su alimentación o proceso de carga.

- Clasificación según el diseño
 - Planta balón

Este tipo de digestor es el más sencillo (Anexo 1). Tiene en la parte superior un digestor de bolsa en el cual se almacena el gas, la entrada y la salida se encuentran en la misma superficie de la bolsa. Su ventaja es que son de bajo costo, fácil transportación, poca sofisticación de construcción, altas temperaturas de digestión, fácil limpieza, mantenimiento y vaciado. Tienen una vida útil muy corta entre 2 a 5 años, alta susceptibilidad a ser dañado y están muy expuestos a roturas sin posibilidad de reparación local (Corona 2007). (Anexo 1)

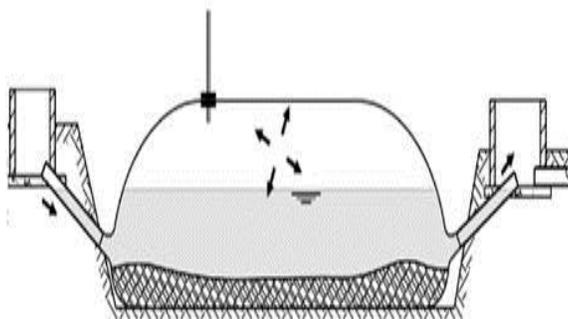


Figura 1. Biodigestor balón

Fuente:<http://4.bp.blogspot.com/IAPvIXIObDU/Tj07W2pS3KI/AAAAAAAAAHs/ziSnbRQxjKk/s1600/biodigestor+para+tapa.jpg>

– Planta con cúpula fija

Las plantas con cúpula fija (tipo chino) se componen de un digestor cerrado con una cámara de gas inmóvil y fija. El gas se almacena en la parte superior del digestor, durante su producción, el cieno de fermentación se desplaza hacia el tanque de compensación. La presión del gas aumenta según la cantidad almacenada en la cúpula y la altura del sustrato (Ludwig, 1984). Estos biodigestores poseen menor eficiencia que los de tipo hindú (flotante), pero son buenos productores de abono, ya que la materia a degradar está mayor tiempo dentro del digestor.

Este digestor por estar enterrado favorece el proceso fermentativo, con poca influencia por los cambios de temperatura, la desventaja que presenta es que la presión de gas es variable dependiente del volumen adecuado (Guevara, 1996). (Anexo 3)

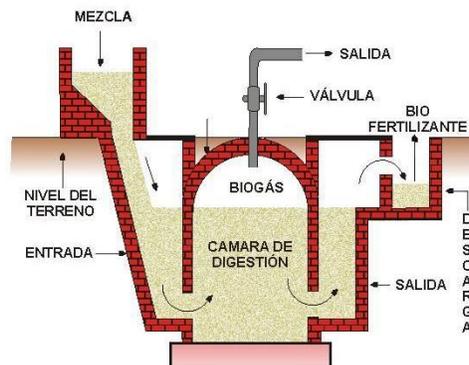


Figura 2. Cúpula fija

Fuente: <https://s-mediacacheak0.piniimg.com/736x/1a/f0/75/1af075c384a9c06f765dc7e0a02ca280.jpg>

– Planta con campana flotante

La planta con campana flotante consiste en un digestor subterráneo y una parte móvil superior que sirve de almacén de gas. La cúpula de gas flota directamente sobre el sustrato en digestión o en una película acuosa. El gas se almacena en la cúpula, desplazándola hacia arriba cuando se acumula y hacia abajo cuando el biogás se consume, por lo que el nivel dependerá del gas almacenado (Corona,

2007). Tienen una presión de gas constante, determinada por el peso de la cúpula y su construcción es relativamente sencilla. Por otra parte son de un elevado coste a causa de la cúpula de acero, y la susceptibilidad a la corrosión, que conlleva un mantenimiento intensivo (Corona, 2007). (Anexo 2)

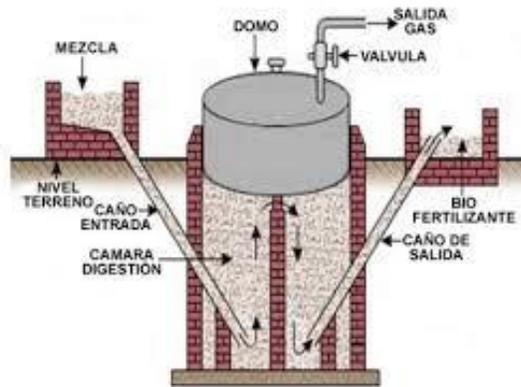


Figura 3. Cúpula flotante

Fuente: <http://www.rmr-peru.com/biodigestor%20hindu.JPG>

- Clasificación según el proceso de carga
 - Plantas Batch (Discontinuo)

Los digestores se cargan con las materias primas en una sola carga o lote. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se vacían los digestores por completo y se alimentan de nuevo dando inicio a un nuevo proceso de fermentación. Esto se conoce también como digestores Batch o Batelada (Varnero, 2011).

- Plantas continuas

Las plantas continuas son cargadas y descargadas de forma periódica, por lo general diariamente en un proceso ininterrumpido. El efluente que descarga es igual al afluente o material de carga con producciones de biogás uniformes en el tiempo. En general las plantas de flujo continuos se utilizan principalmente para el tratamiento de aguas negras. Corresponden a plantas de gran capacidad, tipo industrial, en las

cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación, así como para su control (Varnero, 2011).

- Plantas semi-Batch (o semicontinuas)

Se realiza en el biodigestor una primera carga de residuos orgánicos, posteriormente, se agregan volúmenes de nuevas cargas de materias primas (afluente), calculados en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) y del volumen total del digestor. Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó. Este proceso es usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el digestor hindú y chino. (Varnero, 2011)

I.2.2 Clasificación y caracterización de la Biomasa

Se utilizan todos aquellos materiales que provienen de una fuente orgánica como restos de alimentos, desechos de origen animal, residuos de cosechas, agroindustriales (Huerga, Butti, Venturelli, 2014). Sin embargo, la viabilidad del tratamiento de cada tipo de desecho depende de una serie de factores relacionados con su composición, principalmente el contenido en sólidos volátiles y su contenido en nutrientes, dado que se trata de un proceso microbiológico.

La Agencia Andaluza de la Energía (2011) señala que los residuos orgánicos que pueden ser usados cubren un amplio rango de materiales y fuentes de procedencia.

Tabla 1.2 Residuos utilizados en los biodigestores

| | |
|---------------------------------|---|
| Residuos ganaderos y de granjas | Purines de cerdo y vaca, estiércoles, gallinaza |
| Residuos industria alimentaria | Industria pesquera, cárnicos, láctea, azucarera, conserva |
| Residuos agrícola y forestales | Residuos de semillas, malezas, restos de cosechas (café, caña, arroz). Hojas, ramas, cortezas y forrajes en mal estado. |
| Cultivos energéticos | Residuos terrestres (silvicultura y |

| | |
|---|---|
| | agricultura), Acuáticos (algas marinas, jacintos y malezas acuáticas) |
| Estaciones Depuradoras de Aguas residuales (EDAR) | Lodos residuales |
| Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU) | Aguas negras, basura |

Fuente: Varnero 2011

- Residuos ganaderos y de granjas

La Agencia Andaluza de la Energía (2011) declara que en general, su potencial no es demasiado alto para la producción del biogás, debido a su alto contenido en nitrógeno y a su excesiva liquidez para el proceso. No obstante, por causa de su poder contaminante de suelos y por la abundancia de recurso, sumado a la ausencia de tratamientos eficientes de valorización, los residuos ganaderos constituyen el combustible por excelencia para la generación de biogás mediante digestión anaerobia.

- Residuos de la industria alimentaria

El procesado de las materias primas animales y vegetales para la elaboración de productos alimenticios, ocasiona abundantes desechos sólidos así como aguas residuales susceptibles de ser aprovechados para la producción de biogás. Las industrias lácteas, cerveceras, conserveras, azucareras y similares producen unos residuos con alta carga de materia orgánica, muy adecuados para el aprovechamiento energético (Agencia Andaluza de la Energía 2011).

- Residuos agrícolas y forestales

Los restos forestales y agrícolas procedentes de cultivos de consumo o de generación de materias primas para la industria alimentaria constituyen un sustrato apropiado, en general, para la digestión anaerobia. No obstante, la tipología del

material usado, en función de la carga orgánica que posea, genera una gran variabilidad en el potencial de biogás existente en el residuo (Agencia Andaluza de la Energía 2011).

- Cultivos energéticos

Los cultivos energéticos corresponden a aquellos que se realizan con el fin exclusivo de obtener materiales destinados a su aprovechamiento energético. Dichos cultivos son susceptibles de ser utilizados para la producción de metano, tras ser sometidos a un proceso previo de trituración mediante medios mecánicos que aumentarán su producción de biogás (Agencia Andaluza de la Energía 2011).

- EDAR

Los lodos residuales o fangos de depuración constituyen el residuo semisólido resultante del proceso de saneamiento de las aguas residuales urbanas, por el cual se eliminan la mayor parte de los contaminantes disueltos y en suspensión contenidos en dichas aguas. Estos lodos, ricos en nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, están constituidos, en algunos casos, por más del 60% de materia orgánica muy apropiado para la digestión anaeróbica.

