

**OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO, MANEJO Y DISPOSICIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES
DE UNA INDUSTRIA LÁCTEA DE LA SABANA DE BOGOTÁ, A TRAVÉS DE LA
INCORPORACIÓN DE UN BIOACTIVADOR CELULAR NATURAL**

Autor

Milton Felipe López Cajiao

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES
CARRERA DE ECOLOGÍA
PROYECTO DE GRADO
Bogotá D.C. Mayo de 2009

**OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO, MANEJO Y DISPOSICIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES
DE UNA INDUSTRIA LÁCTEA DE LA SABANA DE BOGOTÁ, A TRAVÉS DE LA
INCORPORACIÓN DE UN BIOACTIVADOR CELULAR NATURAL**

Autor

Milton Felipe López Cajiao

Trabajo de Grado

Como requisito parcial para obtener el título de:

Ecólogo

José María Castillo Ariza

Director Proyecto de Grado

Departamento de Ecología y Territorio

Facultad de Estudios Ambientales y Rurales

Pontificia Universidad Javeriana

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES
CARRERA DE ECOLOGÍA
PROYECTO DE GRADO
Bogotá D.C. Mayo de 2009

Nota de aceptación:

Dr. Luis Miguel Renjifo Martínez, Ph.D
Decano Académico
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales
Pontificia Universidad Javeriana

Dra. Ángela Amarillo
Directora Carrera de Ecología
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales
Pontificia Universidad Javeriana

Ing. José María Castillo Ariza
Director Proyecto de Grado
Departamento de Ecología y Territorio
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales
Pontificia Universidad Javeriana

Ing. Mario Opazo
Jurado
Departamento de Ecología y Territorio
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales
Pontificia Universidad Javeriana

Ing. Sandra Méndez
Jurado
Directora Grupo Gestión Integral de Residuos
Facultad de Ingeniería Civil
Pontificia Universidad Javeriana

NOTA DE ADVERTENCIA

“La universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis”.

Artículo 23 de la Resolución N° 13 de julio de 1946.

AGRADECIMIENTOS

A Diana Acevedo por ser mi inspiración y estar siempre conmigo. Este trabajo va dedicado a ti.

A mis Padres y a mi Hermanita por su apoyo incondicional y sabios consejos. Gracias por su persistencia.

A mi director de tesis José Maria Castillo Ariza por sus conocimientos y guianza durante la realización de este trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	9
INTRODUCCIÓN	10
JUSTIFICACIÓN.....	11
OBJETIVOS.....	13
Objetivo General.....	13
Objetivos Específicos	13
1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	14
1.1. AGUAS RESIDUALES	14
Características de Importancia en Aguas Residuales.....	15
Composición de las Aguas Residuales	16
Biología de las Aguas Residuales	17
Objetivos del Tratamiento de Aguas Residuales.....	17
Aguas Residuales Industriales	18
Consideraciones Sobre los Vertidos Industriales	20
Generación y Procedencia de los Lodos Residuales Industriales.....	20
Tipo de Lodos y sus Propiedades	22
Tratamiento de Lodos Residuales	23
Disposición de los Lodos Residuales	24
1.2. MÉTODO DE TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES	24
Producción de Compost.....	24
1.3. LA BIOTECNOLOGÍA COMO MEDIO PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL.....	30
Posibilidades y Ventajas de la Biotecnología	30
Transferencia de Tecnología	30
Colombia	31
Bioactivador Celular Natural. BIO-KAT T.M.	32
Como Funciona el Bioactivador Celular.	33
Comparación con otros productos.....	34
2. INDUSTRIA LÁCTEA.....	35
2.1. ORIGEN DE LOS RESIDUOS DE LA INDUSTRIA	36
2.2. COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS	37
2.3. CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR LOS EFLUENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA	37
2.4. AGUAS RESIDUALES DE PLANTAS DE PROCESAMIENTO DE LÁCTEOS	38
2.5. EVACUACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA	39
2.6. PROCEDIMIENTOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PRESENTES EN LA INDUSTRIA LÁCTEA	40

Procedimientos físicos y químicos:	40
Procedimientos biológicos:	41
3. MARCO LEGAL	42
LEY 99 de 1993. Fundamentos de la Política Ambiental Colombiana y sus Principios Generales Ambientales.	43
Decreto 1541 de 1978. “De las aguas no marítimas”.....	43
Decreto 1594 de 1984. Usos del agua y residuos líquidos.	44
Norma Técnica Colombiana. NTC 5167. Productos para la Industria Agrícola. Productos Orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelos.	45
Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000. Sección II, Título E. Tratamiento de Aguas Residuales.	45
Norma EPA. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.	45
4. MARCO INSTITUCIONAL	46
4.1. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL	46
4.2. CAR. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA.....	47
4.3. JORGE TRIANA & Cia Ltda.	48
4.4. PTAR INDUSTRIA LACTEA. GENERALIDADES.	48
5. METODOLOGÍA.....	49
6. RESULTADOS	51
7. DISCUSIÓN	54
7.1. MATERIALES Y MÉTODOS	57
7.2. SEGUIMIENTO A LA PRUEBA.....	58
8. CONCLUSIONES	58
9. RECOMENDACIONES	59
10. BIBLIOGRAFÍA	60
ANEXOS.	63

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Diagrama Conceptual.</i>	14
<i>Figura 2. Tratamiento de Aguas Industriales.....</i>	19
<i>Figura 3. Esquema general del proceso de compostaje.</i>	25
<i>Figura 4. Fases y variaciones térmicas durante el proceso de compostaje.....</i>	28
<i>Figura 5. Flujograma del tratamiento de las aguas residuales en la Industria Láctea.</i>	49
<i>Figura 6. Comportamiento temperaturas de la pila con Biokat.</i>	53
<i>Figura 7. Comportamiento temperaturas de la pila sin tratamiento.</i>	53

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1. Posibles soluciones a adoptar y alternativas de tratamiento</i>	24
<i>Tabla 2. Caracterización del método de compostaje.....</i>	26
<i>Tabla 3. Parámetros Físico-Químicos y microbiológicos del compostaje analizado.</i>	50
<i>Tabla 4. Resultados Físicoquímicos y microbiológicos</i>	51
<i>Tabla 5. Aplicación del producto</i>	58

LISTADO DE FOTOS

	Pág.
<i>Foto 1. Proceso de volteo y aireación de la pila luego de aplicada la biotecnología.</i>	52
<i>Foto 2. Aplicación de la biotecnología sobre la pila de compostaje.</i>	52
<i>Foto 3. Coloración de la pila con y sin la biotecnología.....</i>	55

LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
<i>Anexo 1. (Metcalf & Eddy, 1981)</i>	63
<i>Anexo 2. Tabla según la cual se establecen los parámetros, que debe cumplir el vertimiento de acuerdo con el Decreto 1594 de 1984.</i>	64
<i>Anexo 3. Resultado de laboratorio Universidad de La Salle</i>	65

RESUMEN

La degradación del ambiente presenta efectos a largo plazo sobre todos los recursos y el desarrollo humano, generando una amenaza para todos los ecosistemas. Una de las problemáticas ambientales más evidentes en la actualidad, es la generación de residuos sólidos y líquidos de carácter industrial.

Dada esta situación se observa cómo la actividad industrial particularmente, genera una serie de subproductos que son considerados inútiles en muchos casos y por consiguiente, son catalogados como desechos, los cuales generan contaminación y contribuyen con la degradación de ecosistemas, a causa de una serie de emisiones o vertimientos de sustancias nocivas, tóxicas o peligrosas, de forma directa o indirecta y que tienen como receptor final el medio natural.

Este proyecto se enfocó en la incorporación de una biotecnología “Bioactivador celular natural, Bio-Kat” como tecnología limpia, para el tratamiento, manejo y disposición de los lodos residuales de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, de una industria láctea, que utiliza el proceso de compostaje para la adecuación de este residuo y su posterior comercialización.

Esta industria láctea, viene desarrollando la actividad del compostaje hace aproximadamente 20 años, obteniendo unos resultados en relación con el tiempo de maduración del compost, generación de olores y volumen de material tratado.

Por medio de análisis de laboratorio realizado a muestras de lodo compostado, previo y posterior a la incorporación de la biotecnología, se pudo establecer los cambios generados en los parámetros referenciados, permitiendo optimizar el proceso de compostaje, obteniendo un residuo de lodo tratado en menor tiempo de degradación, con una reducción de patógenos, una aparente disminución en la generación de olores, lo cual puede generar un valor agregado en el producto final, beneficiando al medioambiente y a la población circundante al área de la industria.

INTRODUCCIÓN

La preocupación por el medio ambiente está bien documentada en referencias históricas. Por ejemplo, los antiguos romanos construían acueductos para contar con un suministro de agua limpia, mientras que los desechos sanitarios se eliminaban por medio de cloacas o drenajes (Freeman, 1998).

A principios del siglo XIX, como una medida social y sanitaria, fueron desarrollados los alcantarillados sanitarios para alejar las excretas y desechos líquidos de poblaciones que crecían a ritmos acelerados por el desarrollo industrial. Fue hasta principio del siglo XX que se desarrollaron las teorías que simulaban a la naturaleza en la autodepuración de los cuerpos de agua (Freeman, 1998).

Los primeros sistemas de tratamiento de aguas residuales fueron concebidos para el control de la contaminación y posteriormente para la reutilización del agua tratada, inicialmente en riego de áreas verdes, en la industria, en actividades recreativas, etc. Muchas de estas plantas de tratamiento contaban con escasa, si no es que con ninguna, instalación para el tratamiento de lodos, disponiéndolos directamente en los alcantarillados municipales o en el cuerpo de agua más cercano. Las tecnologías para el tratamiento del agua comenzaron a surgir en Escocia e Inglaterra a principios del siglo XIX (Freeman, 1998).

Los daños causados por la contaminación producida por las industrias sobre los ecosistemas y sobre la vida que en ellos se desarrolla, dependen, entre algunos parámetros, de la facilidad de dispersión de los contaminantes.

En la actualidad, las industrias lácteas, de consumo masivo, construcción y bienes y servicios, entre otras, han influenciado en el incremento de la contaminación ambiental y el deterioro de diferentes ecosistemas, debido a motivaciones económicas y, en particular, a las expectativas de mayores beneficios, se convierten en los principales factores que han impulsado cambios tecnológicos que en muchos casos resultan perjudiciales para la salud de los trabajadores, de las poblaciones y, por consiguiente, de los ecosistemas.

Es bien sabido que en los procesos productivos, particularmente en el manejo de los residuos industriales, aparecen factores de riesgo asociados al tratamiento, manejo y disposición de sustancias y subproductos, cuya composición o finalidad puede llegar a ser desconocida en ciertos casos hasta por los mismos trabajadores de la industria, sin llegar a conocer el alcance que puedan tener éstos al no ser manejados adecuadamente (Sánchez, 1994).

Dada la problemática global, se observa como la producción industrial genera unos subproductos que de manera general se consideran inútiles y por consiguiente, son catalogados como desechos. Las materias primas utilizadas en los procesos productivos pueden ser peligrosas y sus características pueden ser las mismas de los desechos. No obstante, durante este proceso muchas de las propiedades de los insumos pueden modificarse, ya sea atenuándose o potenciándose.

Con los avances en las leyes y reglamentos y en las técnicas analíticas, con el objeto de proteger la salud pública y el medio ambiente, aumentaron las restricciones en las descargas, tanto para las aguas residuales como para los lodos y subproductos del tratamiento.

También han existido avances tecnológicos importantes en el desarrollo de las unidades de proceso, equipos, materiales y reactivos utilizados en el espesamiento, estabilización, acondicionamiento, secado, transporte, utilización y disposición de los lodos, arenas y sólidos gruesos que se encuentran en las aguas residuales.

La degradación del ambiente presenta unos efectos a largo plazo sobre todos los recursos y el desarrollo humano, generando una amenaza para todos los ecosistemas. Una de las problemáticas ambientales más evidentes de nuestra sociedad actual es la generación de residuos sólidos y líquidos, de carácter doméstico e industrial. La generación de basuras han llevado a los países a establecer servicios especiales de recolección, almacenamiento y tratamiento de dichos residuos. Sin embargo, muchos de éstos siguen siendo arrojados a ríos, quebradas, humedales, parques o demás lugares donde puedan ser botados sin ningún tipo de control, causando una serie de daños e impactos ambientales sobre los ecosistemas.

Por lo anteriormente mencionado, se puede comprender por qué el sector industrial, en general, es causante de una serie de emisiones o vertimientos de sustancias nocivas, tóxicas o peligrosas, de forma directa o indirecta y que tienen como receptor final el medio natural.

JUSTIFICACIÓN

Las industrias lácteas conforman un universo muy heterogéneo, desde las artesanales hasta las altamente tecnificadas, y la utilización del agua en sus procesos es de suma importancia por su volumen y carga contaminante (Tirlone, 1992).

La industria láctea, aún no siendo la de mayor valor desde el punto económico, es considerada como la principal causante de problemas de evacuación de residuos, teniendo en cuenta que sus productos son muy concentrados y poseen gran capacidad de contaminación. Por tal razón, no es posible descargarlos sin discriminación, en las corrientes de agua naturales (Tirlone, 1992).

Los residuos que se obtienen en el tratamiento de la leche y en la elaboración de los productos que de ella se derivan, pueden clasificarse en residuos domésticos, aguas de refrigeración, productos alterados o excedentes de leche desnatada, suero o leche de manteca; goteos, escapes y agua de lavados. Tales residuos deben separarse antes de su tratamiento, para así reducir al mínimo los problemas ocasionados por su manejo (Arango, 1968).

La industria láctea genera cantidades significativas de residuos líquidos que se convierten en la principal fuente de contaminación, debido a que contienen altos niveles de grasas, aceites, sólidos suspendidos y nitrógeno amoniacal, entre otros.

La descarga de estos residuos a un curso de agua superficial, sin previo procesamiento y tratamiento, unidos a otros producidos por la misma industria (baños, sector administrativo, cocinas, entre otros), se convertiría en un foco contaminante.

Por otra parte, los residuos que se generan de diversas fuentes en la industria láctea, son neutros o ligeramente alcalinos, pero tienden a acidificarse rápidamente debido a la fermentación de la azúcar contenida en la leche, que se convierte en ácido láctico. Éstos contienen muy poco material suspendido y su efecto de contaminación se debe completamente a la demanda de oxígeno, que se impone en otras corrientes receptoras, convirtiéndose en pesados lodos negros y con fuerte olor a ácido butírico, debido a la descomposición de la caseína (proteína presente en productos lácteos y sus derivados) que está presente en los residuos y que, a su vez, es la causante de la contaminación (Panayotou, 2003).

Al mismo tiempo, los lavados realizados en la industria contienen residuos alcalinos y químicos, utilizados para remover la leche y los productos lácteos; así como materiales de los tanques, tambos, latas, mantequeras, tinas, tuberías, bombas, salidas calientes y pisos, en el proceso del lavado de los productos y del mantenimiento y operación de la planta.

Teniendo en cuenta estas problemáticas ambientales, con el tiempo se han venido generando reflexiones modernas, que buscan la disminución de impactos negativos sobre el medio ambiente, y que han contribuido con la aparición de nuevas iniciativas.

Una de estas iniciativas es, “El principio general de La Producción Más Limpia” (P+L), una estrategia de gestión empresarial preventiva, aplicada a productos, procesos y organización del trabajo, que tiene por objetivo minimizar las emisiones y/o descargas en la fuente receptora, reduciendo riesgos para la salud humana y ambiental y elevando simultáneamente la competitividad. Este planteamiento fue introducido por la Oficina de Industria y Medio Ambiente, del Programa de la Organización de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Pnuma), en 1989, definida por dicha entidad, como “La

aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva, integrada y aplicada a procesos, productos y servicios que buscan mejorar la eco-eficiencia y reducir riesgos para los humanos y el medio ambiente”. (Scragg, 1999.)