- FORSU: materia orgánica depositada en los vertederos

Constituyen una fuente de sustratos para la biometanización, suponiendo esta operación una fuente de valorización y reducción de los mismos. Hay una gran variabilidad en el potencial de producción de biogás por parte de estos residuos, en función de las operaciones de separación previas que se hayan realizado (Agencia Andaluza de la Energía 2011).

En la degradación anaeróbica no solo se utiliza un determinado tipo de materia, esta también se puede producir combinando varias de ellas a través de la codigestión. La Agencia Andaluza de la Energía (2011) expone que la codigestión consiste en emplear una mezcla de diferentes tipos de residuos, de forma que se optimice la

producción de biogás a obtener por la planta. La principal ventaja radica en el aprovechamiento de la sinergia de las mezclas, compensando las carencias de cada uno de los sustratos por separado. Además de incrementar el potencial de producción de biogás, la adición de co-sustratos fácilmente biodegradables confiere una estabilidad adicional al sistema.

I.2.3 Factores que afectan el proceso de fermentación

En el proceso de biodegradación de la materia orgánica, es necesario que se mantengan algunas condiciones de funcionamiento del sistema, estas se relacionan directamente con parámetros físico-químicos. Dentro de los parámetros que influyen y pueden afectar el proceso se encuentran fundamentalmente el pH, la temperatura, agitación-mezcla, nutrientes, la relación C/N y el contenido de agua en la mezcla (Bolívar, Ramírez, 2012).

Tabla 1.3 Rangos óptimos de los parámetros

| Parámetros | Rango Óptimos |
|-------------------------|---------------|
| Temperatura | 30 – 35 |
| PH | 6,8 – 7,5 |
| Relación C/N | 20 – 30 |
| Tiempo de Retención | 10 – 25 |
| Relación agua – sólidos | 6 – 10 |

Fuente: Silva 2002

- pH y alcalinidad

Según Silva (2002) durante el proceso de digestión, se producen ácidos orgánicos, que si no se controlan, pueden tornar ácida la mezcla, lo que puede inhibir los procesos bacterianos y enzimáticos. El pH en la mezcla debe mantenerse dentro del rango neutral ligeramente alcalino de 6,8 a 7,5 debido a que las bacterias se desarrollan favorablemente en estos entornos.

Cuando el pH aumenta favorece la formación de amoníaco inhibiendo el crecimiento microbiano y a valores bajos inhibe el mecanismo de degradación. La regulación del pH se logra agregando regularmente a la mezcla materiales alcalinos preferentemente el bicarbonato de sodio debido a su alta solubilidad y baja toxicidad (Varnero, 2011).

- Temperatura

La temperatura de operación del digestor, se considera uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia en la velocidad de digestión. A medida que se incrementa la temperatura aumenta la velocidad en el desarrollo de las bacterias y se acelera el proceso de fermentación, dando lugar a mayores producciones de biogás (Varnero 2011). La gama de temperatura para el proceso de digestión varía aunque el intervalo óptimo es el de 30-35°C.

Tabla 1.4 Rangos de temperaturas

| Fermentación | Mínimo | Óptimo | Máximo | Tiempo de retención |
|---------------|----------|----------|----------|---------------------|
| Psycrophilica | 4-10 °C | 15-18 °C | 20-25 °C | Sobre 100 días |
| Mesophilica | 15-20 °C | 25-35 °C | 35-45 °C | 30-60 días |
| Thermophilica | 25-45 °C | 50-60 °C | 75-80 °C | 10-15 días |

Fuente: Varnero 2011

- Relación carbono/nitrógeno

El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno forma las nuevas cadenas de las bacterias metanogénicas. Estos microorganismos tienen una tasa de consumo de 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1 (Bolívar, Ramírez, 2012). Varnero (2011) manifiesta que con un alto contenido de carbono 35:1 la descomposición de materiales orgánicos ocurre más lentamente. En cambio, con una relación C/N menor de 8:1 se inhibe la actividad bacteriana debido a la

formación de un excesivo contenido de amonio, el cual en grandes cantidades es tóxico e inhibe el proceso.

- Nutrientes

Al igual que en todas las operaciones bioquímicas, se requieren macronutrientes (nitrógeno y fósforo) y micronutrientes (minerales traza) en el proceso anaeróbico para la síntesis de nueva biomasa. Además del nitrógeno y el fósforo, se han identificado otros tipos de componentes trazas esenciales para los microorganismos anaeróbicos en pequeñas cantidades. (Varnero, 2011).

- Agitación – Mezclado

Al desarrollarse el proceso y llegar a la fermentación, es fundamental que el contenido del digestor sea mezclado completamente de una forma más o menos continua. Un contenido insuficiente de agua ocasiona que las bacterias y otros microorganismos no obtengan el entorno apropiado para que puedan funcionar efectivamente y la cantidad de biogás producido será pequeña. Si es demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción de biogás es limitada (Silva, 2002).

- Tiempo de retención

Cabe indicar que este parámetro sólo puede ser claramente definido en los sistemas discontinuos (batch), donde el tiempo de retención coincide con el tiempo de permanencia del substrato. En los digestores continuos y semicontinuos, la variable tiempo definida en el reactor discontinuo se reemplaza por el tiempo de residencia (BESEL, S.A. Departamento de Energía, 2007).

I.3 Experiencias y antecedentes en el empleo de biodigestores para las Empresas de Productos Lácteos

Dentro de los tratamientos biológicos, el más recomendable para el tamaño de plantas que se operan, es el tratamiento anaerobio. La digestión anaerobia se emplea durante muchos años en el tratamiento de efluentes industriales con altas

concentraciones de materia orgánica. Sobre todo mediante el uso de reactores convencionales en los que se requieren largos tiempos de retención hidráulica. Sin embargo, con el descubrimiento de nuevos aspectos del proceso, se definen tecnologías que consideran la retención de la biomasa activa en los reactores. Esto permite disminuir los tiempos de retención hidráulica de los efluentes a tratar y ampliar el alcance de aplicación de esta biotecnología para el tratamiento de residuales. (González, Valdés, Nieves y Guerrero, 1994).

Al comenzar a utilizar este tipo de sistemas para tratar los efluentes de la industria láctea surgen algunos problemas debido a la formación de capas de grasa en la superficie del reactor. En un estudio llevado a cabo por Méndez (2006), se demuestra que el uso de lipasas puede aumentar la licuación de lípidos y mejorar la biodisponibilidad para la acción de los microorganismos anaeróbicos; constituyendo en una buena alternativa para mejorar el tratamiento de efluentes lácteos.

Los primeros antecedentes de tratamiento de efluentes lácteos que utilizan la digestión anaerobia se remontan a 1959; llevándose a cabo pruebas piloto más regularmente desde 1978. En 1983 en Canadá se reporta la primera planta que trabaja con un sistema UASB, utilizando un reactor de 400m³ de volumen. (BULLETIN OF THE INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION, 1990).

ZAROR (2000), plantea que actualmente existen cinco configuraciones de tratamiento anaeróbico en uso: lagunas anaeróbicas, sistemas de contacto, sistema anaeróbico de flujo ascendente, biofiltro anaeróbico y lecho fluidizado. De los reactores anaeróbicos, el Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) es el más prometedor.

- Reactor UASB

El afluente se alimenta por la parte inferior. Éste atraviesa un manto de fango decantado en la base del reactor en sentido ascendente y accede a la zona donde se lleva a cabo la digestión. Por la parte superior se retira el efluente tratado y el biogás generado. Este tipo de reactores son muy compactos, ocupan poco espacio,

presentan bajos costes de operación y consiguen muy buenos porcentajes de eliminación de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), superiores al 95%.(González, Valdés, Nieves y Guerrero, 1994)

La retención de fango activo, ya sea en forma granular o floculenta, hace posible la realización de un buen tratamiento incluso a altas tasas de cargas orgánicas. La turbulencia natural resulta del propio caudal del influente, y la producción de biogás provoca el buen contacto entre el agua residual y el fango biológico en el sistema. Sin embargo, el efluente normalmente necesita un tratamiento posterior, para lograr degradar la materia orgánica remanente, nutrientes y patógenos (Agencia Andaluza de la Energía, 2011).

- Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)

Corresponde a un tipo de reactor anaeróbico tubular que opera en régimen continuo y en flujo ascendente, es decir, la alimentación entra por la parte inferior del reactor, atraviesa todo el perfil longitudinal a través de un lecho de piedras a plástico y sale por la parte superior. En la actualidad, el medio que se usa con más frecuencia es el plástico sintético o cerámicas con diferentes configuraciones y el volumen poroso del plástico se encuentra entre 80 y 95% (Varnero, 2011).

- Digestores de lecho fluidizado

En este sistema las bacterias se encuentran fijadas, y forman una biopelícula, sobre pequeñas partículas de material inerte que se mantienen fluidizadas mediante el flujo ascendente adecuado del fluido. Igual que el filtro, puede aplicarse a aguas residuales, especialmente de la industria agroalimentaria, y a fracciones líquidas o sobrenadante de residuos ganaderos, aunque las experiencias en este ámbito son muy limitadas. (BESEL, S.A. Departamento de Energía, 2007). Estos soportes pueden ser de arena, carbón activado granular u otros medios plásticos sintéticos, en los cuales ocurre la degradación de la materia orgánica (Varnero, 2011).