El concepto de PML (Producción Más Limpia) busca realizar un proceso que incorpore en cada una de las fases del ciclo de vida de los productos las mejores prácticas ambientales, y propone alternativas y parámetros de sostenibilidad en el campo empresarial, dirigidos a las áreas de producción, productos y servicios.

OBJETIVOS

Objetivo General

Optimizar el tratamiento, manejo y disposición de los lodos residuales de una industria láctea de La Sabana de Bogotá, a través de la incorporación de una biotecnología.

Objetivos Específicos

1. Determinar las características principales y la potencialidad de la biotecnología “Bioactivador celular natural, Bio-Kat”, para el tratamiento de lodos.
2. Incorporar la biotecnología “Bioactivador celular natural, Bio-Kat”, al proceso de tratamiento de los lodos que realiza la industria láctea para determinar su efectividad.
3. A partir de los resultados obtenidos, realizar una propuesta de optimización del tratamiento, manejo y disposición de los lodos generados por la Planta de Aguas Residuales de una industria láctea de La Sabana de Bogotá.

1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

“La contaminación del agua es la alteración de sus propiedades físicas, químicas, biológicas o la eliminación por descarga de cualquier líquido, gas o sustancia sólida a las aguas, que pueda crear un perjuicio, o hacer que dichas aguas resulten peligrosas, detrimentes o perjudiciales para la salud, la seguridad o el bienestar público, o para uso domestico, comercial, industrial, agrícola, recreativo o cualquier otro empleo legitimo, o para los animales domésticos, los animales salvajes, las aves, los peces y demás formas de vida acuática” (Centro Nacional Salud Ambiente y Trabajo, 1997).

Es de suma importancia un adecuado manejo, tratamiento y disposición de los lodos presentes en las aguas residuales, para así evitar ser foco de contaminación y de degradación del medio ambiente. Para ello, pueden ser implementadas tecnologías limpias y amigables con el ambiente, en diversas etapas del tratamiento para obtener residuos y subproductos reutilizables. (Figura 1).

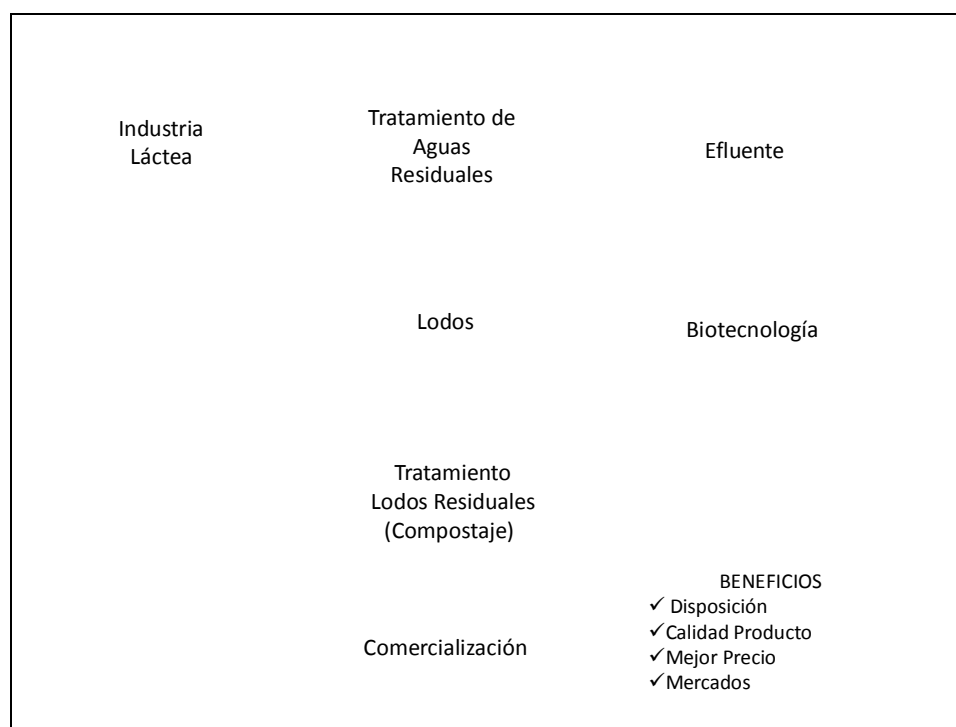


Figura 1. Diagrama Conceptual.

1.1. AGUAS RESIDUALES

Son principalmente las aguas de abastecimiento de una población, después de haber sido contaminadas por diversos usos o procesos. Desde el punto de vista de su origen, son el resultado de la combinación de los líquidos o residuos arrastrados por el agua, provenientes de urbanizaciones, edificaciones comerciales, e instituciones, junto con las provenientes del sector industrial. A estos sectores se pueden agregar las aguas subterráneas y superficiales o de precipitación (Metcalf & Eddy, 1981).

- Características de Importancia en Aguas Residuales

La calidad del agua puede conocerse con base en su caracterización física, química, y biológica. Dadas las características y variaciones en la descarga de aguas residuales al sistema de alcantarillado, el tipo o sistema de recolección utilizado, las diferentes costumbres de la comunidad aportante, el régimen de operación de las industrias, el clima, los caudales de aguas residuales varían durante todo el año, cambian de un día a otro y también fluctúan de una hora a otra.

Estos factores, entre otros, deben tenerse en cuenta en lo que refiere a las variaciones del caudal y de la concentración de las aguas residuales afluentes a una planta de tratamiento (Romero, 2002).

Las características se refieren a los constituyentes físicos, químicos y biológicos que se encuentran en el agua residual (Anexo 1). Según la cantidad de estos componentes, el agua residual se clasifica como fuerte, media o débil, dado que la concentración y composición varían con la hora del día, día de la semana y mes del año entre otros.

Las *características físicas* más importantes de agua residual son, su contenido total de sólidos, el cual está compuesto por materia flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución. Los parámetros físicos definen las características que corresponden a los sentidos de la vista, el tacto, olfato y gusto. Incluyen color, olor, temperatura, turbidez y contenidos en aceites y grasas (Metcalf & Eddy, 1981).

Las *características químicas* (materia inorgánica) de las aguas residuales tienen importancia para el abastecimiento y control de la calidad del agua. Las aguas residuales, a excepción de algunos residuos industriales, son raramente tratadas para la eliminación de los constituyentes inorgánicos que se añaden en el ciclo de su utilización. Los parámetros químicos están relacionados con la capacidad solvente del agua y asociados con el contenido de materia orgánica del agua, que incluyen la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total (COT) y demanda total de oxígeno (DTO). Los parámetros químicos inorgánicos incluyen la salinidad, pureza, pH y presencia de sustancias como el hierro, cloruros, sulfatos, metales pesados, nitrato, nitritos y fósforo (Metcalf & Eddy, 1981).

En cuanto a los gases presentes en aguas residuales, los que más frecuentemente son encontrados corresponden a nitrógenos (N₂), oxígeno (O₂), anhídrido carbónico (CO₂), sulfuro de hidrógeno (SH₂), amoníaco (NH₃) y metano (CH₄). Los tres primeros son gases comunes de la atmósfera y se encuentran en todas las aguas que están expuestas al aire. Los otros tres gases proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual (Metcalf & Eddy, 1981).

Las *características biológicas* incluyen el conocimiento de los grupos principales de microorganismos que se encuentran en las aguas residuales así como aquellos que intervienen en el tratamiento

biológico, el de los organismos utilizados como indicadores de polución y su importancia y finalmente de los métodos utilizados para valorar la toxicidad de las aguas residuales tratadas.

Los principales grupos de organismos que se encuentran en las aguas residuales se clasifican en *protistas, plantas y animales*.

La categoría de los protistas incluyen las bacterias, hongos, protozoos y algas. Como plantas se clasifican las de semilla, helechos, musgos y hepáticas. Como animales se clasifican los vertebrados e invertebrados. Los virus que también se encuentran en el agua residual, se clasifican según el sujeto infectado (Metcalf & Eddy, 1981).

- Composición de las Aguas Residuales

Las aguas residuales consisten esencialmente de: agua, sólidos disueltos en ella y sólidos suspendidos en la misma. La cantidad de sólidos es generalmente pequeña, pero es la fracción que representa el mayor problema para su tratamiento y disposición. El agua solamente provee el volumen y es el medio de transporte de los sólidos. Estos compuestos se pueden encontrar disueltos, suspendidos o flotando (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 1996).

Los sólidos de las aguas residuales se pueden clasificar en dos grupos según su composición o condición física. De este modo se tienen, sólidos orgánicos e inorgánicos, los cuales pueden estar en suspensión o disueltos.

Sólidos orgánicos, son principalmente de origen animal o vegetal, incluyen los productos de desecho de la vida animal y vegetal, la materia animal muerta, organismos o tejidos vegetales y también se incluyen los compuestos orgánicos sintéticos. Son sustancias que contienen carbono, hidrogeno y oxigeno, las cuales pueden estar combinadas con nitrógeno, azufre o fósforo.

Los grupos principales son las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas, junto con sus productos de descomposición. Estos sólidos se encuentran sujetos a la degradación o descomposición por la actividad de las bacterias y otros organismos; adicionalmente pueden ser quemados ya que son compuestos combustible.

Sólidos inorgánicos son sustancias inertes que no se encuentran sujetas a la degradación. Se les conoce como sustancias minerales: arena, grava, cieno y sales minerales del abastecimiento de agua producen su dureza y contenido mineral.

Las cantidades de los diversos tipos de sólidos depende del tipo de agua residual que se esté analizando, sea de origen domestico o industrial, los contenidos de sólidos variaran, ya que los desechos industriales por ejemplo pueden aumentar la cantidad de sólidos, especialmente de sólidos orgánicos, lo que traerá variaciones en la fuerza de las aguas residuales.

Se debe resaltar que las aguas residuales cambian tanto en composición como en volumen a lo largo del día. La composición de estas aguas varía igualmente de día a día de acuerdo con la clase de actividades industriales y las de la comunidad donde se originan (Metcalf & Eddy, 1981).

- Biología de las Aguas Residuales

Las aguas residuales contienen innumerables organismos vivos, los cuales la mayoría son tan pequeños que no pueden ser observados a simple vista y se requiere de microscopios para detectarlos en su mayoría. Estos organismos son la parte viva y natural de la materia orgánica que se encuentra en estas aguas y su presencia es de suma importancia, realizan actividades ambientales esenciales como lo es la captación de energía del sol, igualmente desempeñan roles en los ciclos del carbono, oxígeno y nitrógenos entre otros. Adicionalmente tienen gran valor, por su presencia en residuos humanos, en su patogenicidad, en su uso como indicadores de contaminación y en sus funciones como ejecutores del tratamiento biológico de las aguas residuales (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 1996).

Los organismos vivos pertenecen a diversos grupos, tales como, bacterias, coliformes, hongos, algas, protozoos, rotíferos, crustáceos, virus, plancton, perifiton, macrofiton, macroinvertebrados bénticos, nematodos, platelmintos y peces (Romero, 2002).

- Objetivos del Tratamiento de Aguas Residuales

El éxito en el tratamiento del agua es posible si se definen las técnicas adecuadas de tratamiento y disposición de las aguas residuales. Ningún programa de control de aguas, será óptimo sino se cuenta con recursos financieros para la adecuación, implantación, operación y mantenimiento permanente.

El principal objetivo del tratamiento de aguas es, la protección de la salud para promover el bienestar de los individuos miembros de la sociedad (Romero, 2002).

El retorno de las aguas residuales a los ríos o demás cuerpos de agua, convierten al ser humano en usuarios directos o indirectos de las mismas y a medida que crece la población mundial, aumenta la necesidad y obligación de contar con sistemas de tratamiento o renovación que permitan reducir los riesgos para la salud del hombre y así mismo minimizar los daños al ambiente (Metcalf & Eddy, 1981).

Para el cumplimiento de los objetivos, el tratamiento de aguas residuales contempla los siguientes criterios a ejecutar:

- Remoción de DBO

- Remoción de sólidos suspendidos
- Remoción de patógenos
- Remoción de nitrógeno y fosforo
- Remoción de sustancias orgánicas refractarias como detergentes o pesticidas
- Remoción de sustancias disueltas

De este modo, la complejidad del sistema de tratamiento es en función de los objetivos que se tengan propuestos. Se debe tener en cuenta que el gran número de operaciones y procesos disponibles de tratamiento de aguas es común hablar de *pre tratamiento*, *tratamiento primario*, *tratamiento secundario* y *tratamiento terciario* o *avanzado* de aguas residuales (Metcalf & Eddy, 1981).

En general el pre tratamiento tiene como objetivo, remover del agua residual los constituyentes que puedan ser un problema para la operación y mantenimiento en los procesos posteriores, o que en cierto casos no pueden tratarse de manera conjunta con los demás componentes del agua residual.

El tratamiento primario hace referencia a la remoción parcial de sólidos suspendidos, materia orgánica u organismos patógenos, mediante sedimentación u otro medio, y conforma un método de preparar el agua para el tratamiento secundario. Por lo general, este tratamiento remueve cerca del 60% de los sólidos suspendidos del agua residual cruda y entre el 35% y 40% de la DBO.

El tratamiento secundario se utiliza principalmente para la remoción de DBO soluble y sólidos suspendidos e incluye, los procesos biológicos de lodos activados, filtros percoladores, sistemas de lagunas y sedimentación.

El tratamiento terciario o avanzado, se aplica para remover nutrientes para la prevención de la eutrofización de las fuentes receptoras o para mejorar la calidad de un efluente secundario con el fin de adecuar el agua para ser reutilizada (Metcalf & Eddy, 1981).

- Aguas Residuales Industriales

En general pueden definirse como consistentes de agua de servicios públicos o privados de abastecimiento que llevan consigo productos de desecho o desperdicios ocasionados por los diferentes tipos de industria (Hernández, 1998).

Los problemas de la evacuación de desechos industriales y su relación con el saneamiento público, están creciendo en tal grado, que para su solución se requiere de conocimiento especializado de los procesos industriales.

El problema de la evacuación de las aguas residuales industriales o desechos industriales se puede considerar desde tres puntos de vista:

- Del Fabricante
- Del Público
- Del Ecólogo o Ingeniero

Desde el punto de vista del fabricante, los desechos de su industria, son una carga que tiene que eliminar al menor costo y con mayor rapidez posible. En algunas ocasiones, el desecho o residuo puede tener algún valor cuya recuperación será económica; en estos casos no hay ningún problema de evacuación para el público.

Desde el punto de vista del público, los desechos de las industrias pueden causar daños en los sistemas de alcantarillado y en las instalaciones de tratamiento, aumento de las dificultades y costos de tratamiento de las aguas residuales y también contaminar las corrientes de agua, de tal manera que las inutilizan para fines comerciales, domésticos o recreativos.

Desde el punto de vista del ecólogo, el problema comienza en la fábrica, donde debe aplicar sus conocimientos para contribuir a reducir el volumen y la capacidad de contaminación de los residuos generados por la industria.

Los residuos de naturaleza industrial dependen de los procesos en los cuales se originan. Las aguas residuales industriales varían en su naturaleza desde la relativamente limpia agua de lavado hasta desperdicios en solución que tienen un alto contenido de materia orgánica o mineral o sustancias corrosivas, tóxicas inflamables y hasta explosivas (Figura 2).