- Proceso anaeróbico de contacto

El diseño del proceso anaeróbico de contacto (PAC) se compone de un reactor anaeróbico de tipo convencional con agitación, donde se pone en contacto el efluente que alimenta el reactor con la biomasa anaeróbica que existe dentro del mismo. Esto permite que los compuestos orgánicos solubles y coloidales se degraden en primer término, con un TRH de 12 a 24 horas. La eficiencia de este sistema está estrechamente ligada con la buena sedimentación que se logre en el decantador, para lo cual puede colocarse un desgasificador antes de la entrada del líquido en tratamiento al decantador. (Varnero 2011).

En Cuba se demuestra mediante trabajos experimentales que el Manto de Lodos Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB) y el Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) son las opciones apropiadas, desde el punto de vista tecnológico, para el tratamiento de depuración de los efluentes residuales lácteos. En ambos sistemas se consigue una eficiencia de remoción de la contaminación, expresada como DQO (Demanda Química de Oxígeno) superiores al 95% como promedio, para valores similares de carga aplicada, mientras que la producción de biogás indica ligera ventaja para el reactor de manto de lodos, con respecto a la concentración de metano (González, Valdés, Nieves y Guerrero, 1994). Los reactores usados en estas experiencias, en los que se logra una efectiva retención de la biomasa activa, se aprovechan por considerarse que son los que brindan un mecanismo adecuado para obtener la reducción de los tiempos de retención hidráulica de los residuales.

Ambos tipos de reactores se ensayaron por González y Valdés (1998) y Rivera y Valdés (1998). Ellos aplicaron la digestión anaerobia para el tratamiento de residuales en el procesamiento de leche de soya, apoyados en la característica de alta biodegradabilidad que poseen los mismos ($DBO_5 / DQO = 0,62 - 0,68$) y sus altos valores en DQO y DBO_5 . Ambos muestran un comportamiento aceptable (90 - 95% de eficiencia de remoción de la DQO) al tratar cargas orgánicas entre 10 y 17 kg DQO/m³día y ser operados a una temperatura constante (35°C) durante todo el proceso, con tiempos de retención hidráulica entre 2 y 3 días.

I.4 Aspectos para el diseño de Biodigestores

La Tecnología del Biogás presenta características propias que hacen su análisis complejo, por lo que para su diseño e implementación se deben de tener en cuenta varios factores y aspectos.

- En cuanto al tipo de biodigestor

Esta decisión debe tomarse teniendo en cuenta algunos criterios tales como:

- Inversión que se está dispuesto a realizar.
- Energía que se quiere obtener.
- La biomasa con que se cuenta para alimentar el digestor.
- El tamaño requerido del digestor.
- Las características del lugar en cuanto a profundidad del nivel freático o mantos rocosos.(Varnero 2011)

- Lugar

Varnero (2011) señala que la elección del sitio donde se ubica el digestor es de gran importancia, pues incide en el éxito o fracaso de la operación del sistema. Algunas de las principales premisas que plantea es que:

- Debe estar en un lugar cercano al de almacenamiento del efluente y con una pendiente adecuada para facilitar el transporte y salida del mismo.
- Debe estar a por lo menos 10 – 15 metros de cualquier fuente de agua para evitar posibles contaminaciones.
- Debe ubicarse preferentemente protegido de vientos fríos y donde se mantenga relativamente estable la temperatura, tratando de que reciba el máximo de energía solar.

Por otra parte Guardado (2007) expone también algunos aspectos que se deben tener en cuenta al ubicar un biodigestor:

- Seleccionar el lugar más cercano posible a la fuente de materia prima.

- Debe tratarse, por todos los medios, de que la topografía del terreno permita el cargado de la planta por gravedad.
- En el lugar debe existir una fuente de agua para realizar la mezcla y mantener la limpieza de la planta.
- La instalación donde se utiliza el biogás debe encontrarse lo más cerca posible de la planta de biogás ($L \text{ máx} < 0,95 P \text{ máx}$; donde $L \text{ máx}$ es la distancia máxima en metros; y $P \text{ máx}$, la presión máxima en milímetros de columna de agua).
- 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 del manto freático.

I.4.1 Componentes de los biodigestores

Bolívar y Ramírez (2012) manifiestan que los digestores básicamente se componen de 5 partes fundamentales, las cuales tienen su razón de funcionamiento, estas son tanques de carga y descarga, agitador (aplica para algunos digestores, como el de flujo continuo), depósito de gas y finalmente el biodigestor. A continuación se presenta una breve descripción de los diferentes componentes que aplican básicamente a cualquier tipo de digestor.

- Depósito de gas

Básicamente permite la acumulación de gas cuando la producción excede la demanda. Idealmente el reservorio debe ser el mismo espacio libre entre el volumen del digestor y el sustrato cargado, pero algunos depósitos aportan una capacidad adicional al proceso ya sea por eficiencia de generación o por no consumo de biogás.

- Tanque de recolección

Su función principal es almacenar los residuos que son generados y mezclarlos para una mayor eficiencia del tipo de digestor instalado. Una segunda función de este tanque es almacenar temporalmente el sustrato un tiempo prudente para

posteriormente introducirla al digestor con las propiedades y las características adecuadas para su degradación.

- Digestor

Constituye el principal elemento en el proceso de digestión y trabaja bajo el principio de ausencia de oxígeno, en esta cámara se degrada la materia orgánica en un tiempo de retención y a unas condiciones específicas de funcionamiento, el correcto manejo, cargue y funcionamiento garantiza la mejor productividad en la generación de biogás.

- Tanque de descarga

El diseño de la cámara de descarga depende del nivel interno de la fase líquida dentro del biodigestor. En la misma, el residuo se deposita por el principio de vasos comunicantes, es decir, cuando ingresa una determinada cantidad de materia al biodigestor por la cámara de carga, se produce la descarga en este segundo recinto. El volumen de este depósito deberá ser superior a la carga del biodigestor (Huerga, Butti, Venturelli, 2014).

I.4.1.1 Datos principales para calcular y diseñar una planta de biogás

Ludwig (1984) señala que para realizar el diseño y el cálculo de una planta de biogás es necesaria la utilización de determinados valores característicos.

- Datos de entrada

- Cantidad de material que entra por día

- Productividad de biogás diaria

- Tiempo de retención, RT (día)

- Coeficiencia de contención de gas

- Cálculos necesarios para el diseño

- Cantidad de sustrato de entrada por día

- Volumen del digestor, V_d (m^3)
- Capacidad de equipo, G (m^3 /día)
- Volumen de contención, V_{cont} (m^3)
- Volumen del depósito de gas, V_g (m^3)
- Dimensión de los componentes de equipo (m)

Según Bermúdez, Díaz, Martínez, Pérez, Terry y Rodríguez (2009) los cálculos para los diferentes componentes de los biodigestores se realizan de la siguiente forma.

Cámara de digestión

Para el cálculo del volumen de la cámara de digestión se parte de dos criterios fundamentales:

- Cantidad de materia orgánica que se desea biodegradar.
- Cantidad de energía (biogás) que se requiere.

La primera vía, es más razonable debido a que se trata todo el residual disponible, cumpliéndose uno de los objetivos de la fermentación anaerobia que es la protección del medio ambiente.

Teniendo en cuenta el primer criterio:

$$V_d = V_c * \frac{TR}{PC} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

V_d : Volumen del digestor (m^3).

V_c : Volumen de carga diaria al %ST requerido (m^3 /día).

TR: Tiempo de retención (día).

PC: Periodicidad de carga.

Considerando el segundo criterio, se debe conocer la cantidad de biogás que genera la materia prima o substrato por utilizar y se determina el volumen de materia que se necesita para producir la cantidad de biogás requerida.

Dimensionamiento del depósito de gas:

El tamaño del depósito de gas (en volumen V_g) depende de la producción de gas y de la cantidad de gas que se utilice. La producción de gas depende de la cantidad y de propiedades del cieno de fermentación, de la temperatura del digestor y del tiempo de retención (Ludwig. 1894).

La relación entre el volumen del depósito de gas (V_g) y la producción diaria de gas (G) se llama capacidad de almacenamiento gas (C).

$$\frac{V_g}{G} * 100 = C \quad (\text{Ec. 2})$$

$$V_g = G * \frac{C}{100} \quad (\text{Ec. 3})$$

En una metodología por Silva (2002), se expone que la cantidad de biogás que se genera cada día (G) se calcula sobre la base del gas producido (G_y) por unidad de sólidos volátiles. De esta manera el cálculo se puede realizar en términos de:

Contenido de Sólidos volátiles:

$$G = S_v * G_y \quad (\text{Ec. 4})$$

$G = \text{Sólidos volátiles (Kg/día)} * G_y$ (m³ / día de biogás por unidad sólidos volátiles)

Ludwig (1984) plantea que el depósito de gas debe estar dimensionado de tal manera que pueda almacenar todo el gas que se usa de una vez y además, debe acumular todo el gas que se produce entre las horas de consumo. Expone fórmulas para el cálculo del máximo consumo de gas horario y el tiempo horario de máximo consumo con el objetivo de calcular el tamaño del depósito de gas.