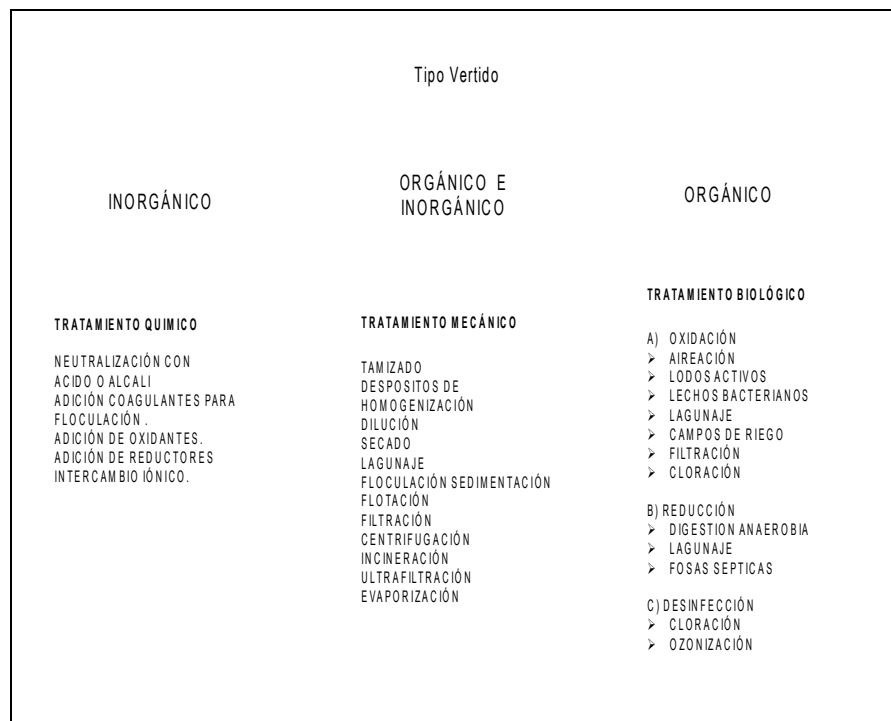


Figura 2. Tratamiento de Aguas Industriales (Fuente: Hernández, 1998).

- Consideraciones Sobre los Vertidos Industriales

Para las industrias, la generación de contaminación, el tratamiento y eliminación son partes integrantes de la estrategia y costo de fabricación. Existen dos aspectos fundamentales a contemplar, el incremento de coste del producto y los efectos de la contaminación residual sobre el medioambiente (Hernández, 1998).

Las características de los vertidos industriales son, por un lado la variación en caudal y cargas entre distintos procesos industriales, e incluso dentro de cada uno de los procesos, en función del tiempo.

Las dificultades se presentan en el momento de tratar dichos vertidos, del mantenimiento y explotación de las instalaciones y del control adecuado.

La preocupación generalizada sobre estos vertidos, hace referencia en principio a los vertidos tóxicos, persistentes o bioacumulativos, que marcan las prioridades para su identificación, reducción o eliminación (Hernández, 1998).

Para el cumplimiento de dichas consideraciones se deben tener en cuenta los siguientes principios referentes al medio ambiente:

- La primera acción es impedir la aparición de la contaminación. El proceso técnico de la industria debe tener en cuenta la protección del medioambiente y la calidad de vida. Esta consideración debe tener en cuenta su compatibilidad con el desarrollo económico y social.
- Los efectos sobre el medioambiente deben considerarse en las distintas etapas de planificación y toma de decisiones.
- El costo para la prevención o eliminación de la contaminación y sus efectos debe, en principio, ser abonado por el contaminador.
- El éxito de la política ambiental presupone que todas las categorías de la población y todas las fuerzas sociales ayuden a proteger y mejorar el medioambiente.
- En relación con los vertidos industriales debe establecerse la mejor solución técnica y económica.
- Deben eliminarse los vertidos tóxicos, persistentes y bioacumulantes, presentando atención especial en la relación con su acción sobre las aguas.

- Generación y Procedencia de los Lodos Residuales Industriales

Los lodos pueden generarse en tratamientos primarios, secundarios y en los tratamientos avanzados.

Este subproducto de las aguas residuales, pueden ser clasificados en líquidos y sólidos. El lodo líquido es definido como cualquier lodo que tiene la capacidad de fluir y puede ser transportado por una bomba de lodos. El lodo sólido, es definido como aquel ha sido mecánicamente desaguado o secado (Soárez, 1998.)

La preocupación actual en relación con los lodos es intentar reducir su volumen y que los compuestos y elementos que contienen estén en concentraciones para poder gestionarlos sin problemas ni impactos ambientales negativos (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2005).

Los objetivos en los procesos de generación de lodos se basan en la eliminación del máximo posible de elementos de las aguas residuales. En general, el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales separa claramente las líneas de agua y de lodo. En consecuencia, el diseño de los sistemas de tratamiento deben optimizar la eliminación de materiales en función de:

- Una eliminación máxima de contaminantes del agua
- Un mínimo de costes, traducible en el menor gasto posible de energía

Los procesos a contemplar en relación con los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales son entre otros (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2005).

- Grandes concentraciones humanas e industriales y, en consecuencia, grandes volúmenes de lodos arrastrados por las aguas residuales en los colectores que se dirigen a las estaciones depuradoras.
- Variación en los contenidos orgánicos e inorgánicos de cada vertido, dependiendo del tipo de población, de su nivel de vida, de la época del año, del grado de industrialización, del consumo, etc.
- El nivel de vida actual, las exigencias de calidad ambiental, y el derecho al disfrute de un bienestar físico y psíquico, marcan sin duda directrices sobre la necesidad de tratamiento y eliminación de lodos.
- La escasez de recursos, como los abonos y recursos energéticos, obliga a replantearse la necesidad de reutilización de subproductos, buscando la posibilidad de uso como abono y la posibilidad de recuperación energética.
- Los procesos de depuración de las aguas residuales dependen de las características de los vertidos, los volúmenes del vertido y de su variación diaria. Es por esto que procesos diferentes dan origen a distintos tipos de lodo.
- La normativa existente, considerando los aspectos sanitarios sobre el ser humano, sobre los cultivos, sobre el medioambiente, serán los condicionantes para el proceso de tratamiento en sí, de su eliminación o reutilización.
- Los aspectos económicos, teniendo en cuenta las obras e instalaciones, los gastos de mantenimiento y explotación, los gastos de gestión y control, sin duda ajustarán las soluciones a adoptar.

De este modo, se puede decir, que el tratamiento de lodos y su destino final constituyen el punto fundamental a contemplar en el estudio y proyecto de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales ya sea de tipo industrial o domestico. Sin embargo, pocas veces se realiza una planificación correcta de la planta, y de forma más concreta del tratamiento de los lodos (Hernández, 1998).

Es por ello que se puede determinar que los lodos son:

- Un subproducto no deseado que solo presenta problemas.
- Dada la situación actual social, técnica y económica, exige la reutilización de los lodos, buscando su uso posterior como abono, o bien sea como potencial energético.

No debe olvidarse que, ya sea de forma natural o artificial, son los millones de microorganismos existentes en los lodos con su actividad metabólica los que garantizan los ciclos esenciales de nitrógeno y carbono, dentro de unas condiciones de presión y temperatura y de unas características en las aguas, que no impidan la acción enzimática (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2005).

- Tipos de Lodos y sus Propiedades

Los conocimientos científicos justifican la utilización de dicho subproducto y señala, posibles formas de superar los problemas del vertimiento sobre terrenos y los efectos que conlleva (Metcalf & Eddy, 1981).

Existen diversos tipos de lodos, según el proceso de tratamiento se obtienen los siguientes subproductos:

- Lodos de decantación primaria. Son generalmente de consistencia limosa y color de marrón a gris, volviéndose sépticos y generando mal olor con gran facilidad.
- Lodos de precipitación química. Son de color negro y su olor, aunque puede llegar a ser desagradable, lo es menos que los correspondientes a una decantación primaria.
- Lodos de tratamiento secundario. Son de color marrón, relativamente ligeros, y por estar bien aireados, no suelen producir olor con tanta rapidez como los lodos primarios. Sin embargo, sino se encuentran lo suficientemente aireados, su color se oscurece y producen un olor tan fuerte como el lodo primario.
- Lodos de lechos bacterianos. Son de color marrón y no producen olores molestos si están frescos. Se degradan a una velocidad menor que los lodos procedentes del sistema secundario, salvo en el caso que contengan organismos superiores (por ejemplo gusanos), y en cuyo caso si se pueden dar olores rápidamente.

- Lodos digeridos. Son de color negro y tienen olor a tierra. Este lodo tiene origen en los procesos de digestión aeróbica. Generalmente contienen una proporción de materia orgánica entre el 45 y 60 %.

Así mismo, existen una serie de condicionantes para su aplicabilidad:

- Contenido de metales que pueden llevar a valores límites de toxicidad, desconociéndose en muchos casos los efectos reales de concentración de metales depositados en el suelo sobre las plantas.
- Presencia de patógenos y semillas indeseables que puedan hacer inutilizable el lodo en ciertos casos.

La disposición de los lodos, sin reutilizar, tiene como límite la admisibilidad de la biosfera para recibirlos.

- El vertido al mar de los lodos puede hacerse de forma líquida, después de digerir el lodo. Se recomienda su vertido en costas o aguas profundas. Debe considerarse que el mar también tiene sus límites como receptor de residuos.
- El depósito en escombreras de estudiarse en unión con la eliminación de residuos sólidos.
- La incineración de los sólidos, requiere igualmente un pre secado de los lodos, consumo de energía y presenta un peligro de contaminación atmosférica según el tipo de incinerador utilizado.
- El acondicionamiento químico del lodo requiere del empleo de grandes dosis de cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o de cloruro férrico (CL_3Fe), lo que supone un costo elevado de eliminación.

Otras consideraciones importantes irán dirigidas a la recuperación energética, buscando la utilización del gas metano, producido en la digestión anaerobia del tratamiento de lodos residuales (Metcalf & Eddy, 1981).

- Tratamiento de Lodos Residuales

En los procesos de tratamiento de aguas, los contaminantes separados en el proceso de depuración se concentran en forma de lodos. Este residuo tendrá unas características diferentes según las características del agua tratada. El primer paso para tratar los lodos es deshidratarlos para disminuir su volumen, a partir de ahí se pueden seguir diferentes tratamientos (Metcalf & Eddy, 1981).

- Recuperación de reactivos químicos presentes para su reutilización
- Generación de biogás y aprovechamiento del poder calorífico para generación de calor y de energía eléctrica
- Utilización como abono orgánico
- Recogida en un vertedero autorizado

- Disposición de los Lodos Residuales

La disposición de los lodos se está volviendo más importante cada año debido a la cantidad de lodos generados por los procesos de tratamiento mejorados. En pequeñas poblaciones el lodo, se deja que los residentes locales lo tomen como fertilizante. En algunas ciudades se procesa el lodo para ser comercializado como fertilizante. En un número creciente de casos, se compran terrenos para la disposición en gran escala de los lodos, con el crecimiento de cosechas como una consecuencia de dicha aplicación. Los efectos a largo plazo sobre el suelo deben estudiarse para cada caso en particular (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2005).

En muchas ciudades se usan incineradores para deshacerse de los lodos generados por las aguas residuales, desaprovechando este subproducto en grandes cantidades (Kemmer, 1989).

Existen como dos grandes soluciones generales básicas, o se tiende a una recuperación, o se realiza una estricta eliminación sin recuperación alguna. De esta consideración surgen las primeras alternativas en el proceso de lodos.

Recuperación.

Utilización en agricultura como abono	Digestión aerobia. Digestión anaerobia
Recuperación de terrenos agotados	Digestión aerobia. Digestión anaerobia
Recuperación de energía eléctrica, mecánica y calorífica	Incineración
Compostaje	Sin digestión

Eliminación sin recuperación

Vertido al mar	Sin digestión Digestión aerobia Digestión anaerobia
Vertido a un cauce superficial Relleno de terrenos, escombreras	Digestión aerobia Digestión anaerobia Sin digestión

Tabla 1. Posibles soluciones a adoptar y alternativas de tratamiento (Fuente: Hernández, 1998).

1.2. MÉTODO DE TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES (Compostaje)

- Producción de Compost

La historia de este tratamiento de residuos se ha llevado a cabo, entre la gran expectativa por querer aprovechar la energía y nutrientes contenidos en plantas y animales como, el pretender imitar a la naturaleza que recicla y no acumula residuos, y también por la desilusión producida por ciertos resultados desfavorable de las instalaciones donde es implementado, generando cierta desconfianza por parte de los posibles usuarios del compost (Moreno, 2008).

La evolución del compostaje, puede considerarse como un antiguo arte o como una ciencia moderna. Con el paso del tiempo, sus principios se han transformado como parte del desarrollo y los intereses de la sociedad.

El arte del compostaje es muy antiguo y sus fundamentos básicos han sido usados a lo largo de los siglos con distintas intensidades dependiendo de la situación económica y social presente en cada época. En los últimos años, esta actividad viene tomando gran interés, como causa del crecimiento acelerado de generación de residuos, problemas de suelos con deficiencia de materia orgánica, falta de espacios disponibles y habilitados para ubicar vertederos y adicionalmente con la creación de medidas ambientales restrictivas que prohíben ubicar ciertos residuos (lodos residuales) en los vertederos sin previo tratamiento (Moreno, 2008).

El compostaje es producto de la degradación biológica controlada de materiales orgánicos hasta el punto de formar un compuesto estable, de coloración oscura, textura suelta y con un olor a tierra similar al humus, denominado compost. Es un proceso dinámico, biológico, aerobio y de carácter termófilo, que para llevarse a cabo requiere: materia orgánica, población microbiana inicial y las condiciones óptimas para que esta se desarrolle con diversidad de funciones y actividades sinérgicas (Moreno, 2008). (Figura 3).

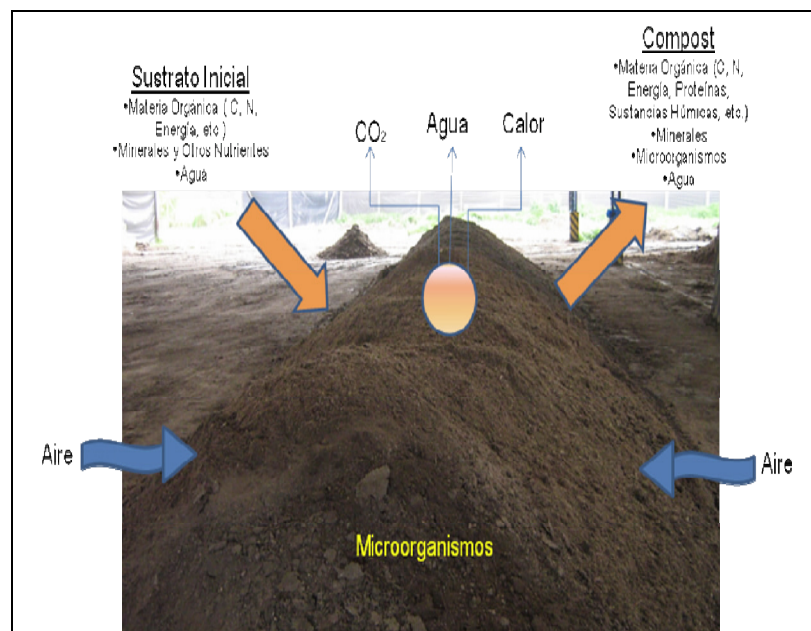


Figura 3. Esquema general del proceso de compostaje. (Esquema adaptado de Moreno, 2008).