1. Producción de gas por hora:

$$G_h = \frac{G}{24} \quad (\text{Ec. 5})$$

2. Duración del consumo de gas (H_{cons}) por dato.

3. Consumo de gas por hora:

$$\text{Cons}_h = \frac{G}{H_{\text{cons}}} \quad (\text{Ec. 6})$$

4. Diferencia entre el consumo y la producción de gas:

$$D_g = \text{Cons}_h - G_h \quad (\text{Ec. 7})$$

5. Volumen necesario durante tiempo de consumo:

$$V_{\text{cont}} = D_g * H_{\text{cons}} * \text{Coef.} \quad (\text{Ec. 8})$$

Conclusiones parciales

1. En este capítulo se analizan una serie de parámetros y conceptos, fundamentales para el tratamiento de los residuos orgánicos que se generan en la industria alimentaria y específicamente en la láctea.
2. Se detallan diferentes tipos de tratamientos, variantes y clasificaciones para el empleo de los mismos según las características de los residuales y sus fundamentos teóricos-metodológicos.
3. Se escoge el diseño de un sistema de biodigestores de flujo continuo y cúpula fija como el tratamiento más factible. Especialmente la selección se basa en su efectividad en la reducción de la carga contaminante que transportan las materias orgánicas y la ventaja que brinda el uso del biogás como producto agregado que se obtiene en el proceso.

CAPÍTULO – II: DISEÑO DEL SISTEMA DE BIODIGESTORES PARA LA EMPRESA DE PRODUCTOS LÁCTEOS HOLGUÍN

Introducción al capítulo

En el presente capítulo se desarrolla la propuesta de un diseño de varios biodigestores que forman parte de un sistema de tratamiento para la Empresa de Productos Lácteos Holguín. Para ello se realiza una caracterización de la empresa, y a partir de los datos obtenidos como resultado de la recolección y el análisis de los diferentes parámetros de las aguas residuales de las diferentes muestras tomadas se efectúa la proposición.

II.1 Caracterización de la Empresa de Productos Lácteos

La Empresa de Productos Lácteos Holguín se ubica en la carretera Mayarí Km 4^{1/2}, poblado de San Rafael, municipio y provincia Holguín. Está situada al norte de la carretera, cuenta con una vía de acceso al Frigorífico, por la parte Sur un área de pastos y malezas con una laguna de oxidación a 600 metros y al oeste se encuentra la Vocacional. El asentamiento poblacional más cercano es la comunidad del Cayo de Mayabe. El medio natural y socioeconómico del área propuesta presenta buen acceso vehicular, además de contar con infraestructura de electricidad y abasto de agua que dan respuesta a la necesidad de la empresa. Es una zona rural predominantemente llana con pequeñas elevaciones con humedecimiento estacional relativamente estable.

Las condiciones climáticas que predominan en la instalación son alta evaporación, temperaturas de 31,6°C de media anual en verano y mínima en invierno alrededor de los 20°C. Tiene una humedad relativa que alcanza el 82%, y una precipitación media anual de 1000 a 1200 mm con suelos pardos que se caracterizan por ser pocos profundos (< 20 cm) y por contar con buen drenaje. Acosta (2016)

Esta entidad cuenta con 985 trabajadores de los cuales 250 son mujeres y 735 son hombres. Existen tres turnos de producción, con 631 trabajadores directo a la producción.



Figura 4. Localización de la Empresa Productora de alimentos, Lácteo.

Fuente: <http://www.googlemaps.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=&url=http%3A%2F%2Fwww.com>

Es una de las empresas de mayor importancia en la provincia debido al impacto que esta tiene en la población. Las industrias lácteas generan grandes volúmenes de aguas residuales que se caracterizan por el alto contenido de cargas contaminantes. Por tanto es también una importante fuente de contaminación debido a los desechos producidos por las distintas áreas de producción. El sistema de pre tratamiento de los residuales líquidos generados por los establecimientos productores, está concebido con 2 trampas de grasa y un sistema de rejillas para eliminar los residuos sólidos que se limpian y son descargados al CP5, el cual forma parte de la red hidrológica de la Cuenca del Cauto. Entre los residuos se encuentran las grasas de los autos, el residual de la soya, las aguas albañales y las de fregado. (Ministerio de la industria Alimentaria Empresa de Producto Lácteos Holguín, 2015).

Como parte del plan de acción para mitigar los efectos contaminantes se reciclan más del 50 % de los subproductos, más del 60% de los residuos sólidos (papel, cartón, sacos, nylon, metal) que se generan en menor cantidad por la industria forman parte de contratos de venta con la Empresa de Recuperación de Materias Primas. Los aceites generados por el transporte y los equipos auxiliares de la industria se entregan a CUPET y el 30% de los residuales líquidos (suero de quesos, agua de soya) se disponen en recipientes y se realiza la venta para alimentación

animal. Los desechos que se generan en la elaboración de los quesos (suero) son almacenados en tres tanques metálicos elevados, de 5000 L de capacidad cada uno, mientras que el agua de soya resultante del proceso de elaboración del yogur, pasa directamente hacia los carros de evacuación y traslado.

La Empresa Porcina de Holguín cumple con el contrato de recogida diaria garantizando su transportación y ambos nutrientes son aprovechados en la dieta del ganado porcino. (Ministerio de la industria Alimentaria Empresa de Producto Lácteos Holguín, 2015). El caudal de generación diaria de residuos líquidos de la empresa es de 10,4 l/s en el horario de las 9:00AM, de 9,6 l/s a la 1:00PM y de 8,6 l/s a las 3:00PM. Mensualmente se vierte a la cuenca del Cauto 9,5 l/s, con una concentración de 222 mg/L de DBO y 560 mg/L de DQO.

La empresa, desde el año 2005 tiene como objetivo la construcción de una planta de tratamiento de agua residual. Su construcción se inicia con los trabajos de movimiento de tierra pero todavía no se puede concretar debido a diversas causas. La idea general para la proyección de la planta de tratamiento consiste en efectuarle un pre tratamiento a los residuales que se producen en la elaboración de yogurt de soya. Lo cual debe disminuir la carga contaminante principalmente en DBO_5 y DQO. Luego mezclar este residual con los emanados de otras producciones y finalmente tratarlos en una laguna facultativa y en otra de oxidación (Acosta 2016).



Figura 5. Laguna de acumulación

Fuente: Elaboración propia



Figura 6. Laguna facultativa

Fuente: Elaboración propia

II.2 Caracterización de la biomasa en la industria láctea

Los residuos líquidos de una industria procesadora de productos lácteos, y en general de las industrias procesadoras de alimentos, se caracterizan por ser de tipo orgánico y biodegradable. Estos están compuestos por leche diluida, con cargas ácidas y/o alcalinas debido al ácido y soda usados en lavado de líneas y estanques. Estas descargas presentan una tendencia a la acidificación y fermentación rápida (Fernández, 2007). Se generan fundamentalmente por fugas y derrames de materias primas, en las limpiezas de los equipos de proceso y en el lavado de superficies como suelos y paredes.

Casas (2009), plantea que se caracterizan por su elevado contenido de DBO, DQO, nutrientes como los fosfatos y algunos minerales. También se forman por altos niveles de sólidos suspendidos o disueltos que incluyen grasas y aceites, los cuales al descomponerse además de generar malos olores contaminan el medio. Igualmente es posible encontrar materia inorgánica, donde es común la presencia de detergentes y desinfectantes. Los que generan problemas en tratamientos posteriores o el deterioro de estructuras metálicas por corrosión y la generación de espuma en los tratamientos.

Estos afluentes son considerados como complejos, debido a varios tipos de sus compuestos, tales como carbohidratos, proteínas y lípidos. Los carbohidratos se consideran como compuestos fácilmente biodegradables, las proteínas pueden tender a precipitar si el pH es demasiado bajo haciendo más difícil la biodegradación, mientras que los lípidos son considerados como un problema debido a su acumulación y difícil degradación (Coelho et al., 2007).

Según Henck (1993), citado por Fernández (2007), señala que las aguas residuales de la industria láctea poseen un contenido medio de materia en suspensión entre 300 -700 mg/L, un contenido de nitrógeno entre 50 - 80 mg/L, fósforo entre 30 – 100 mg/L; además, poseen una Demanda Química de Oxígeno (DQO) media, comprendida entre 1000 y 3000 mg O₂ /L y un valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) entre 500 y 1700 mg O₂ /L. Para el análisis de una industria en

particular, es necesario conocer cuáles son las líneas o procesos productivos de ésta, ya que dependiendo del producto a elaborar, corresponderán los residuos que genere por su gran variabilidad, tanto en caudal como en composición.

Entre los residuos producidos en la empresa de productos lácteos Holguín, se encuentran los siguientes.

- Aguas albañales provenientes de las instalaciones sanitarias
- Los desechos resultantes de la elaboración de los quesos (Suero) y del Yogur
- Los residuales derivados de la limpieza en las líneas de producción así como de la higienización de oficinas y locales
- Aguas generadas en la elaboración de alimentos y fregado en la cocina

Está concebido que estos residuales, a excepción de las aguas resultantes de la elaboración de los quesos (suero) y del yogur, se evacuen por la red interna de la empresa hasta el sistema alcantarillado de la ciudad. El muestreo de las variables se realizó en áreas de la Empresa, donde se tomaron las muestras de aguas de consumo y residuales en las instalaciones que se exponen en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Vertimiento de los residuales y consumo de agua

| Muestra | DBO ₅ (mg/L) | DQO (mg/L) | Caudal residual (m ³ /día) | del | Consumo agua (m ³ /día) |
|-------------------------|----------------------------|---------------|---|-----|---------------------------------------|
| | U=±11% | U=±3% | | | |
| 2706 Residual de Soya | 12800 | 19625 | 80 | | 450 |
| 2707 Residual Combinado | 1033 | 2669 | 65 | | 460 |
| 2708 Residual de Queso | 1966 | 4082 | 54 | | 445 |

Fuente: Empresa de Productos Lácteos Holguín

Donde: U es la incertidumbre compuesta relativa

En la siguiente tabla se exponen los resultados de muestras tomadas en el registro de la salida del efluente hacia el sistema de alcantarillado.