Para que ello ocurra y para que la población microbiana sea lo más variada posible, se deben mantener una serie de equilibrios tales como: aire/agua y nutrientes principalmente.

De mantenerse este equilibrio se logrará conseguir:

- Eficiencia en el proceso
- Reducción al mínimo de emisiones y de las pérdidas de nutrientes
- Un producto final con características adecuadas para su destino

Este proceso puede ser realizado por la vía aerobia o anaerobia. Adicionalmente el residuo debe ser separado en origen para obtener compost de buena calidad (Moreno, 2008).

Para que la práctica de compost presente resultados favorables, se deben tener en cuenta una serie de aspectos para que de manera objetiva se determine su efectividad:

- Ambientales: Consumo de agua y energía, emisiones gaseosas, generación de rechazo, impacto ambiental, entre otros.
- Económicos: Inversión, coste de gestión y amortización, vida media, consumo de agua y energía, necesidades de personal y rendimientos de la actividad.
- Sociales: Aceptación, calidad del producto final, participación, coste del tratamiento, generación de molestias, ahorro de vertederos y de recursos naturales.
- Técnicos: Posibilidad de aplicación, tipos de residuos, exigencias iniciales, del procesos y del producto final, necesidades de control y existencia de experiencia.

El compostaje se realiza con el objetivo de devolver el residuo al ciclo de producción como fertilizante o mejorador de suelo. El control del proceso de compostaje se centra en la homogenización y mezclado del residuo junto con aireación y a menudo, rehumectación. Como ocurre con cualquier proceso industrial, la calidad final del producto queda sujeta a la calidad de las materias primas implementadas (Moreno, 2008).

En general pueden dividirse los métodos de compostaje en dos grandes grupos, sin aireación forzada o con aireación forzada (Tabla 2.).

Método	Alimentación y volteo	Tipo de instalación
Sin aireación forzada	Discontinuo y estático	Lecho Pila
Con aireación forzada	Discontinuo y estático	Pila aireada Cubierta semi-permeable Contenedor/Túnel estático
	Continuo y agitado	Lecho volteado Canales Túnel volteado Torre multi-pisos Tambor

Tabla 2. Caracterización del método de compostaje. (Fuente: Moreno, 2008.)

Según Moreno (2008), el compost producto de la actividad aerobia, acelera los procesos de descomposición del material orgánico y así mismo permite la obtención de altas temperaturas, las cuales son necesarias para la eliminación de patógenos. Por su parte, el compostaje anaerobio va acompañado de malos olores por lo cual es poco común hacer este tipo de compost. La acción de compostaje busca principalmente 3 objetivos:

1. Conversión biológica del material orgánico putrescible en un compuesto estable.
2. Destrucción de patógenos debido a las altas temperaturas alcanzadas durante el proceso.
3. Reducción másica del material húmedo, por medio de la remoción de agua y de sólidos totales volátiles.

En la actualidad existen diversas maneras de realizar compostaje aerobio de lodos, los cuales van desde practicas muy artesanales hasta procesos con tecnología de punta, los cuales son muy costosos. Pero en términos generales, todos los métodos de compostaje incluyen las siguientes operaciones básicas:

- Mezclado del material llenante con lodo
- Descomposición microbial del material orgánico (compostaje)
- Clasificación del material
- Recirculación del material grueso
- Curado del material fino
- Almacenamiento y comercialización

Para que el proceso de compostaje tenga un funcionamiento optimo, se deben controlar algunas condiciones que presentan incidencia directa sobre el proceso, tales como temperatura, pH, aireación, contenido de humedad y relación carbono/nitrógeno (Moreno, 2008).

De este modo, el lodo resultante de la PTAR, será tratado y aprovechado para convertirlo en compost. Este material es volteado a intervalos por medios mecánicos (maquinaria especial), es aireado intensamente para proveer de oxígeno, homogenizar la temperatura y reducir la presencia de patógenos, así mismo se logrará la estabilización del material para compost (Romero, 2002).

Este proceso de compostaje se debe llevar a cabo en una zona espacial en donde se pueda controlar la pérdida de calor, del contenido de agua y de los olores producidos por el compost.

La principal característica de la generación de compostaje, es la generación de calor por la actividad biológica que desarrolla durante la descomposición del material (lodo residual). Este calor, al no ser liberado, no solamente acelera el proceso de degradación sino que de igual forma reduce los niveles de patógenos presentes (Arundel, 2000).

Para que se puedan llevar a cabo las diferentes fases del compostaje, se deben mantener las variaciones térmicas indicadas junto con las reacciones metabólicas predominantes para que las cuatro fases del compostaje sean exitosas (Figura 4). (Moreno, 2008).

1. Fase mesófila (10 - 42° C)
2. Fase termófila (45 – 70° C)
3. Fase de enfriamiento o segunda fase mesófila
4. Fase de maduración

Las variaciones de temperatura durante el compostaje, permiten el desarrollo de poblaciones microbianas, se generan modificaciones en las propiedades físico-químicas de los sustratos y contribuye con la eliminación de microorganismos patógenos.

En adición a las cuatro fases mencionadas, se puede dividir el proceso de compostaje en dos grandes fases que corresponden a los niveles de actividad microbiana y sustratos disponibles (Moreno, 2008).

- Fase bio-oxidativa: Aquella donde existe una elevada disponibilidad de nutrientes.
- Fase de maduración: Es en donde la actividad microbiana disminuye y los nutrientes son limitados.

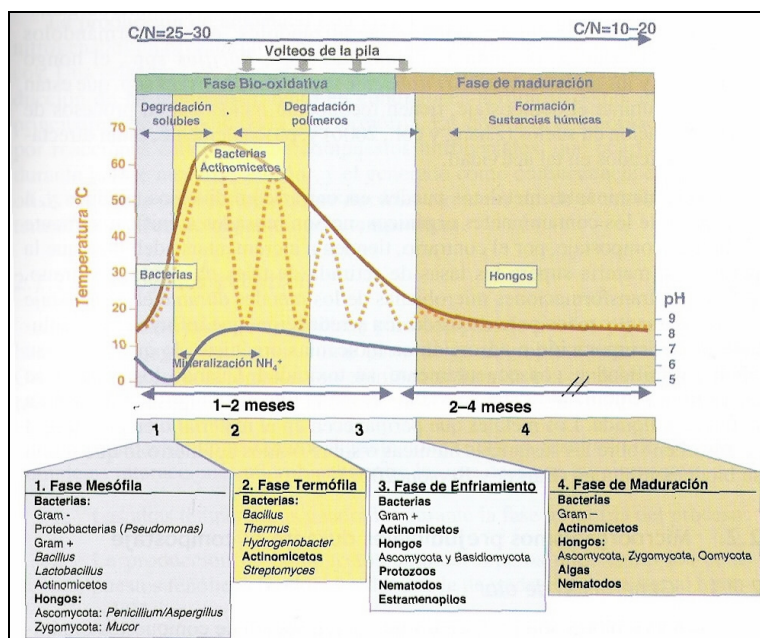


Figura 4. Fases y variaciones térmicas durante el proceso de compostaje. (Fuente: Moreno, 2008).

Los microorganismos presentes en el proceso de compostaje suelen ser bacterias, hongos y actinomicetos, los cuales tienen las facultades de metabolizar sustancias simples y complejas. Las bacterias son las que llevan a cabo la mayor degradación del material orgánico, actuando tanto en la

fase mesófila (<40°C) como en la fase termofílica (>40°C) en donde se encargan de descomponer azúcares, proteínas, lípidos y grasas entre otros (Moreno, 2008).

Es por esto que las bacterias son las responsables de las altas temperaturas presentes durante el compostaje.

Los hongos están presentes igualmente en las dos fases y su función es la de metabolizar sustancias. Principalmente se desarrollan en la parte exterior de las pilas de compostaje debido a su naturaleza aerobia.

Los actinomicetos son los encargados de la degradación de azúcares, almidones, ligninas, y ácidos orgánicos entre otros. (Moreno, 2008).

Existen otros factores para el buen desarrollo de la producción de compostaje, como lo es la proporción carbono/nitrógeno que se debe mantener en una relación de 30:1, el contenido de agua debe estar entre 50% y 60%, y el intervalo de pH debe oscilar entre 6 y 9.

Los lodos procedentes de actividades agrícolas, ganaderas y de ciertas actividades industriales, presentan una baja relación de C/N y por ello son propensas a la liberación de nitrógeno en forma de amoníaco; esto conlleva a la generación de malos olores. Es por esto que se requiere de un agente de relleno (aserrín, paja, desechos biodegradables, entre otros) que ayude a aumentar el volumen de la composta y contribuya con la relación C/N para el control de olores (Moreno, 2008).

Este material se debe disponer, ya sea en bancadas o en pilas que serán volteadas mecánicamente. Es necesario darle al menos una vuelta al material para evitar que la temperatura alcance los 70 u 80°C, lo cual será mortal para la mayoría de los microorganismos presentes, entre ellos las bacterias termofílicas y hongos, los cuales son la base de este proceso (Arundel, 2000).

Para su adecuada disposición se debe contar con un espacio amplio para que la liberación de malos olores no genere inconvenientes. Este método se considera muy “ecológico y verde” para el tratamiento de lodos provenientes de aguas residuales.

Dicho producto, luego de ser mezclado con el aserrín u otro compuesto, presenta un mercado potencial de venta en tiendas agrícolas y de productos de jardinería. En países como el Reino Unido, estos lodos tratados son utilizados en silvicultura, como estabilizadores de suelo, para embellecimiento o nivelación de parajes, rehabilitación de terrenos abandonados, trabajos de arquitectura paisajística y para la formación de la capa de rodamiento de carreteras (Arundel, 2000).

El principal criterio para la obtención de un compostaje de buena calidad, se basa en la producción de un material poroso, que se encuentre estructuralmente estable, que presente un material orgánico biodegradable necesario, para que la reacción de descomposición sea sostenible, con lo

que se busca que el calor originado en la oxidación del material volátil, incremente la mezcla a la temperatura de reacción necesario y conlleve al grado de secamiento o deshidratación necesario (Moreno, 2008).

1.3. LA BIOTECNOLOGÍA COMO MEDIO PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL

La biotecnología es la ciencia biológica aplicada que emplea procesos naturales y, al mismo tiempo, busca eliminar la contaminación. Este campo se caracteriza por rápidos cambios y nuevos avances técnicos en las industrias.

El costo que implica implementar esta tecnología, se convierte en la principal razón para no ser implementada y generar el cambio, pero con los recientes avances generados en este campo se ha ido modificando este paradigma (Freeman, 1998).

Gracias al uso de procesos biológicos, los materiales vuelven a su ciclo dentro de los ecosistemas sin que haya existido un uso disipado del material o algún efecto en el ecosistema global.

- Posibilidades y Ventajas de la Biotecnología

Son varios los campos en los que han quedado demostradas las ventajas de lo biológico o natural sobre lo químico o artificial (Freeman, 1998).

Algunos de los procesos en los que la biotecnología ya se encuentra en uso, son la producción de alimentos y bebidas, la producción de moléculas orgánicas con fines medicinales y en la degradación o tratamiento de sustancias tóxicas diluidas en el medio ambiente (desechos industriales en el aire, en el agua y en el suelo).

Los beneficios de los procesos biológicos son innumerables y la cantidad de aplicaciones prácticas se incrementan con el paso de los años. Son muchas las necesidades sociales que la biotecnología puede satisfacer, como es el caso de los biocombustibles o la utilización de residuos como abonos orgánicos entre otros (Freeman, 1998).

- Transferencia de Tecnología

El mejoramiento de la competitividad de los sectores productivos del país, es una de las claves para acelerar las tasas de crecimiento económico y, a su vez, es la mejor opción que tiene nuestra sociedad para asegurar el avance sostenido de las condiciones de vida de nuestra población. Es por ello que la innovación, la calidad, el dominio del conocimiento científico y la capacidad de convertirlo en industria, surgen como determinantes fundamentales de la competitividad en nuestros tiempos (Colciencias, 1992).

Las empresas que alcanzan los más altos estándares de competitividad internacional son las que logran las más altas tasas de rentabilidad y de crecimiento, gracias a la preocupación por la eficiencia, a un monitoreo obsesivo del mercado y el dominio del conocimiento tecnológico.

La tecnología y la calidad son la estrategia corporativa a largo plazo. Mediante la apropiación del conocimiento científico y tecnológico y de políticas de calidad total, se generará una competitividad sostenible, para llegar a nuevos mercados y permanecer en ellos (Sánchez, 1994).

De igual manera, se requieren políticas gubernamentales que fomenten la innovación, teniendo en cuenta que el sector empresarial necesita el mismo “instrumental” de apoyo que poseen las empresas de otros países con los que, por obligación, se debe competir.

Es por esto que la mejor política de reconversión y modernización es la que propicia el desarrollo empresarial, con el fin de innovar y producir bienes de alta calidad y diseño (Colciencias, 1992).

El Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico Industrial y de Calidad propone a los industriales colombianos una serie de estrategias para mejorar su competitividad y tener mejores beneficios, entre las que se encuentran: *La aparición y adaptación de tecnología en la empresa* (Los empresarios deben descubrir qué tecnologías refuerzan su estrategia competitiva y diseñar los planes de desarrollo y apropiación), *la investigación precompetitiva en forma cooperativa* (La modalidad para enfrentar el desarrollo tecnológico estratégico que demanda altas inversiones), la *Transferencia internacional de tecnología* (Los países que tienen éxito en la competencia internacional son los que están abiertos a la transferencia de tecnología y a la difusión rápida del conocimiento) (Colciencias, 1992).

Colombia se ha caracterizado por ser importador mayoritario de bienes de capital, pero este esfuerzo no ha estado acompañado de transferencia de la tecnología desincorporada y tampoco se ha vinculado la transferencia de tecnología a los procesos de asimilación, adaptación y desarrollo tecnológico interno.

Para la modernización se requiere apoyo en el fortalecimiento de la capacidad científica, la innovación y la transferencia de tecnología que tiene como base fundamental una adecuada gestión industrial, de los investigadores y del Estado (Colciencias, 1992).

- Colombia

En América Latina, las plantas de tratamiento de aguas residuales, en su mayoría, han sido copias modificadas de las que usan los países industrializados. Esto, se debe a que el desarrollo comercial de estos países ha impulsado el uso de equipos producidos por ellos, los cuales son exportados conjuntamente con la tecnología que los origina (Cepis, 1981).

La evolución histórica de la industria colombiana se ha caracterizado por un estilo de desarrollo proteccionista, debido a una estructura reguladora que promovió el crecimiento acelerado de los vertimientos incontrolados de aguas residuales, las emisiones atmosféricas y la generación de residuos altamente tóxicos (Sánchez, 1994).

Las causas de degradación del ambiente en el país son diversas. Por una parte, el Estado no ha ejecutado las inversiones requeridas en sistemas de tratamiento de aguas residuales o de disposición de residuos sólidos y, por otra, el sector productivo actúa sin control efectivo y con tecnologías poco eficientes, generando desequilibrios ecológicos y descargando residuos de toda clase, sin el tratamiento o control adecuado (Sánchez, 1994).

No obstante, una instalación industrial (una planta de tratamiento debe considerarse como tal), por ejemplo, no puede operar adecuadamente, si necesita para su funcionamiento de un nivel tecnológico más elevado que el que posee el país donde se construye.

En Colombia, como ocurre en la mayoría de países del mundo, el desarrollo y crecimiento de las ciudades, junto con las zonas industriales, han traído como consecuencia la generación de elevadas cantidades de residuos de diferente índole que, a su vez, afectan de manera directa la calidad de vida de sus habitantes. En el país, esta problemática se ve reflejada en extensas hectáreas de suelos improductivos; diversos ecosistemas destruidos por intervenciones y cuerpos de agua deteriorados a causa de los vertimientos contaminados y que deben ser tratados de manera eficiente (Panayotou, 2003).