Tabla 2.2 Valores aguas residuales que sale al alcantarillado

| CE | pH | DBO ₅ | DQO | SSed |
|-------|------|------------------|------|------|
| ≤4000 | 6-9 | ≤300 | ≤700 | ≤10 |
| 1384 | 7.14 | 571 | 6080 | 2 |

Fuente: Sanamé, 2016

Según la NC 27: 2012 sobre el vertimiento de aguas residuales al alcantarillado, los límites máximos permisibles promedio no corresponden con los obtenidos en las pruebas realizadas en cuanto al DBO₅ y el DQO. Lo que da a conocer las insuficiencias que presenta el tratamiento que se le da a los residuos producidos por la empresa. Anexo 4.

En el Combinado Lácteo se efectúa una ampliación en la producción de yogur de soya, por lo cual, se aumenta cualitativa y cuantitativamente los residuales emanados de este producto. Se hace necesario la proyección de una planta de tratamiento de residuales que sea capaz de cumplir con las normas de vertimientos al CP5, el cual forma parte de la red hidrológica de la Cuenca del Cauto. Figura 7.



Figura 7. Vertimiento al Cauto

Fuente: <http://www.periodicolacampana.com/wp-content/uploads/2016/08/vertimiento -rio-Cauca.png>

Este cuerpo receptor es de clase A según la norma NC 27:2012 y representa a los ríos, embalses y zonas hidrogeológicas que se utilizan para la captación de aguas destinadas al abasto público y uso industrial en la elaboración de alimentos. La clasificación comprende a los cuerpos de aguas situados en zonas priorizadas de conservación ecológica. Sus límites permisibles de vertimiento son de gran importancia en favor de evitar la contaminación y un menor impacto en el medio ambiente. Anexo 5.

II.3 Diseño de una planta de tratamiento y de un sistema de biodigestores para la Empresa de Productos Lácteos

El diseño de biodigestores debe responder tanto al lugar como al grado de aplicación y a la finalidad de la tecnología. Conociendo la región, la localidad y el lugar donde va a estar ubicada la planta, y en función al material de carga que se dispone y que se va a tratar o de acuerdo a las necesidades de producción, se seleccionará el sistema de digestión más adecuado de acuerdo a una secuencia o flujo que permita tener una idea clara del tamaño y forma del digestor necesitado (Guevara, 1996).

- Composición de la planta de tratamiento

La selección del proceso de tratamiento depende del uso al cual se le destinará al efluente tratado, la naturaleza del agua residual, la compatibilidad de las distintas operaciones y procesos, los medios disponibles de evacuación de los contaminantes finales y la posibilidad económica de las distintas combinaciones. El diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales es uno de los aspectos más importantes, en donde los conocimientos técnicos y experiencias prácticas son necesarios en la selección y análisis de los procesos de tratamiento (Rojas, 2002).

- Sistema de rejillas o cribaje

La industria láctea, por lo general, no contiene sólidos molestos. Sin embargo, en donde existen procesos de envasado, se evacúan hacia el efluente pedazos de plástico y papel aluminio producto del recorte de los envases. Estos sólidos no se digieren biológicamente y provocan problemas en las posteriores etapas del

tratamiento, razón por la cual es necesario removerlos previamente (Comisión Nacional del Medio Ambiente - Región Metropolitana, 1998). Altaner (2009) plantea que generalmente el cribaje está fabricado de mallas metálicas de acero, o en base a placas o chapas de acero perforado. La distancia o las aberturas de las rejillas dependen del objeto de las mismas, y su limpieza se hace manualmente o mecánicamente (Figura 8).



Figura 8: Rejilla

Fuente:http://cdn.simplesite.com/i/b8/79/284852681440262584/i284852689381289377._szw480h1280_.jpg

– Lecho de secado

Tiene por objetivo recibir los sólidos orgánicos evacuados después del proceso de cribaje así como los lodos provenientes de los biodigestores (Figura 9).



Figura 9. Lecho de secado

Fuente:https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTGjTiOU3Pgp9-peMpY2JgNJ_5v0t82WNnndRiYy-QXgVmWI1aA9g

– Tanque Ecuilizador

Los flujos suelen producirse de manera intermitente a lo largo de la jornada de trabajo, sobre todo al final de las operaciones de tratamiento, en el momento del lavado de máquinas, tuberías y recipientes. Por esta razón es preciso llevar a cabo una regulación del caudal o la homogeneización de su composición con el fin de conseguir que toda la planta al completo trabaje en unas condiciones uniformes (Gandarillas, Sánchez y Cerrano, 2009). El estanque de ecualización tiene por objeto proporcionar tanto un caudal como características físico-químicas del residual a tratar, lo más homogéneas posible, con el objeto de permitir que el sistema de tratamiento no sufra pérdidas de eficiencia. Figura 10. (Comisión Nacional del Medio Ambiente - Región Metropolitana, 1998).



Figura 10. Ecuilizador

Fuente: https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSiM1jznn_tEBk3n5BqMqH5mr5911ee3-UHrbxEBvifYF8UW01V

– Sistema de biodigestores

La degradación orgánica se llevará a cabo mediante procesos biológicos utilizando reactores que trabajarán en serie para el tratamiento de las aguas residuales. Tiene como propósito reducir los contenidos de materia orgánica biodegradable y de sólidos suspendidos no removidos en el cribaje y ecualización de los residuos. Ver figura 11.



Figura 11. Biodigestores

Fuente: <http://www.wormsargentina.com/new/wpcontent/uploads/2015/11/biodigestores.jpg>

- Receptor del efluente



Figura 12. Depósitos de residuales tratados

Fuente: https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRy2onfi_r7vO4dsqU0bH4lqNR0wr1dAAATVYqfreITbWuZimt-zw

- Sistema de entrada y salida del biodigestor

Tubo de entrada. Conduce el material al estanque de descomposición. Este tubo tiene forma cilíndrica, de hierro, hormigón o plástico con un diámetro mínimo de 150 mm. Un extremo del tubo se comunica con el tanque de entrada y el otro al digestor, con un ángulo de 30 grados. Esta posición asegura la fácil entrada de material al estanque, mueve el material descompuesto y facilita el contacto entre el sustrato y las bacterias.

Tubo de salida. La forma y estructura es similar al tubo de entrada, pero con un diámetro más pequeño para evitar la salida de los residuos presentes en el líquido. Está unido al tanque en un ángulo de 40 grado a la dirección vertical.

- Descripción del proceso
 - Después de cada proceso productivo las aguas residuales se mezclarán en el sistema de tuberías para la conducción de los desechos, al final de estas pasarán por un sistema de rejillas. Se dispondrán de tamices de hasta aperturas de 15mm que se emplearán para la eliminación de aquellos sólidos de gran tamaño que puedan interferir con las posteriores etapas del tratamiento. Los sólidos separados mediante este sistema son dispuestos como basura doméstica en rellenos sanitarios, o reciclados hacia otro sector, si son posibles de clasificar (Comisión Nacional del Medio Ambiente - Región Metropolitana 1998).
 - Después pasado este proceso, el afluente se dirigirá hacia un tanque ecualizador donde se homogenizarán los residuales. Según Casas (2009) los ecualizadores reciben los residuos industriales provenientes de los distintos procesos de la planta, los cuales no son constantes a lo largo del tiempo. El objetivo de esta etapa es regular el caudal absorbiendo las variaciones de flujo generadas, asegurando un caudal de ingreso a la planta de características homogéneas. El ecualizador cuenta además con un equipo aireador superficial. Zaror (2000) plantea que el flujo y composición de los residuos líquidos presenta enormes variaciones durante la operación rutinaria de la planta, reflejando diferentes operaciones que tienen lugar durante el proceso. Lo cual puede presentar serios problemas, particularmente para las operaciones de tratamiento secundario.
 - Una vez entrados los residuos en los biodigestores se lleva a cabo el proceso de degradación de la materia orgánica, la fermentación y la obtención del biogás. Este será almacenado y puesto a disposición del uso que se le vaya a dar.
 - Por último el efluente una vez procesado será derivado, se acumularán por si se le quiere dar un tratamiento terciario para su uso final o vertimiento y desde allí bombeado al cuerpo receptor.