- Bioactivador Celular Natural. BIO-KAT T.M. (NRP Inc., 2004).

Esta biotecnología, se encuentra compuesto principalmente por extractos naturales de algas marinas, aminoácidos seleccionados y vitaminas naturales que desempeñan un papel importante en la absorción del producto. Bio-Kat, mejora el proceso que estimula la actividad celular, al llevar a las bacterias a su nivel óptimo de desarrollo de una manera segura y rápida (NRP Inc., 2004).

El bioactivador celular natural, no es una bacteria, o una enzima, es un producto líquido, que ofrece mejores ventajas competitivas ante la gran diversidad de mercados. Es un estimulante metabólico 100% natural y libre de bacterias que proporciona a los bio-sólidos deficientes por naturaleza con los micro-nutrientes y las enzimas intra-celulares que incrementan el metabolismo de los organismos autóctonos.

Este producto es ambientalmente y físicamente seguro.

Con la introducción de la biotecnología “bioactivador celular natural, Bio-Kat”, a un sistema de tratamiento de agua residual, se presentará un mejoramiento notable en la actividad biológica tanto aerobia como anaerobia (NRP Inc., 2004).

Mediante la implementación del bioactivador celular natural, esta ayuda a resolver problemas ambientales específicos, llevando a reducciones significativas en los siguientes parámetros (NRP Inc., 2004).

- Grasas y Aceites
- Reducción de olores
- DBO y DQO
- SSVT y SST
- Acido Sulfhídrico
- Corrosión
- Mejor Sedimentación
- Lodos
- Reducción de bio-sólidos, lo que está directamente relacionado con los costos de la disposición final de los lodos.
- Saneamiento ambiental, mediante la inhibición de microorganismos patógenos. Efectividad contra el desarrollo de: *stafilococcus aureus*, *escherichia coli*, *pseudomonas aeruginosa*, *streptococcus faecalis*, y *salmonellae*, entre otros).

- Como Funciona el Bioactivador Celular (NRP Inc, 2004).

1. Biológicamente, actúa como un activador celular. Incrementa la actividad metabólica de los microorganismos, por lo que es responsable de la reducción de los niveles de nutrientes por unidad de tiempo en aguas residuales y/o en lodos residuales.
2. Bio-Kat es producto de extractos naturales de plantas junto con otros productos naturales que estimulan el crecimiento. El producto cumple con todos los requerimientos de La USEPA basado en pruebas de laboratorio certificadas (Certificado EPA).
3. Al incrementar la actividad biológica de los microorganismos, el producto causa directamente que los organismos consuman más alimento (nutrientes) en un determinado período de tiempo. Esto conlleva a 3 factores de gran importancia:

- Producción de gas
- Producción de energía celular (calor)
- Producción de masa de microorganismos (crecimiento)

Esto da como resultado, la reducción total de la carga orgánica, una disminución de los sólidos totales y una reducción de la DBO. Una notable reducción en el volumen de los lodos principalmente en las aguas residuales es el resultado de la utilización de los nutrientes por unidad de tiempo.

Con la estimulación de las bacterias presentes, estas conllevan a la reducción de grasas y aceites que se presentan tanto en los sistemas de bombeo como en los colectores.

Mediante el incremento de la respiración de las bacterias (principalmente las bacterias aerobias), esta biotecnología ha demostrado ser eficiente en la reducción de los niveles de sulfuro de hidrogeno, causante del mal olor en las áreas sépticas donde se encuentran los lodos (NRP Inc., 2004).

- Comparación con otros productos (NRP Inc., 2004).

- Comparación Con Productos Químicos

A diferencia del bioactivador celular:

Después de usar agentes químicos, residuos de los mismos permanecen en el ambiente y pueden causar efectos colaterales e incluso contaminación peligrosa.

Los productos químicos pueden controlar los malos olores, pero no pueden eliminar ni convertir los agentes que lo causan, ni absorber las emanaciones.

- Comparación con los Tratamientos Biológicos Tradicionales (NRP Inc., 2004).

El bioactivador celular consigue resultados mejores y más rápidos en:

Reducción drástica de los malos olores.

Metabolización rápida de las aguas residuales y de la materia orgánica que se traduce en:

Aceleración del proceso de tratamiento.

Reducción del volumen de los lodos residuales.

Eliminación de costras y fenómenos de corrosión.

Metabolización y eliminación de grasas y aceites.

- Comparación con Productos Similares (NRP Inc, 2004).

Comparado con otros productos biológicos, este es más efectivo:

Su fórmula es variable y puede ser aplicado en gran variedad de casos.

Su composición permite estimular gran número de diversos microorganismos, los cuales pueden operar en condiciones aerobias y anaerobias, incluso en presencia de agentes contaminantes.

Mantiene sus características y actividad en un amplio margen de temperatura y niveles de pH.

Durante el tratamiento de las aguas residuales, reduce tanto la cantidad de los residuos generados en el proceso, como el consumo de oxígeno (DBO₅).

La cantidad de producto requerida se va reduciendo a medida que el tratamiento avance, gracias al aumento de efectividad progresivo, determinado por el crecimiento exponencial de las colonias de microorganismos útiles.

No es tóxico ni corrosivo, no tiene contraindicaciones y no requiere precauciones particulares para su empleo.

Lo que se busca con la aplicación de la biotecnología Bio-Kat, es permitir que los lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales puedan alcanzar un nivel óptimo de calidad. De otra parte, su aplicación podrá incrementar la capacidad de operación de la planta.

Esto puede traer beneficios adicionales en términos de costos de energía, químicos, mantenimientos y en ciertos casos puede postergar la necesidad de realizar grandes inversiones en el mejoramiento de la infraestructura para el tratamiento, manejo y disposición de lodos (NRP.Inc., 2004).

De este modo, la biotecnología “Bioactivador celular natural Bio-Kat”, puede ser aplicado e implementado en diversos sectores como:

Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

Sistemas de Recolección

Agricultura

Acuicultura

Aplicaciones Industriales

Residuos Sólidos

2. INDUSTRIA LACTEA

La industria láctea representa un importante sector dentro de la industria alimentaria y a su vez su contribución material en términos de contaminación de las aguas receptoras, es sumamente importante, lo que hace necesario y obligatorio el tratamiento previo de sus desechos líquidos y sólidos, antes de su vertimiento (Tirlone, 1992).

Aun no siendo la de mayor valor desde el punto económico, es probablemente la más ampliamente distribuida de todas las que crean problemas de evacuación de residuos.

Sus productos son muy concentrados y de tanta capacidad de contaminación por polución, que nos es posible descargarlos, sin discriminación, en las corrientes de agua naturales.

Esta industria láctea genera cantidades significativas de residuos líquidos, los cuales se convierten en su principal fuente de contaminación. Dichos residuos están cargados de grasas, aceites, sólidos suspendidos y nitrógeno amoniacal, entre otros. La descarga de éstos a un cuerpo de agua superficial sin previo procesamiento conllevará inevitablemente en un foco contaminante (Tirlone, 1992).

A partir de una materia prima única la industria láctea elabora una gran variedad de productos, utilizando diversos procesos de fabricación. En todos los procesos, las aguas residuales de esta industria, son generalmente neutras o ligeramente alcalinas, pero presentan una tendencia a volverse ácidas en un breve lapso de tiempo a causa de la fermentación del azúcar presente en la leche, convirtiéndola en ácido láctico (Nemerow, 1971).

Los residuos que se obtienen en el tratamiento de la leche y en la elaboración de los productos que de ella se derivan, pueden clasificarse en residuos domésticos, aguas de refrigeración, productos alterados o excedentes de leche desnatada, suero o leche de manteca; goteos, escapes y agua de los primeros lavados; y aguas de lavado alcalinas.

Tales residuos deben separarse antes de su tratamiento, para así reducir al mínimo los problemas relativos a dicho tratamiento (Arango, 1968).

Otra serie de residuos de gran importancia y los cuales generan problemas de contaminación y de manejo son aquellos productos rechazados y que son devueltos a las empresas; entre estos, se encuentran productos lácteos, cremas, quesos, etc. La devolución o rechazo de productos de esta industria, puede ocurrir por diversas causas, ya sea porque han caducado o por no cumplir con los estándares microbiológicos (Tirlone, 1992).

Durante muchos años se ha insistido en la importancia de la reducción del consumo de agua, de materias primas y demás productos dentro de las industrias como un primer paso para la reducción de costos y un mejoramiento en el tratamiento de los efluentes; en el caso de la industria láctea, son enviadas grandes cantidades de agua y materias primas a los sistemas de colección y tratamiento de aguas (Radsiminski, 1989).

2.1. ORIGEN DE LOS RESIDUOS DE LA INDUSTRIA

Según Radsiminski, las principales fuentes de aguas residuales en la industria láctea son:

- Lavado y limpieza de productos remanentes que quedan en los camiones transportadores de leche, cantinas, tuberías, tanques y demás equipos relacionados directamente con la producción
- Reboses y operaciones deficientes de equipos

- Pérdidas del proceso durante las operaciones de inicio y parada de equipos de pasteurización, así como el arrastre de productos durante la evaporación en la producción de leche condensada y leche en polvo
- Descarte de subproductos como suero y demás productos rechazados
- Vertido de soluciones utilizadas en la desinfección de equipos
- Arrastre de lubricantes durante las operaciones de limpieza de equipos
- Limpieza de baños y cafeterías en la industria
- Aguas de empuje, aguas de lavado, principalmente lavado de pisos
- Descargas sanitarias del personal que labora en la empresa

2.2. COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS

El volumen de los efluentes y su contenido en materia de contaminantes son muy variables, según la naturaleza de la fabricación, la técnica de trabajo implementado y de que como se encuentre conformada la fábrica, entre otros.

El agua utilizada en gran cantidad por la industria láctea, oscila entre los 2 y 10 Litros de agua por cada litro de leche. Esta agua en gran parte es restituida, entrando al proceso de fabricación para necesidades específicas, como la alimentación de los condensadores de las calderas o el lavado de materiales principalmente (Soárez, 1997).

Generalmente, los vertidos residuales se componen de agua, leche y subproductos. Contienen materia orgánica y otros productos putrescibles, que originan ácido láctico y precipitan la caseína y otros compuestos nitrogenados. El pH es bajo (entre 4.5 y 4.8) y pueden contener patógenos tales como la tuberculosis (Soárez, 1997).

2.3. CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR LOS EFLUENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA

Las aguas residuales de estas industrias se encuentran constituidas principalmente por residuos de leche, productos lácteos diluidos y productos de limpieza como detergentes, ácidos y álcalis fuertes. Los principales constituyentes orgánicos presentes en los residuos de la leche son sus sólidos naturales: grasa de la leche emulsionada, lactosa y proteínas como la caseína, sales y oligoelementos, también contiene sacarosa (Tirlone, 1992).

Los productos de limpieza utilizados en la industria láctea son principalmente álcalis (soda cáustica, carbonato y silicato de sodio) y ácidos (nitríco, clorhídrico, y sulfúrico) en combinación con detergentes y agentes químicos desinfectantes como hipoclorito de sodio y otros compuestos yodados (Radsiminski, 1989).

Las sustancias orgánicas de los efluentes de industrias lácteas provienen de los productos desechados y en menor cantidad de los productos de limpieza y desagües sanitarios.

En términos de D.B.O y D.Q.O. de los desagües en la industria láctea, estos pueden variar en gran parte, en función de los productos fabricados, ya que se requiere de diferentes cantidades de oxígeno para desarrollar el proceso de oxidación de los diferentes compuestos de la leche como ocurre con las grasas, carbohidratos y proteínas (Soárez, 2003).

En cuanto al pH presente en las aguas residuales, el valor de éste, en los efluentes varía entre 4.2 y 9.2, según monitoreos realizados sobre diversos residuos lácteos, se han presenciado valores entre 2.0 y 12.9 con un valor promedio de 7.5 (Tirlone, 1992).

Estas aguas residuales tienden a volverse ácidas muy rápidamente por la fermentación de la lactosa que se transforma en ácido láctico, principalmente en ausencia de oxígeno disuelto y el pH bajo resultante puede ser la causa de la precipitación de la caseína. La descomposición de la caseína, es la causante de malos olores, debido a la formación de ácido butírico (Tirlone, 1992).

La contaminación producida por estas aguas residuales, se caracteriza por la presencia de lodos de color negro, con fuertes olores a ácido butírico, causado por la descomposición de la caseína. No obstante, el suero presente, constituye el problema más complejo de resolver con respecto al tratamiento, debido a la dificultad que constituye su rápida degradación por los métodos biológicos comúnmente usados.

En cada caso el problema debe ser analizado con detenimiento, ya que según el tipo de queso producido se obtendrá un suero con características diferentes. De este modo se puede decir que las aguas residuales de la industria láctea, se encuentran compuestas principalmente de materia orgánica soluble la cual se fermenta, convirtiéndose en un líquido anaerobio y pestilente (Soárez, 2003).

En estas aguas se encuentran concentraciones de nitrógeno, fósforo, y demás elementos, que cumplen con los requerimientos de nutrientes para un tratamiento biológico ya sea aerobio o anaerobio, sin llegar a constituirse tóxicos para él mismo. Dichas aguas son altamente sensibles a la descomposición biológica, por lo tanto los sistemas biológicos pueden reducir los compuestos que demandan el oxígeno disuelto en el agua (Tirlone, 1992).

2.4. AGUAS RESIDUALES DE PLANTAS DE PROCESAMIENTO DE LACTEOS

En una fábrica de lácteos, el agua tiene diversos usos: alimentación de las calderas, de los cambiadores, limpieza del material y la fabricación propiamente dicha. La cantidad de agua que requiere una industria láctea es variable, pero siempre es elevada.

Depende de gran número de factores, como el volumen de la industria, productos que fabrica, equipos, tecnología, etc. (Veisseyre, 1988).

Existen dos tipos de plantas de productos lácteos: las que producen leche fresca y las que procesan la leche, para la obtención de productos derivados. En las primeras, la leche solo se trata para ser consumida de inmediato o para ser distribuida como leche fresca. En las plantas de procesamiento, la leche se convierte en queso, mantequilla, yogurt, etc.

La composición de la leche que se requiere para los diversos productos se ajusta mediante la mezcla de la crema con la leche desnatada. La leche que se es destinada para consumo directo simplemente es envasada, a menos que se requiera su pasteurización (Veisseyre, 1988).

En la fabricación de quesos se presentan cantidades considerables de suero, que, de no ser utilizados, se convertirán en la mayor carga contaminante de las aguas residuales de las plantas de productos lácteos. No obstante, por medio de procesos como la precipitación, evaporación, y deshidratación, se pueden obtener del suero diversas materias primas en forma de líquido o polvo, las cuales pueden seguir siendo procesadas en la industria de alimentos o pueden utilizarse como forraje (Cepis, 1991).

2.5. EVACUACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA

La industria láctea, elimina los líquidos residuales resultantes de su actividad. El volumen y composición de estos, varían con el tamaño de la fábrica y con sus métodos de producción.

El contenido de estas aguas residuales, en términos de materias nitrogenadas y en lactosa es generalmente bajo y su pH, oscila entre 8 y 9, debido principalmente, a la presencia de detergentes alcalinos utilizados en el proceso de limpieza. Adicionalmente, en la mayoría de los casos las aguas residuales, cualquiera que sea su origen, contienen rastros de antisépticos, especialmente cloro. (Veisseyre, 1988).

Es necesario considerar los medios que se disponen para limitar el volumen y contenido de los elementos contaminantes presentes en aguas residuales de la industria láctea. Inicialmente, se debe contar con una red de alcantarillado para la recogida y eliminación de aguas usadas, aguas lluvias y aguas de refrigeración (Veisseyre, 1988).

En cuanto a la carga contaminante, su disminución está ligada a la reducción de pérdidas de leche y subproductos. Por lo tanto, se debe procurar escurrir completamente los bidones antes de su entrada en la máquina de lavado, se deben instalar instrumentos de control para evitar el desbordamiento de las cubas de leche, se debe recuperar la mayor cantidad posible de suero del desuerado de quesos y recoger separadamente la primera agua de lavado (Veisseyre, 1988).

¿En términos ecológicos, qué ocurre si se vierte en un curso de agua, un líquido residual rico en materias orgánicas (lactosa y materias con alto contenido de nitrógeno)?

Si la cantidad del líquido es suficiente, al cabo de poco tiempo, se verá afectada la flora y fauna presente en el cuerpo de agua. Aparecerán algas filamentosas, las cuales forman una capa de lodo sobre el lecho del curso de agua. Esto conllevará a que la ictiofauna muera rápidamente. Dichos procesos son consecuencia de la fermentación en el agua, de las materias orgánicas transportadas por el líquido contaminado. Estas fermentaciones, son primero de tipo aeróbica y luego que se ha consumido todo el oxígeno disuelto, se tornan anaeróbicas.

Por lo tanto cuando el contenido del agua en oxígeno disuelto quede por debajo de cierto umbral, los peces morirán por asfixia, se generarán malos olores, estéticamente tendrá una apariencia desagradable y si existen asentamientos cerca del cuerpo de agua, igualmente se verán perjudicados (Soárez, 2003).

Por consiguiente, lo que perjudica a la flora, fauna acuática y demás comunidades, con las aguas residuales de una industria láctea, es principalmente la presencia de suero sin ser tratado previamente en altas cantidades (Soárez, 2003).

2.6. PROCEDIMIENTOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PRESENTES EN LA INDUSTRIA LACTEA

Estos procedimientos pueden ser físicos, químicos y biológicos. Ninguno de ellos es totalmente satisfactorio, por lo que en la mayor parte de los casos se utilizan combinados.

- Procedimientos físicos y químicos:

La filtración y decantación permiten separar los elementos sólidos en suspensión en líquido a tratar. Se realiza a través de una turba adsorbente y elimina cierta cantidad de sustancias nitrogenadas solubles así como los antisépticos.

Un *decantador* constituido por un estanque en el que las aguas a tratar se desplaza horizontal y verticalmente, permite que las materias en suspensión sean retenidas por un tamiz y se depositen en el fondo del estanque.

El tiempo de permanencia del agua en los estanques de decantación debe ser limitado (dos horas como máximo) si se quiere evitar que los procesos de fermentación provoquen un incremento de D.B.O. Este procedimiento permite eliminar aproximadamente el 70% de las materias en suspensión y reducir la D.B.O. inicial del efluente aproximadamente en un 15-20% (Veisseyre, 1988).

La floculación química presenta un efecto limitado, no permite la eliminación de la lactosa, cuyo poder contaminante es muy elevado y la D.B.O. sólo se reduce en un 30%. Es un proceso costoso, teniendo en cuenta las elevadas dosis de reactivos que son necesarias. Por último, el volumen de sedimentos que se obtienen es alto, por lo que debe considerarse la desecación y eliminación. En algunas instalaciones, se combina la floculación con una aireación prolongada que se efectúa antes y después del tratamiento químico. Es por eso que los procedimientos químicos pueden considerarse poco adecuados y efectivos para el tratamiento de las aguas residuales de la industria láctea, debido fundamentalmente a su contenido elevado de proteínas y a la presencia de altas cantidades de lactosa (Soárez, 2003).

- Procedimientos biológicos:

La depuración biológica es una operación en la cual los componentes orgánicos de las aguas residuales son degradados en su totalidad por la acción de los microorganismos. Esta degradación puede realizarse por vía aerobia o anaerobia. De este modo, para evitar la formación y desprendimiento de olores desagradables, se utiliza en la industria láctea la vía aerobia. Los procedimientos biológicos se clasifican en dos grupos: procedimientos naturales y artificiales (Soárez, 2003).

Cuando la disposición del lugar lo permite, las aguas residuales, una vez decantadas, pueden ser vertidas en explotaciones agrarias de diversa naturaleza: huertas, plantaciones de flora, mimbrales, entre otras. Los microorganismos del suelo degradan las materias orgánicas aportadas por las aguas residuales. La amonización y la nitrificación enriquecen el terreno en sustancias asimilables por los vegetales.

Se recomienda aplicarle cal con regularidad al suelo para mantener el pH dentro de los límites compatibles con el desarrollo de los microorganismos adecuados. También se debe regular el volumen de las aguas esparcidas en función de la superficie disponible. Un suelo inundado no se airea, lo que conlleva a una degradación anaerobia, que es lenta y causante de malos olores.

Todo proyecto de abonado debe ir precedido de un estudio fisicoquímico del suelo, realizado por un laboratorio especializado. Es necesario preservar las corrientes de aguas subterráneas y superficiales contra la contaminación, por lo que se deben realizar periódicamente análisis de potabilidad (Soárez, 2003).

Los procedimientos biológicos artificiales hacen uso de ecosistemas acuáticos. Se consideran la depuración por lechos o filtros bacterianos y la depuración por arcillas activadas. Estos procedimientos se desarrollan en condiciones aerobias (Soárez, 2003).

Los lechos bacterianos son poco empleados en la industria láctea, su fundamento es similar al del abonado, donde el suelo ha sido reemplazado por el apilamiento de materias más o menos porosas

(escorias, cantos rodados triturados, etc.) que sirven de soporte a los microorganismos. Los materiales se colocan en estanques a través de los cuales circula el agua residual. Los lechos bacterianos se clasifican según la carga hidráulica, la cual corresponde al volumen de líquido expresado en metros cúbicos de agua por día y por metro cuadrado de superficie del filtro (Veisseyre, 1988).

Los procedimientos que emplean arcillas activadas tienen aplicaciones en la industria láctea bastante interesantes.

Este tratamiento consiste en lograr el desarrollo de una población microbiana abundante, constituida por bacterias y protozoarios, en un estanque donde circula el efluente. La población se presenta en forma de una arcilla que contiene masas orgánicas gelatinosas, formadas por los productos de contaminación, floculados y absorbidos por los microorganismos. El desarrollo de la arcilla se asegura, mediante procesos de agitación y aireación, para asegurar la multiplicación de los gérmenes y su mantenimiento en suspensión en el efluente. Estas arcillas, deben ser evacuadas con cierta frecuencia, ya que su reutilización puede generar dificultades debido a su alta humedad e inestabilidad.

Por ello, se pueden desecar por filtración a presión, por centrifugación o pueden ser incineradas (Veisseyre, 1988).

De este modo, se comprende que los procedimientos de tratamiento son múltiples y la elección de uno, deberá tener en cuenta cada caso particular. Sin embargo, cualquiera que sea la solución adoptada, la inversión será alta (aspecto económico) pero no debe olvidarse la necesidad cada día más de luchar contra la contaminación ambiental y contribuir a mejorar las condiciones del medio ambiente (Soárez, 2003).

3. MARCO LEGAL

“El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados”

Constitución Política de Colombia, 1991, Artículo 80.

Con los avances en las leyes y reglamentos, con el objeto de proteger la salud pública y el medio ambiente, aumentaron las restricciones en las descargas de vertimientos, tanto para el control de aguas residuales como para los lodos residuales, los cuales son un subproducto del tratamiento de aguas y requieren de especial manejo.

- LEY 99 de 1993. Fundamentos de la Política Ambiental Colombiana y sus Principios Generales Ambientales.

Artículo.1. Principios Generales Ambientales.

10. *“La acción para la protección y recuperación ambientales del país es una tarea conjunta y coordinada entre el Estado, la comunidad, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado”.*
11. *“Los estudios de impacto ambiental serán el instrumento básico para la toma de decisiones respecto a la construcción de obras y actividades que afecten significativamente el medio ambiente natural o artificial”.*

Artículo.5. Funciones del Ministerio. Corresponde al MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE.

10. *“Determinar las normas ambientales mínimas y las regulaciones de carácter general sobre medio ambiente a las que deberán sujetarse los centros urbanos y asentamientos humanos y las actividades mineras, industriales, de transporte y en general todo servicio o actividad que pueda generar directa o indirectamente daños ambientales”.*
11. *“Dictar regulaciones de carácter general tendientes a controlar y reducir las contaminaciones geosférica, hídrica, del paisaje, sonora y atmosférica, en todo el territorio nacional”.*

- DECRETO 1541 DE 1978. “De las aguas no marítimas”.

Artículo.1. Reglamentar las normas relacionadas con el recurso agua en todos sus estados.

6. *“La conservación de las aguas y sus cauces, en orden a asegurar la preservación cualitativa del recurso y a proteger los demás recursos que dependen de ella”.*
7. *“Las cargas pecuniarias en razón del uso del recurso y para asegurar su mantenimiento y conservación, así como el pago de las obras hidráulicas que se construyan en beneficio de los usuarios”.*

Artículo. 2. Para el manejo y uso del recurso agua. *“Tanto la administración como los usuarios, ya sean públicos o privados, cumplirán los principios generales y las reglas establecidas por el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”.*

Artículo. 69. Referente al uso del agua para fines industriales. *“Se entiende por uso industrial el empleo de aguas en procesos manufactureros o en los de transformación y en sus conexos o complementarios”.*

Artículo. 211. Control de Vertimientos. *“Se prohíbe verter, sin tratamiento, residuos sólidos, líquidos o gaseosos, que puedan contaminar o eutroficar las aguas, causar daño o poner en peligro la salud humana o el normal desarrollo de la flora o fauna, o impedir u obstaculizar su empleo para otros usos. El grado de tratamiento para cada tipo de vertimiento dependerá de la destinación de los tramos de o cuerpos de aguas, de los efectos para la salud y las implicaciones ecológicas y económicas”.*

Artículo. 228. Vertimiento por uso Industrial. *“Los desagües y efluentes provenientes de plantas industriales deberán evacuarse mediante redes especiales construidas para este fin, en forma que facilite el tratamiento del agua residual, de acuerdo con las características y clasificación de la fuente receptora”.*

- DECRETO 1594, DE 1984. Usos del agua y residuos líquidos.

Artículo. 4. *“Los criterios de calidad establecidos en este decreto, son guías para ser utilizados como base de decisión en la asignación de usos y determinación de las características del agua para cada uso”.*

Artículo.6. *“Entiéndase por vertimiento liquido, cualquier descarga liquida hecha a un cuerpo de agua o a un alcantarillado”.*

Artículo.12. *“Denominase lodo a la suspensión de un sólido en un liquido proveniente del tratamiento de aguas, residuos líquidos u otros similares”.*

Artículo.70. *“Los sedimentos, lodos, y sustancias sólidas provenientes de sistemas de tratamiento de agua o equipos de contaminación ambiental, y otras tales como cenizas o bagazo, no podrán disponerse en cuerpos de agua superficiales, subterráneas, marinas, estuarinas o sistemas de alcantarillado, y para sus disposición deberán cumplir con las normas legales en materia de residuos sólidos”.*

Artículo. 72. Sobre las normas de Vertimiento. *“Todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir al menos con remociones iguales o superiores al 80% para los parámetros DBO, sólidos suspendidos y grasas y aceites. Igualmente, el agua debe estar libre de material flotante, con una temperatura igual o menor a 40C° y con un pH entre 5 y 9”. (Anexo 2.)*

- NORMA TECNICA COLOMBIANA. NTC 5167. PRODUCTOS PARA LA INDUSTRIA AGRÍCOLA. PRODUCTOS ORGÁNICOS USADOS COMO ABONOS O FERTILIZANTES Y ENMIENDAS DE SUELOS.

“Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo”.

REQUISITOS GENERALES

1. Los productos deben presentarse en forma sólida como granulados, polvos o agregados o líquida como concentrados solubles, suspensiones o dispersiones.
 2. Todo producto cuyo origen sea materia orgánica fresca debe ser sometido a procesos de transformación que aseguran su estabilización agronómica tales como: compostaje o fermentación.
 3. Deberá declararse el origen (clase y procedencia) de las materias primas y los procesos de transformación empleados.
- REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS – 2000. SECCION II, TÍTULO E. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

El propósito de este reglamento es, “Fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado”.

- NORMA EPA. AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE ESTADOS UNIDOS.

La EPA trabaja para desarrollar y hacer cumplir regulaciones que implantan leyes ambientales establecidas por el Congreso Americano. La EPA es responsable de investigar y establecer estándares nacionales de programas ambientales, y delegar las responsabilidades para otorgar permisos, supervisar y hacer cumplir los acatamientos. Donde los estándares nacionales no son cumplidos, la EPA puede emitir sanciones y tomar otras medidas para alcanzar los niveles deseados de calidad ambiental (<http://www.epa.gov/espanol/sobreepa.htm>).

Para el tratamiento, manejo y disposición de lodos residuales, se pueden consultar las siguientes normas EPA:

EPA/832/F-99/068 de Septiembre de 1999. TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÉPTICOS

EPA/625/R-92/013 de Octubre de 1999. CONTROL DE PATOGENOS Y ATRACCION DE VECTORES EN LODOS RESIDUALES.

EPA/832/F-00/064 de Septiembre de 2000. APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS AL TERRENO.

EPA/832/F-00/067 de Septiembre de 2000. CONTROL DE OLORES EN EL MANEJO DE BIOSÓLIDOS.

4. MARCO INSTITUCIONAL

Se presenta el marco institucional con los principales actores directamente involucrados en el tema de estudio, los cuales se encuentran clasificados principalmente en:

- Sector público: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; CAR.
- Sector privado: JORGE TRIANA & Cia Ltda.

4.1. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL

Es la “entidad pública del orden nacional rectora en materia ambiental, vivienda, desarrollo territorial, agua potable y saneamiento básico que contribuye y promueve acciones orientadas al desarrollo sostenible, a través de la formulación, adopción e instrumentación técnica y normativa de políticas, bajo los principios de participación e integridad de la gestión pública” (Artículo 1, Decreto 216 de 2003) (www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=463&conID=1074).

El Ministerio ejerce “Liderazgo en la toma de decisiones relacionadas con la construcción de equidad social desde la gestión ambiental, la vivienda, el agua potable, el saneamiento básico y el desarrollo territorial, mediante la consolidación de una política de desarrollo sostenible y alianzas estratégicas con actores sociales e institucionales en diferentes escenarios de gestión intersectorial y territorial”.

Tiene como objetivos, “Contribuir y promover el desarrollo sostenible a través de la formulación y adopción de las políticas, planes, programas, proyectos y regulación en materia ambiental, recursos naturales renovables, uso del suelo, ordenamiento territorial, agua potable y saneamiento básico y ambiental, desarrollo territorial y urbano, así como en materia habitacional integral”.

Es el encargado de “formular políticas y regulaciones de conservación y restauración de ecosistemas para el uso sostenible, manejo y protección de la diversidad biológica y demás recursos naturales, garantizando la oferta de bienes y servicios ambientales con miras a lograr una distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de su uso y aprovechamiento” (www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=463&conID=2482).