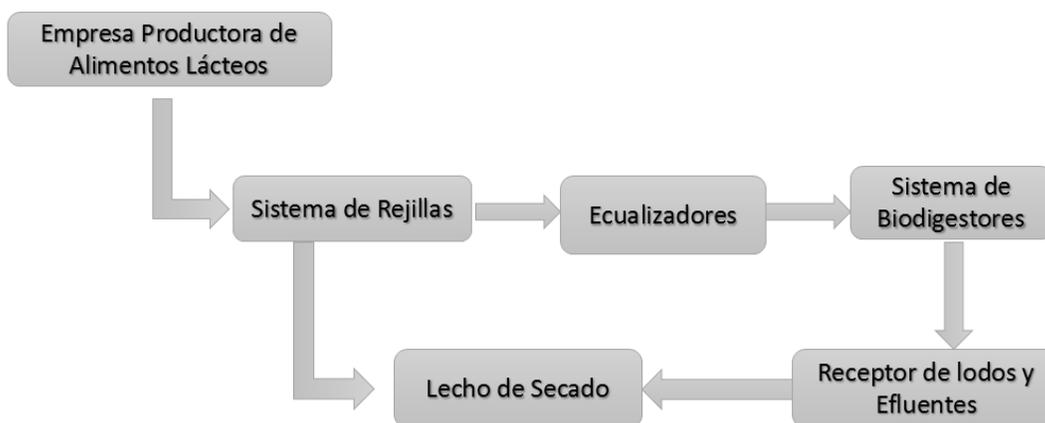


Figura 13: esquema

Fuente: Elaboración propia

- Datos de entrada

Tabla 2.3 Datos de entrada

| Parámetros | Unidad | Efluente |
|---|--------------------------|----------|
| Demanda química de oxígeno (DQO) | mg/L | 21870 |
| Demanda bioquímica de oxígeno (5 días) DBO ₅ | mg/L | 15000 |
| Ph | | 7 |
| Sólidos totales | mg/L | 19716 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 2700 |
| Sólidos suspendidos volátiles | mg/L | 2300 |
| Nitrógeno Total | mg/L | 348 |
| Nitrógeno orgánico | mg/L | 342 |
| Fosforo | mg/L | 54 |
| Grasas | mg/L | 80 |
| Residuales industriales(Producción de yogur de soya) | m ³ /d | 65 |
| Residuales industriales(del resto del combinado) | m ³ /d | 736.6 |
| Residuales industriales(de todo el combinado) | m ³ /d | 801.6 |
| Afluente final tratado dispuesto al CP5 | mg/L (DBO ₅) | ≤300 |

Fuente: Empresa Productora de alimentos Lácteo

- Cálculos

- Tanques ecualizadores:

La cantidad de aguas residuales que se generarán en los procesos productivos es de 801.6 m³/d. Por lo que se llevará a cabo la construcción de dos tanques que sean capaces de evacuar el volumen de residuos que se producen en la empresa. Estos serán de 408 m³ cada uno y tendrán las siguientes dimensiones:

$$H = 4\text{ m} \quad r = 5.7\text{ m}$$

$$V = \pi * r^2 * H = \pi * 5.7^2 * 4 = 408\text{ m}^3$$

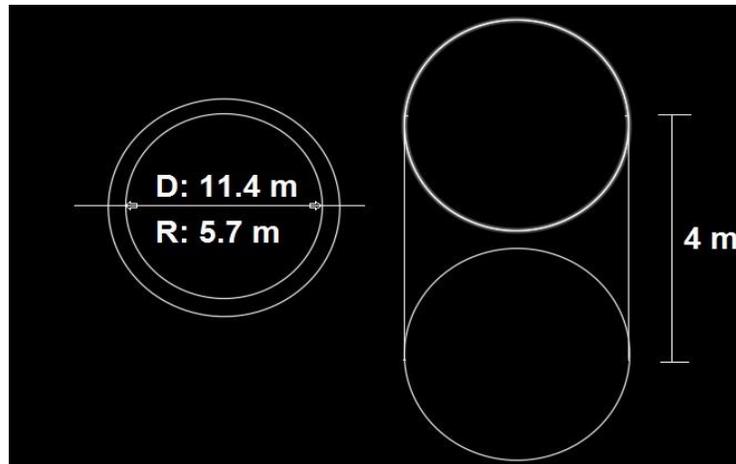


Figura 14. Dimensiones ecualizadores

Fuente: Elaboración propia

- Volumen de los digestores:

Para determinar las dimensiones del biodigestor propuesto, es necesario determinar la carga diaria. Cabe resaltar que de acuerdo a lo mencionado anteriormente el régimen de carga es continuo. (Bolívar, Ramírez, 2012).

$$TR = 1\text{ día} \quad Pc = 1\text{ día} \quad Vc = 200\text{ m}^3/\text{d}$$

Radio: 4 m

Altura: 4 m

$$V_d = V_c * \frac{TR}{P_c} = 200 * \frac{1}{1} = 200 \text{ m}^3$$

– Dimensionamiento del depósito de gas:

Para los digestores de domo fijo y de domo flotante el tanque de almacenamiento consiste en una construcción circular o cuadrada de ladrillo con un acabado por dentro de cemento. El gas producido por el digestor se almacena con el fin de tener disponible una cantidad suficiente en el momento que se requiera, utilizando cualquier recipiente hermético (Corona, 2007). Según Huerga, Butti y Venturelli (2014) tiene como función equilibrar las fluctuaciones de generación, consumo y cambios de volumen producidos por variables externas.

Cálculo de sólidos volátiles totales en el digestor:

$$S_{vto} = S_v * V_d$$

$$SV = 2300\text{mg/L} = 2,3 \text{ kg/m}^3$$

$$S_{vto} = 2,3 * 200 \text{ m}^3 = 460 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Producción diaria de biogás:

$$G = S_{vto} * G_y$$

SV (kg/día)

Gy (m³/kg SV)

Arce (2011) expone que para lodos de la industria láctea la productividad de biogás

Gy = 0,98 m³/kg de sólidos volátiles.

$$G = 460 * 0,98 = 450,8 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Producción de gas por hora:

$$G_{\text{hora}} = \frac{G_y}{H_{\text{dia}}}$$

$$G_{\text{hora}} = \frac{450,8}{24} = 18,78 \text{ m}^3/\text{h}$$

Consumo gas diario: 9h

$$\text{Cons}_h = \frac{G}{9}$$

$$\text{Cons}_h = \frac{450,8}{9} = 50,08 \text{ m}^3/\text{h}$$

Durante el consumo también se produce gas. Por eso para el cálculo solo es importante la diferencia entre la producción y el consumo.

$$D_g = \text{Cons}_h - G_h$$

$$\text{Dif} = 50,08 - 18,78 = 31,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por lo tanto el volumen necesario durante tiempo consumo y el tamaño necesario del depósito de gas es:

$$V_{\text{cont}} = \text{Dif} * H_{\text{cons}}$$

$$V_{\text{cont}} = 31,3 * 9_h = 281,7 \text{ m}^3$$

Para seguridad del depósito se asegura un 25%.

$$\text{Coef. Seg} = 1,25$$

$$281,7 * 1,25 = 352,1$$

$$C = \frac{352,1}{450,8} = 78\%$$

El volumen del depósito de gas se hallará para una capacidad de almacenamiento del 60%.

Volumen del depósito:

$$V_g = D_g * H_{cons} = 0,6 * 450,8 = 228,9\text{m}^3$$

Datos

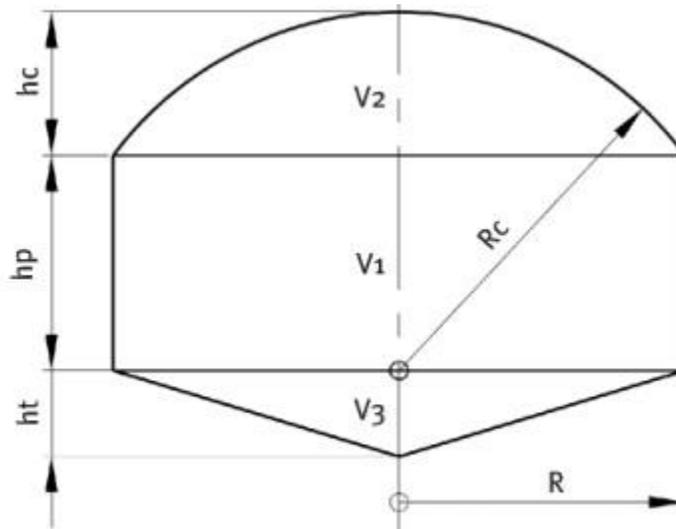


Figura 15. Proporciones

Fuente: Elaboración propia

Según Guardado (2007), las fórmulas fundamentales que se emplean en el dimensionamiento del biodigestor y especialmente en el dimensionamiento de la cúpula fija se realizan mediante proporciones que se establecen con respecto a las dimensiones de la cámara de digestión.

$$R_c = 5 * U = 5$$

$$U = \frac{R}{4} = \frac{4}{4} = 1$$

$$V_2 = 228,9\text{m}^3$$

Volumen de la Cúpula

$$V_2 = h_c * \pi * R_c * \frac{h_c}{3}$$

$$228,9 = h_c * \pi * 5 * \frac{h_c}{3}$$

$$h_c = 3,52 \text{ m}$$

El cálculo del digestor muestra que la producción de gas es de aproximadamente $450,8 \text{ m}^3 / \text{día}$. Para el almacenamiento del gas producido, es recomendable tener en el digestor un espacio capaz de contener el gas producido durante nueve horas, es decir, que para dicho gas producido durante ocho horas se tendrá que disponer de un volumen de almacenamiento igual a $228,9 \text{ m}^3$ (Figura 12), para un volumen total del biodigestor de 430 m^3 .

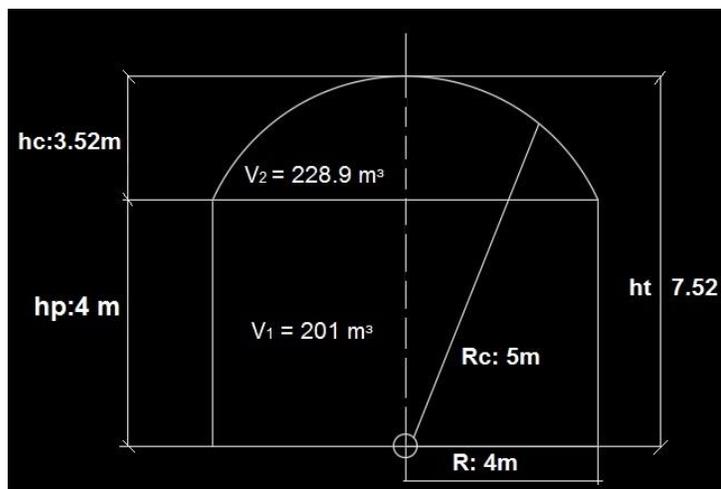


Figura 16. Dimensiones

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.4 Dimensionamiento de los biodigestores

| Datos | Dimensiones | | Unidad |
|----------|-------------|--------|--------|
| | Digestores | Cúpula | |
| Diámetro | 8 | 8 | m |
| Radio | 4 | 4 | m |
| Altura | 4 | 3.52 | m |

| | | | |
|---------|-----|-------|----------------|
| Volumen | 201 | 228,9 | m ³ |
|---------|-----|-------|----------------|

Fuente: Elaboración propia

II.3.1 Puesta en marcha de la planta

Para Sánchez, Hernández y Pavón (2012) en un estudio realizado, un aspecto indisolublemente ligado al funcionamiento exitoso de los biodigestores lo constituye el inicio, arrancada o puesta en marcha de estos, siendo una de las etapas más importantes del proceso anaerobio, y para muchos la más importante en el orden práctico. La duración de esta etapa depende de numerosos parámetros físicos, químicos y biológicos, tales como la composición y fortaleza del residuo; volumen, actividad y adaptación del inóculo; parámetros ambientales como temperatura, pH, nutrientes y contenido de especies químicas en el residuo; parámetros operacionales como carga orgánica, tiempo de retención y configuración del reactor (tamaño y geometría).

Generalmente el arrancado de un biodigestor dura entre 25 y 45 d en dependencia del tiempo de retención del sustrato usado. Esta carga diaria debe cumplir los mismos requisitos establecidos que se tuvieron en cuenta al arrancar el digestor. Varnero (2011) expone que en el caso de un proceso de carga continua, realizada en un solo depósito de digestión, correspondería a una fermentación de una sola etapa. La producción del biogás, comienza después de cierto periodo (Tiempo de Retención Hidráulica) a partir de una carga inicial, en función del tipo de las materias primas y de la temperatura interna de funcionamiento del biodigestor. Las diferentes etapas para una correcta operación del biodigestor se pueden agrupar en:

- El biodigestor debe ser curado una vez terminada su construcción por lo cual se llena de agua sin carga orgánica durante 10 o 12 días. Esto también se realiza para comprobar la existencia de filtraciones y una vez finalizada se retira el agua utilizada y se llena con el residual orgánico.

- Dejar abierto conexión a salida de gas, durante 5 a 7 días, con el objeto de eliminar todo el oxígeno que pueda existir como producto de las primeras fases del proceso de descomposición de las materias orgánicas. Posteriormente cerrar y dejar que se eleve la presión interna y soltar el gas. Repetir esta operación hasta completar 10 – 15 días, con lo cual se elimina todo el oxígeno remanente, junto con el anhídrido carbónico (CO_2) que se genera en las primeras fases del proceso de fermentación, previas a la etapa de formación de metano (CH_4).
- Pruebas Inicio producción de biogás.
Transcurridos 15 días de la carga inicial o de arranque, se debe comenzar a verificar el inicio de producción de biogás (CO_2 y CH_4 en proporción similar), mediante la verificación de “quema de biogás”. Se acopla una manguera a la salida de gas y utilizando un quemador o mechero, se prueba si el gas se enciende. Si el gas quema con una llama azulada y de buena consistencia, se puede iniciar el uso normal del biogás.

II.3.2 Mantenimiento

Periódicamente se debe inspeccionar y verificar si existen filtraciones de agua o aire en los digestores de biogás, para proceder a su reparación. En los digestores de carga continua, por lo menos una vez al año, se debe vaciar completamente el digestor, retirando el lodo del fondo (Varnero, 2011).

Esto permite realizar lo siguiente:

- Tratamiento de roturas: cincelar las roturas en forma de V, raspar la superficie circundante; posteriormente llenar ese agujero en forma de V con cemento (1:1), compactar y aplicar dos o tres veces un enlucido hecho de una pasta de cemento puro.
- Cuando no se encuentran filtraciones, se debe lavar la cámara de fermentación y aplicar dos o tres capas de enlucido con una pasta pura de cemento.

- Si el enlucido está deteriorado o está deformado, es necesario sacarlo y lavar las paredes; entonces volver a enlucir, aplicando una tras otra, distintas capas de enlucido muy fino con una cuidadosa compactación.
- Cuando el agua freática penetra al biodigestor, es preciso aplicar una pasta salada con agua; se tapa el hoyo y se aprieta aplicando cemento con una cubierta de cenizas durante 20 minutos y entonces se remueve la cubierta.
- Cuando se produce una combinación de filtraciones en caños (tubos de entrada y salida) y cúpula, se cincela alrededor de la filtración y se saca el caño; entonces se vuelve a colocar cemento u hormigón de gravilla, haciendo fraguar localmente para que se fije el caño.
- Si el fondo se hunde o la pared se separa, se agrandará la resquebrajadura y se profundizará al máximo, rellenándose con una mezcla de hormigón con grava fina.
- Se debe revisar frecuentemente las juntas de la manguera para asegurar que no se filtre ni el agua ni el aire.

Conclusiones parciales

1. Se caracterizan las aguas residuales de la Empresa de Productos Lácteos Holguín, y mediante los pasos para el diseño de los biodigestores se efectuó el diseño de un sistema para el tratamiento de los residuales.
2. Se proponen los diferentes componentes que integran el sistema de tratamiento, y se realiza una descripción del proceso por el cual transcurrirán los residuos para reducir las cargas contaminantes, obtener biogás y verterlos con los parámetros establecidos por la norma NC 27:2012 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y el alcantarillado.
3. Se calculan las dimensiones de los componentes de los biodigestores y se expusieron las características de los mismos, los cuales serán capaces de procesar las aguas residuales provenientes de la producción diaria de la Empresa de Productos Lácteos.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Los fundamentos teóricos y metodológicos caracterizados, y asumidos como sustento epistemológico del objeto y campo de acción de la investigación resultaron de una gran importancia para su estudio, caracterización y posibilitaron el diseño del sistema de biodigestores en la Empresa Productos Lácteos Holguín.
2. La determinación del estado actual de la Empresa de Productos Lácteos y los residuos orgánicos de la misma, posibilita identificar las causas que han estado incidiendo en la falta de tratamiento, en el emplazamiento del objeto de estudio y en la contaminación del medio ambiente.
3. El diseño del sistema de biodigestores en la Empresa de Productos Lácteos, permite una forma de tratamiento secundario para los residuales generados reduciendo la carga contaminante de los mismos, a fin de que no sean una fuente de contaminación en los cuerpos receptores.

RECOMENDACIONES

1. Divulgar los resultados obtenidos en diferentes eventos nacionales e internacionales relacionados con el tema de sistemas de tratamiento de residuales.
2. Proponer al Departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín, continuar profundizando en el tema de investigación con la realización de un estudio de factibilidad técnico-económica para la construcción del sistema de biodigestores en la Empresa de Productos Lácteos.
3. Generar programas que fortalezcan el aprovechamiento de los residuos orgánicos como mecanismo para la búsqueda de financiamiento a la vez que se está contribuyendo al mejoramiento del medio ambiente.
4. Buscar mecanismos prácticos y viables, para desarrollar proyectos que contemplen a los diferentes actores involucrados en el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales en la sociedad, para la construcción de una cultura en el aprovechamiento de los residuos.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta Aldana, M. 2016. Solicitud de Licencia Ambiental. Tratamiento de Residuales Líquidos y Laguna de Oxidación. Empresa de Productos Lácteos Holguín.

Agencia andaluza de la energía. Consejería de economía, innovación y ciencia 2011. Estudio básico del biogás. Andalucía, España.

Altaner Moraga R. (2010) Descripción y Análisis Comparativo de los Sistemas de Tratamiento de RIL en la Industria de Alimentos en Valdivia. Universidad Austral de Chile.

Agencia de Medio Ambiente CIGEA. 1998. Metodología para la evaluación aproximada de la carga contaminante. La Habana Cuba.

Álvarez, José M.; Caneta, Luciano; Moyano, Carlos. Biomasa y Biogas

Arce Cabrera J.J. 2011. Diseño de un biodigestor para generar biogás y abonos a partir de desechos orgánicos de animales aplicables en las zonas agrarias del Litoral.