Igualmente, “Establece los límites máximos permisibles de emisión, descarga, transporte o depósito de sustancias, productos, compuestos o cualquier otra materia que pueda afectar el medio ambiente o los recursos naturales renovables; del mismo modo, prohibir, restringir o regular la fabricación, distribución, uso, disposición o vertimiento de sustancias causantes de degradación ambiental. Los límites máximos se establecerán con base en estudios técnicos, sin perjuicio del principio de precaución”. (Artículo 5, ley 99 de 1993. Funciones definidas del Ministerio) (www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=463&conID=2482).

4.2. CAR. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA

Las Corporaciones Autónomas Regionales son, “entes corporativos de carácter público, creados por la ley, integrados por las entidades territoriales que por sus características constituyen geográficamente un mismo ecosistema o conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidrogeográfica, dotados de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica, encargados por la ley de administrar, dentro del área de su jurisdicción el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender por su desarrollo sostenible, de conformidad con las disposiciones legales y las políticas del MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE”. (Artículo 23, DE LAS CORPORACIONES AUTONOMAS REGIONALES, Ley 99 de 1993).

La CAR, tienen por objeto la “ejecución de políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, así como el cumplimiento y oportuna aplicación a las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento, conforme a las regulaciones, pautas y directrices expedidas por el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE”. Ley 99 de 1993 (Artículo 31, Funciones ejercidas por las Corporaciones Autónomas regionales) (www.car.gov.co/publicaciones.aspx?cat_id=83).

Como misión de las corporaciones autónomas se planea , “Ejecutar las Políticas establecidas por el Gobierno Nacional en materia ambiental; planificar y establecer proyectos de preservación, descontaminación ó recuperación de los recursos naturales renovables afectados; y velar por el uso y aprovechamiento adecuado de los recursos naturales y el medio ambiente dentro del territorio de su jurisdicción, con el fin de mejorar la calidad de vida de sus habitantes y contribuir al desarrollo sostenible”. (Acuerdo Numero 44 del 28 de Diciembre de 2005) (www.car.gov.co/publicaciones.aspx?cat_id=81).

4.3. JORGE TRIANA & Cia Ltda.

Esta compañía fue fundada en 1932, dedicada a la Ingeniería y Representaciones. Dentro de sus actividades principales, se encuentra el manejo de representaciones extranjeras fabricantes de equipos y tecnologías para el tratamiento de las aguas como lo es NRP Bio-Kat™, permitiéndole un liderazgo en el ámbito nacional, con lo cual ha logrado estar presente en los proyectos más importantes desarrollados en el país hasta la fecha, tanto en el sector público como privado.

En los últimos años, la compañía ha evolucionado hacia la creación del manejo de proyectos de forma integral, planteando aspectos de diseño, construcción, instalación y puesta en marcha de los componentes especializados que se integran a los sistemas de tratamiento de aguas, generando valor a través de servicios y soluciones integrales optimas a los clientes, en los sectores de ingeniería sanitaria y ambiental, cumpliendo con estándares de calidad (www.jorgetrianaycia.com/espanol.htm).

JORGE TRIANA & Cia Ltda., es miembro de la AWWA (American Water Work Association); WEF (Water Environment Federation); AIDIS (Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental); ACODAL (Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental) y de la SCI (Sociedad Colombiana de Ingenieros).

4.4. PTAR INDUSTRIA LACTEA. GENERALIDADES.

La PTAR de la industria cuenta con un pre tratamiento, tratamiento preliminar, tratamiento biológico, tratamiento de lodos, y planta de compostaje (Figura 5).

Maneja un caudal de 110 m³/h, el cual proviene de toda la zona industrial y de la zona de administración y oficinas, su volumen y tiempo de retención de tanque de igualación es de 600m³, los tanques de acidificación manejan 360m³, tanques de metanogenización 1800 m³, tanques de aireación y decantador secundario ND (no hay datos), y los biodigestores reciben 1200m³.

Los parámetros de (DBO) de entrada y salida corresponden a 5300 mg/L y 270 mg/L respectivamente.

Los (SS) de entrada y salida son de 2228 mg/L y 237 mg/L.

En términos de pH, los valores son de 8.5 promedio a la entrada y de 7.1 a la salida.

Respecto al manejo de los lodos, los parámetros de producción y sus características son los siguientes: Se producen cerca de 150 m³ diarios de lodo, presentan 59,000 mg/L de SST y 50,000 mg/L de SSV. Dichos los lodos resultantes de la PTAR, mediante procesos de deshidratación son llevados a la zona de compostaje en donde son estabilizados y posteriormente comercializados como abono para suelos.

Con relación al compostaje de los lodos, se forman pilas de aproximadamente 1.5 m de altura, 3 m de ancho y la longitud puede variar entre los 20 y 60 m. A las pilas se le realizan 3 volteos por semana durante 15 días y luego se voltean 2 veces por semana durante 30 días. El proceso de compostaje tiene una duración de 6 semanas.

Se determinó que la generación de malos olores se produce principalmente en el sistema de tratamiento en las trampas de grasas, en la zona de acidificación y en la manipulación de lodos y su compostaje, las cuales afectan las zonas aledañas del municipio de Sopó.

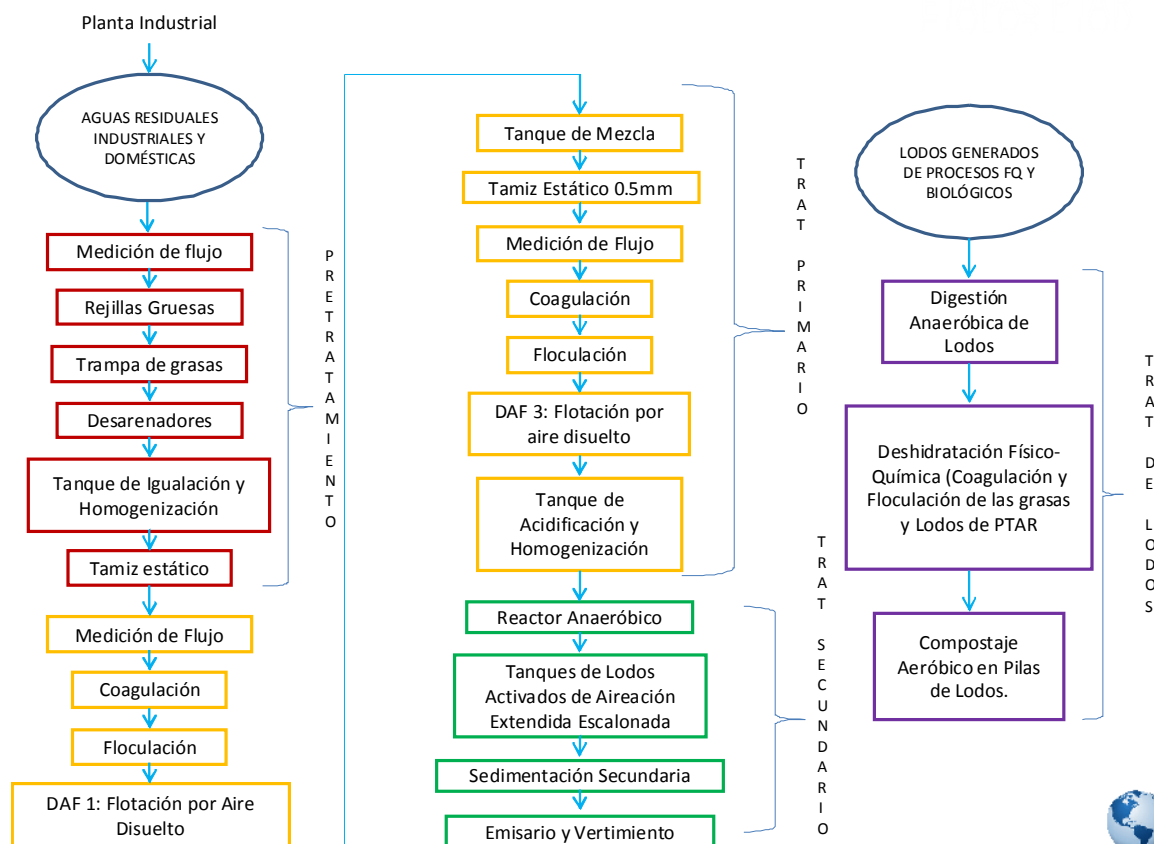


Figura 5. Flujograma del tratamiento de las aguas residuales en la Industria Láctea. (Fuente: Industria Láctea, 2008).

5. METODOLOGÍA

Se tomó una pila de lodo residual proveniente de la PTAR. El procedimiento a ejecutar consiste en:

- Se toma una pila de 20 m de longitud, la cual se divide en tres porciones. La primera porción equivalente a 1.50 m lineales, la cual se toma como testigo absoluto sin la aplicación de la biotecnología (4.5m³ de material). La segunda porción equivalente a 4.0 m lineales (12m³ de material). Estas dos porciones serán el ensayo del cual se tomaran las muestras para realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del compost producido al final del

proceso. La tercera porción será igualmente dosificada, pero esta contiene lodos con diferentes edades con respecto a las dos porciones del ensayo.

- Con base en los resultados obtenidos en otros procesos de compostajes con materiales de origen animal y vegetal en la sabana de Bogotá, se dosificarán las cantidades de producto que se especifican a continuación.
- Proceso de dosificación del producto. Tomando como base la volumetría del lodo a trabajar, se calcula la dosificación en 1ppm de producto por cada m³ de material a compostar.
- La aplicación del producto coincide con los volteos que se realizan normalmente en el proceso de compostaje de la industria láctea, para garantizar que la totalidad de la pila de compost quede impregnada con la biotecnología. (Foto 1)
- El tratamiento se realiza durante 4 semanas, aplicando 2 veces por semana producto por medio de una bomba de espalda, a la cual se le diluye el bioactivador en 20 litros de agua, lo cual equivale a 560 ml aproximadamente de mezcla por cada m³ de lodo. (Foto 2)

Parámetros a evaluar durante el ensayo son:

- Temperatura. Se toman registros en la mañana y en la tarde.
- Análisis físicoquímicos y microbiológicos (Antes de aplicar el producto en el día 0 de la prueba, y al día 35 del proceso).
- Los parámetros a tener en cuenta son:

ANALISIS	MÉTODO
Fosforo en suelo	Método ácido ascórbico
Potasio intercambiable en suelo	Turbidimétrico con tetrafenil borato
Nitrógeno en suelo	Reducción de cadmio
pH	Potenciométrico
Conductividad	Potenciométrico
Relación Carbono – Nitrógeno (C/N)	
Humedad	Termogravimétrico
Materia orgánica total	Termogravimétrico
Calcio	Absorción atómica
Magnesio	Absorción atómica
Sodio	Absorción atómica
Relación de absorción de sodio (RAS)	
Coliformes totales	Milipore
Coliformes fecales	Milipore

Tabla 3. Parámetros Físico-Químicos y microbiológicos del compostaje analizado.

6. RESULTADOS

De acuerdo con los objetivos y la metodología se encontró lo siguiente.

ANALISIS	1^{era} Muestra	Con Bio-Kat	Sin Bio-Kat
Fosforo en suelo	5.8 ppm	165 ppm	10 ppm
Potasio intercambiable en suelo	294 ppm	243 ppm	129 ppm
Nitrógeno en suelo	1.75% 1750 ppm	0.41% 4100 ppm	0.6% 6000 ppm
pH	8.84	9.01	8.96
Conductividad	2.2 mS	0.22 mS	0.19 mS
Relación Carbono – Nitrógeno (C/N)	19	39	25
Humedad	33%	16%	21%
Materia orgánica total	0.579 gr MO/gr Muestra	0.2675 gr MO/gr Muestra	0.3664 gr MO/gr Muestra
Calcio	0.244	0.288	0.309
Magnesio	0.205	0.082	0.169
Sodio	0.887	0.987	1.101
Relación de absorción de sodio (RAS)	1.872	2.294	2.326
Coliformes totales	4050 UFC	4050 UFC	81000 UFC
Coliformes fecales	3025 UFC	605 UFC	45375 UFC

Tabla 4. Resultados Físicoquímicos y microbiológicos



Foto 1. Proceso de volteo y aireación de la pila luego de aplicada la biotecnología.



Foto 2. Aplicación de la biotecnología sobre la pila de compostaje.

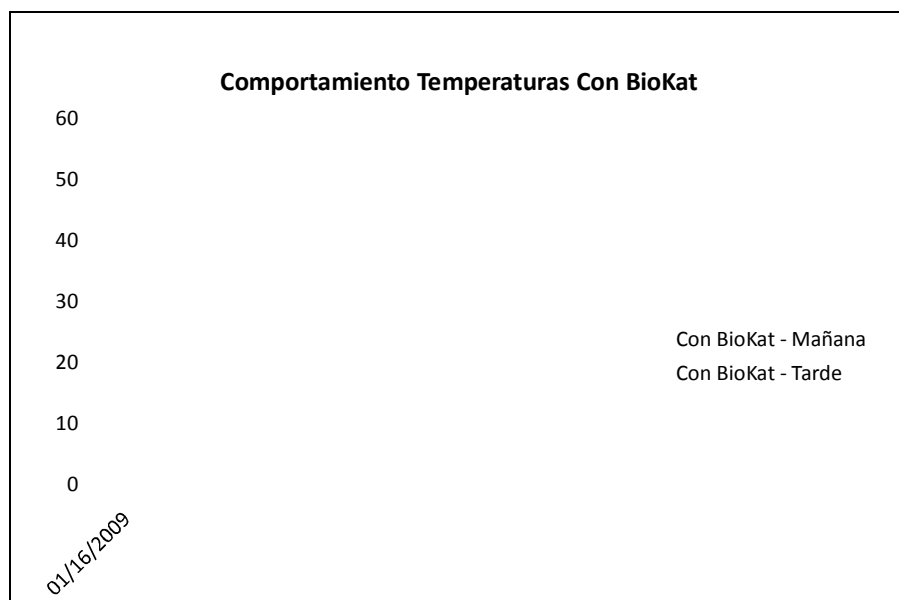


Figura 6. Comportamiento temperaturas de la pila con Biokat.

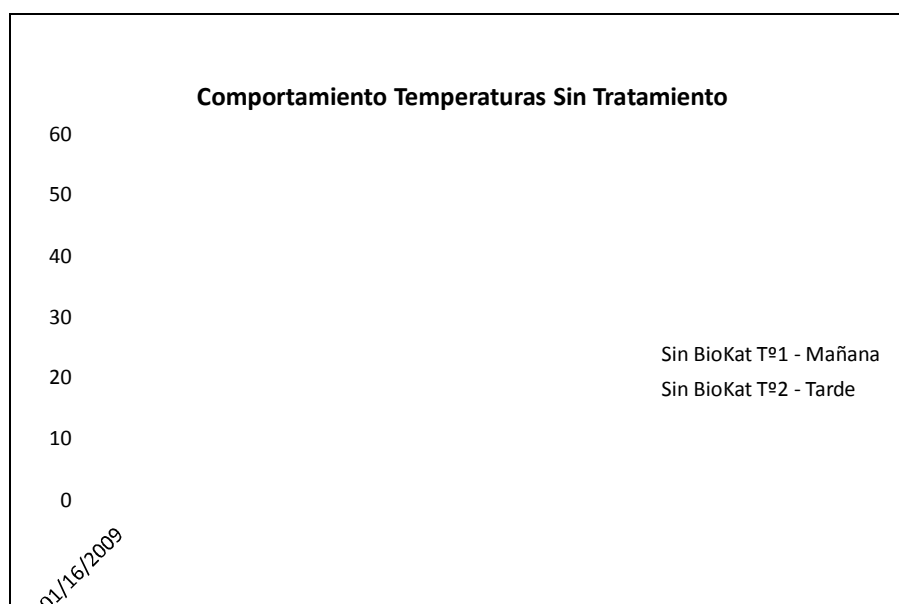


Figura 7. Comportamiento temperaturas de la pila sin tratamiento.