Besel, S.A. (Departamento de Energía) 2007. Biomasa: Digestores anaerobios.

Bermúdez Savón, R C; Díaz Portuondo, E; Martínez Abreu, M C; Pérez Silva, RM, Terry Brown A I; Rodríguez Pérez, S 2009. Manual de la tecnología del biogás (colectivo).

Bolívar Fúquene, H. E; Ramírez Hernández E. Y, 2012. Propuesta para el diseño de un biodigestor para el aprovechamiento de la materia orgánica generada en los frigoríficos de Bogotá

Bulletin of the International Dairy Federation IDF/FIL. 1990. Anaerobic treatment of dairy effluents. Bruselas (Bélgica). 252: 3 – 23.

Casas Cárdenas F. (2009) Caracterización de los Sistemas de Tratamiento de Riles en la Industria Lechera y Propuestas de Mejora.

Chile, Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA). 1998a. Guía para el control y la prevención de la contaminación industrial: Fabricación de Productos lácteos. Gobierno de Chile (Ed.). Santiago. 59 p.

Comisión Nacional del Medio Ambiente - Región Metropolitana 1998. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Fabricación de productos lácteos Santiago de Chile.

Corona Zúñiga I. 2007. Biodigestores. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Demirel, B.; Yenigun, O. y Onay, T. 2005. Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. Journal of Process Biochemistry (USA). 40: 2583 –2595.

Días E.D, Kreling J.C, Botero R, Murillo J.V. 2007. Evaluación de la productividad y del efluente de biodigestores suplementados con grasas residuales. Universidad EARTH Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica.

Etcalf & Eddy, Inc. Wastewater Engineering. Collection Treatment Disposal. McGraw Hill

Fernández, P. 2007. Recuperación de agua y de agentes de limpieza industrial: diseño de un sistema integrado con membranas para la recuperación de detergentes de fase única. Tesis doctoral. Universidad de Oviedo, Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente.

Gandarillas Prieto L, Sánchez Moya T, Serrano Viedma R, 2009. Estación depuradora de aguas residuales de una Industria Láctea.

González, J; Valdés, P; Nieves, G y Guerrero, b. 1994. Aplicación de la digestión anaerobia a los residuales de industrias lácteas. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. Ciudad Habana.

Guardado Chacón, J.A 2007. Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas.

Guevara Vera A. 1996. Fundamentos básicos para el diseño de Biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú.

Huerga I.R, Buti M, Venturelli L. 2014. Biodigestores de pequeña escala. Un análisis práctico sobre su factibilidad. Instituto de Ingeniería Rural.

Jaramillo Henao G, Zapata Márquez L.M, 2008. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Universidad de Antioquia.

Kiely, G. 1999. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Mc Graw-Hill Ed., Madrid, España. 1331 pp.

Lothar Hess M, 1980. Lagunas para el tratamiento de desechos industriales. Curso para ingenieros sobre operación y mantenimiento de lagunas para estabilización de aguas residuales. Lima, Perú.

Ludwig S. 1984. Plantas de biogás. Bosquejo y Detalle de Plantas Sencillas.

Montes Carmona, M.E 2008. Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás tesis doctoral.

Metcalf, L. y Eddy, H. 1995. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Volumen I. 3a Ed. McGraw-Hill. Madrid, España. 505 p

Ministerio de la Industria Alimentaria Empresa de Productos Lácteos Holguín, 2015. Principales resultados alcanzados y deficiencias presentadas en la gestión ambiental. XIV Reunión provincial empresa y medio ambiente.

NC 27:2012 Vertimiento de Aguas residuales en las aguas terrestres y alcantarillado – especificaciones. La Habana, Cuba.

Peralta Donate, Varea Dorado Digestión aerobia. Diseño de procesos en ingeniería ambiental

Proyecto manejo eficiente de riles en la industria láctea. Plataforma Gestión Ambiental y Comunidad

Ramalho, R. 1996. Tratamiento de aguas residuales. Quebec, Canadá. Reverté. 705 p.

Restrepo Gallego M, 2006. Producción más limpia en la Industria Alimentaria. Universidad Nacional. Colombia.

Rivas Solano O, Faith Vargas M, Guillén Watson R. 2010. Biodigestores: factores químicos y biológicos relacionados con su productividad. Costa Rica

Rivera, Alejandro; Guerrero, Barbarita; Nieves, Gertrudis (2004) Tratamiento de efluentes de la producción de leche de soya en un filtro anaerobio a flujo pistón Revista Internacional de Contaminación Ambiental

Rivera Rojas, A y González Alonso J.S. Tratamiento anaerobio a escala industrial de efluentes de la producción de leche de soya. Departamento de Aguas Industriales, Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia.

Rojas R. 2002. Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Sanamé Fernández L, 2016. Trabajo de Diploma: Caracterización de la biomasa de la Empresa Productora de Alimentos Lácteos. Holguín.

Sánchez Rodríguez J.V; Hernández Vega A.E; Pavón Hernández A. 2009 Uso y mantenimiento de biodigestores de cúpula fija, una forma de contribuir al desarrollo local sostenible. Universidad de Matanzas.

Sgarlatta F, Tarditti A, 2015. Análisis de la Planta de Tratamiento de Efluentes de Lácteos San Basilio S.A. Facultad de ciencias agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.

Silva Vinasco, J P. 2002 TECNOLOGÍA DEL BIOGAS. Universidad del Valle- Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente.

Varnero Moreno, M T 2011. Manual de Biogas. Santiago de Chile.

Vega de Kuyper, J. 1997. Manejo de residuos de la industria química y afín. 1ª Ed. Ediciones Universidad de Chile. Chile. Santiago. 140 pp.

Zaldívar Pedroso, I.J. Biodigestores: Biogas y Bioabonos un sistema tecnológico limpio

ANEXOS



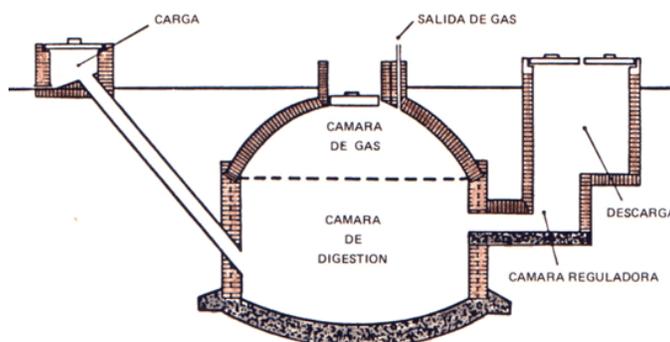
Anexo 1. Planta balón

Fuente: <http://4.bp.blogspot.com/IAPvIXIObDU/Tj07W2pS3KI/AAAAAAAAAHs/ziSnbRQxjKk/s1600/biodigestor+para+tapa.jpg>



Anexo 2. Cúpula flotante

Fuente: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/otras_energias/biogas/imagenes/imag006.png



Anexo 3. Cúpula fija

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos94/generacion-biogas-rastros-evitando-contaminacion-del-suelo-y-tierra/image005.jpg>

| Parámetros | Unidades | LMPP |
|-------------------------|----------|--------|
| Temperatura | °C | < 50 |
| pH | Unidades | 6 – 9 |
| S. Sed | mL/L | < 10 |
| Grasas y aceites | mg/L | < 50 |
| Conductividad eléctrica | μS/cm | < 4000 |
| DBO ₅ | mg/L | < 300 |
| DQO | mg/L | < 700 |

| | | |
|---|------|--------|
| Fenoles | mg/L | < 5 |
| Sustancias activas al azul de metileno (SAAM) | mg/L | < 25 |
| Aluminio | mg/L | < 10.0 |
| Arsénico | mg/L | < 0.5 |
| Cadmio | mg/L | < 0.3 |
| Cianuro | mg/L | < 0.5 |
| Cobre | mg/L | < 5 |
| Cromo hexavalente | mg/L | 0.5 |
| Cromo total | mg/L | 2.0 |
| Mercurio | mg/L | 0.01 |
| Plomo | mg/L | 1.0 |
| Zinc | mg/L | 5.0 |
| Sulfuros | mg/L | 5.0 |

Anexo 4. LMPP para los parámetros de los residuos líquidos

Fuente: NC 27:2012

| Parámetros | UM | Ríos y Embalses | | |
|-------------------------------|----------|-----------------|---------|-------|
| | | A | B | C |
| Ph | Unidades | 6.5 - 8.5 | 6 – 9 | 6 – 9 |
| Conductividad eléctrica | μS/cm | 1400 | 2000 | 3500 |
| Temperatura | °C | 40 | 40 | 50 |
| Grasas y aceites | mg/L | 10 | 10 | 30 |
| Materia flotante | - | Ausente | Ausente | - |
| Sólidos sedimentables torales | mL/L | 1 | 2 | 5 |

| | | | | |
|------------------|------|----|----|-----|
| DBO ₅ | mg/L | 30 | 40 | 60 |
| DQO | mg/L | 70 | 90 | 120 |
| Nitrógeno | mg/L | 5 | 10 | 20 |
| Fósforo | mg/L | 2 | 4 | 10 |

Anexo 5. LMPP según el cuerpo receptor

Fuente: NC 27:2012