Las gráficas corresponden a los datos de temperatura de los días en los cuales fue aplicada la biotecnología, se observa cómo se comportó la pila de compostaje a medida que se incorporaba el producto Bio-Kat.

Se observan unos picos de temperatura durante la segunda semana de tratamiento, lo que indica que los microorganismos pudieron “sacar provecho” del Bio-Kat. Así mismo se puede notar cómo en las últimas aplicaciones, la pila se estabiliza puesto que las temperaturas disminuyen y son más constantes. Esto indica que la pila se encuentra lista para su disposición final.

La gráfica corresponde a los datos de temperatura referentes a la fracción de la pila de compostaje, la cual no contenía Bio-Kat.

Se observa el comportamiento diferente de la variable, con lo cual se puede hacer la comparación para determinar los cambios en la temperatura del lodo compostado, con biotecnología y sin esta.

7. DISCUSIÓN

Con la aplicación del producto, se logra estabilizar el lodo compostado en menor tiempo que el que normalmente se toma sin producto. Lo cual representa una optimización del espacio destinado al compostaje, pudiéndose procesar mayor cantidad de lodo en el mismo periodo de tiempo.

Desde el punto de vista fisicoquímico y microbiológico, hay una mejoría en los parámetros evaluados, lo cual representa, una mejoría en la calidad final de compost producido. Esto podría representar una fuente de ingreso como “subproducto” que puede ser utilizado como materia prima para la elaboración de abonos orgánicos, al no cumplir en su composición con las características de un abono orgánico comercial, lo cual no es objetivo del proceso, sino más bien una forma de solucionar una problemática ambiental derivada de su actividad industrial.

Tal como plantea Moreno 2008, en términos generales, los requerimientos de calidad del compost se enfocan para conseguir: aspecto del producto y olor aceptable, adecuada higienización, impurezas y contaminantes a nivel de trazas, nivel conocido de componentes agrónomicamente útiles, y características homogéneas y uniformes. Así mismo, el producto se debe poder almacenar sin que presente alteraciones.

Durante el proceso de compostaje de los lodos, ocurre un proceso gradual de oscurecimiento del material como resultado de la estabilización de la materia orgánica. Esta fue cambiando a color “tierra oscura” a medida que las bacterias digerían la materia orgánica en el lodo. Lo cual puede determinar que hubo una mayor actividad por parte de los microorganismos presentes, cuando se aplicó el producto y por ello el proceso de degradación de la materia orgánica fue más acelerado.

Respecto a la contextura de esta, al inicio del procedimiento, la textura era en forma de grumos y totalmente seca. A medida que avanzó el tratamiento, los grumos se fueron reduciendo y la pila se humedeció y su aspecto cambió totalmente con la incorporación del bioactivador.



Foto 3. Coloración de la pila con y sin la biotecnología.

Al haber mayor actividad biológica con la incorporación del bioactivador, se genera una mayor temperatura en el material que está siendo digerido por las bacterias. Esto conlleva a que gran parte de las poblaciones bacterianas que pueden ser patógenas como los coliformes fecales, sean controlados y eliminados por dicho incremento.

En el caso de la pila de lodo tratada con el bioactivador, las temperaturas alcanzadas oscilaban entre los 40° C y 55 °C, y como lo establece Moreno, las temperaturas óptimas del compost se encuentran entre los 45 y 59°C.

Entre mayor tiempo se mantenga la pila de compost en temperaturas por encima de 50 °C, el control de poblaciones potencialmente patógenas es más efectivo, lo cual se evidencia con la reducción de coliformes fecales en las muestras de lodo tratado.

Los datos obtenidos en laboratorio, indican que con la aplicación del bioactivador celular natural, se presentaron cambios en las propiedades del compost producido.

- El porcentaje de humedad que es uno de los parámetros tenidos en cuenta en la normatividad actual de abonos orgánicos o compost producido de residuos animales, debe estar por debajo del 20% de humedad. El lodo tratado con el producto, logró un % de humedad del 16% en 4 semanas y media, con respecto al lodo no tratado que fue del 21%. Es indica que realmente hay una estabilización del compost producido.
- Durante el tratamiento, se observó una disminución en la aparición de moscas sobre la pila tratada, lo cual es un indicador de la disminución de emisiones de gases tipo H₂S (Acido

Sulfhídrico) y Amoniaco. El olor a pesar de ser un criterio subjetivo, puede ser medido indirectamente teniendo en cuenta lo anterior.

- El parámetro de pH tiene una incidencia directa sobre la disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento. Se considera un indicativo de la evolución del proceso de compostaje.
- La conductividad eléctrica, es un excelente indicador que determina la existencia de sales solubles en compost, pero no proporciona información específica sobre las clases de sales presentes en el compost. La acumulación de sales puede influir directamente sobre la estructura del suelo y causar deterioro sobre las propiedades físicas de los suelos. Se recomienda intentar mantener valores de CE por debajo de 1.5.

Los datos de CE obtenidos indican, que la muestra inicial presentaba una conductividad superior al valor recomendado, mientras que las muestras posteriores al tratamiento, cumplían con lo mencionado anteriormente, evidenciando la presencia de bajas cantidades de sales en el compost.

- La relación C/N se aplica como índice que determina la madurez y estabilidad de la materia orgánica. Se establece que el valor óptimo de esta relación es 20, aunque esta dependerá del origen de los materiales y de las proporciones del material carbonado tipo “aserrín”.
- El contenido de nitrógeno total del compost es una función directa de los materiales iniciales del proceso, junto con las condiciones de maduración y almacenaje. Es por esto que es indispensable conocer la concentración de N total del compost, para así poder realizar una correcta dosificación del producto en el suelo, ya que el nitrógeno es un elemento con diversas formas, las cuales pueden generar un impacto ambiental perjudicial. Hay una disminución

Los valores de Nitrógeno en suelo, de las muestras analizadas, indican que se presentó una mayor asimilación del mismo, en lodo tratado, lo cual se evidencia al contrastar los valores de la relación C/N.

Los análisis de microorganismos, muestran una reducción en coliformes fecales, esto se explica en parte por el efecto de las temperaturas durante el procesos de compostaje y además al haber mayor actividad microbiana durante el proceso, se reduce la disposición de nutrientes para los mismos, lo cual se evidencia al final de proceso, con el porcentaje de humedad y la estabilización de la temperatura antes que el lodo sin tratamiento.

Por esto que se presentan una serie de aspectos que determinan la calidad del compost. (Moreno, 2008).

1. *El material inicial.* La calidad del material inicial en el compostaje determina la calidad del producto final. Por lo tanto, materiales con altos contenidos en nutrientes o bajos valores de metales pesados, darán como resultado, un compostaje con altos niveles de nutrientes y sin problema en los contenidos de metales pesados, con lo cual podrá tener diversos usos y aplicaciones, no presentará restricciones.
2. *El proceso de compostaje.* Para conseguir una higienización del compost, se requiere que el material haya pasado por altas temperaturas ($>60^{\circ}\text{C}$) durante determinado tiempo, si este requisito, el producto final puede contener agentes patógenos, con lo cual se presentaran muchas restricciones para su uso y comercialización.
3. *El almacenaje del producto final.* Se debe tener cuidado especial con las condiciones en que se almacena el compostaje. Las condiciones anaerobias aparte de generar malos olores, produce compuestos tóxicos (ácidos orgánicos, alcoholes, entre otros) que si no se detectan, terminaran en los cultivos o suelos donde se aplique el compost.

Como plantea Moreno 2008, si se logra establecer una sistemática de control y seguimiento del compost que es comercializado y se logra contribuir con documentación acreditada sobre la utilidad y como se emplea el producto, lo más seguro es que se logre la aceptación mundial del compost, produciendo la valorización de los residuos, el reconocimiento a esta actividad con lo que se incrementaría el valor económico del compost y se podría motivar a que los sectores, tanto públicos como privados, inviertan en esta actividad de reciclado.

Por lo tanto la propuesta es la siguiente:

Con base en los resultados presentados a la industria, se acordó el siguiente protocolo, el cual será llevado a cabo, por cuenta propia de la industria, para la aplicación del bioactivador en el proceso de compostaje, para corroborar los datos obtenidos en el ensayo presentado en esta tesis a una escala mayor.

7.1. MATERIALES Y METODOS

Tomando 6 pilas de los lodos del patio de compostaje, de 20 metros de largo, equivalente a 45 m³ de material, cada una, se dosificará durante cuatro (4) semanas una solución del bioactivador celular natural, mediante aspersión con bomba de espalda, de 40ml de producto en 20 litros de agua a cada pila.

Se dejará una pila completa sin tratamiento, como testigo absoluto.

Las aplicaciones del producto se realizarán dos (2) veces por semana - siempre en horas de la mañana - las cuales se programarán para los mismos días en que se hagan los volteos de las pilas para su aireación.

VOLUMEN DE LODO / PRUEBA	VOLUMEN DE LODO / PILA	PRODUCTO POR CICLO DE COMPOSTAJE / PILA	TOTAL PRODUCTO / PRUEBA
225 M ³	45 M ³	0,320 LITROS	1,60 LITROS

Tabla 5. Aplicación del producto

7.2. SEGUIMIENTO DE LA PRUEBA

Para evaluar el desarrollo del proceso, se tomarán muestras del lodo de las pilas de compostaje, una previo a la primera aplicación de producto y una cada semana hasta finalizar la prueba.

Se harán análisis semanales de grasas y aceites sobre las muestras tomadas de las pilas involucradas en la prueba, así como el porcentaje (%) de humedad de estas, hasta la semana cinco (5).

Se harán tres (3) análisis de coliformes (totales y fecales): uno (1) sobre la muestra inicial, antes de iniciar las aplicaciones del activador celular natural y dos (2) al finalizar el proceso, en la semana cinco (5), uno (1) sobre la pila testigo y uno (1) sobre una de las pilas tratadas, cuando esta cumpla el ciclo.

Se deben llevar registros diarios de temperatura y semanales de volumen (alto, largo, ancho superior y ancho base), de las pilas.

Se debe llevar un registro semanal sobre la percepción de aparición de moscas y presencia de larvas en las pilas, con el fin de tener un parámetro de la reducción de olores.

Se debe llevar un registro de la proporción del aserrín que se adicione a cada una de las pilas del ensayo.

8. CONCLUSIONES

1. El tratamiento, manejo y disposición de los lodos mediante la biotecnología (Bio-Kat) si genera un cambio positivo en los parámetros evaluados, especialmente en la reducción de patógenos y en el tiempo del proceso de compostaje.
2. La implementación de la biotecnología “Bioactivador celular natural, Bio-Kat”, puede generar beneficios económicos y ambientales, puesto que con la aplicación del producto, se busca optimizar la operación del la PTAR, reducir los malos olores en general, y disminuir el tiempo del

proceso de compostaje, lo que permitiría obtener un producto final de mejor calidad, el cual es comercializado como compost, generando ingresos adicionales para la industria.

3. Con la incorporación de la biotecnología se presentaron reducciones significativas en el tiempo del proceso y con un valor agregado en cuanto a la composición fisicoquímica y microbiológica del compost.
4. Se presentan dificultades para determinar los criterios de calidad del compost. Esto se debe a la gran diversidad de aspectos y puntos de vista que tienen como punto en común, un material que se denomina de manera genérica compost, ya que este puede ser muy variable en términos de su origen y su empleo final. La calidad del compost depende en esencia del uso final que se le vaya a dar a este.

9. RECOMENDACIONES

Finalizado el proyecto, estas son las recomendaciones para que la biotecnología implementada pueda ser exitosa en el tratamiento, manejo y disposición de los lodos residuales de una industria láctea:

1. Se deben realizar al menos 3 o 4 análisis de laboratorio con sus respectivas muestras, para que así se pueda determinar con toda certeza la efectividad del bioactivador celular natural implementado en los lodos residuales de una industria láctea y los cuales son destinados como compost.
2. Se deben evaluar varias dosificaciones de producto, que al ser monitoreadas con análisis de laboratorio en diferentes puntos del proceso, pueden mostrar criterios más claros del posible mejoramiento del proceso de compostaje y por ende establecer una dosificación que se ajuste al funcionamiento bacteriano que existe naturalmente en el sistema (lodos residuales).
3. Si se implementa la aplicación del producto en los componentes de la PTAR donde se presenta actividad biológica (biodigestores, tanque de metanogenesis, aireadores, etc.) se estaría reduciendo la producción final de lodos y los que quedarían para ser llevados a la zona de compostaje, mejorarían su calidad final y se reduciría más aun su tiempo de estabilización.
4. Realizar mezclas con material carbonado (aserrín, material vegetal fresco como podas de árboles o pasto) mejorarían la relación C/N y en gran medida su composición fisicoquímica, haciéndola más apta para uso agrícola y por ende se le puede dar un valor agregado para ser vendido al público.

10. BIBLIOGRAFÍA

ARANGO, B. 1968. Tratamiento de Aguas Residuales y su influencia sobre la contaminación de los ríos. Tesis (Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil. Bogotá.

ARUNDEL, J. 2000. *Tratamientos de Aguas Negras y Efluentes Industriales*. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza. España.

BOGOTÁ. Alcaldía Mayor. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente, DAMA. 2000. Minimización de la Contaminación Industrial por la Promoción de Tecnologías de Producción más Limpias en Bogotá, D.C. Bogotá.

BRANCO, SAMUEL. 1984. *Limnología Sanitaria. Estudio de la Polución de Aguas Continentales*. Universidad de Sao Paulo. OEA. Washington.

BRUGGER, E. 1992. *Eco Eficiencia: La visión empresarial para el desarrollo sostenible en América Latina*. Primera Edición, Editorial Oveja Negra, Santafé de Bogotá, Colombia.

CAMPO, A. 1995. *Tratamiento de Aguas Domesticas e Industriales Residuales*. Convenio Andrés Bello. Bogotá.

CASADO, L. 2004. *Los vertidos en aguas continentales*. Editorial Comares. Granada, España.

CENTRO NACIONAL SALUD AMBIENTE Y TRABAJO. 1997. *Impacto de los residuos industriales salud de los trabajadores y medio ambiente*. Centro Nacional Salud Ambiente y Trabajo-Seguro Social. Bogotá.

CEPIS. 1981. *Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua*. Departamento de Ingeniería y Ciencias del Ambiente. Organización Panamericana de La Salud (OPS.) Perú.

CEPIS. 1991. *Manual de disposición de aguas residuales*. Organización Panamericana de La Salud (OPS.) Perú.

CIFUENTES, M. 2002. Propuesta para la prevención de la contaminación hídrica en la línea de fabricación de helados de la industria y comercializadora de alimentos Meals de Colombia S.A. Tesis Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.

COLCIENCIAS. 1992. Conocimiento y Competitividad. Bases para un plan del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico Industrial y Calidad. Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Francisco José de Caldas, Colciencias. Colombia.

CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA. 1993. Panamericana Editorial Ltda. 1^{era} Edición. Bogotá, D.C., Colombia.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CENTRO DE ANTIOQUIA, CORANTIOQUIA, comp. 1999. Normatividad Ambiental Básica/ Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, CORANTIOQUIA. Segunda Edición. Medellín.

DEBORD, G. 2006. *El Planeta Enfermo*. Editorial Anagrama. Barcelona. Pg. 73.

DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK. 1996. Manual de Tratamiento de Aguas Negras. Editorial Limusa. Mexico.

DUEDALL, I., [et al.]. 1983. *Wastes in the ocean. Industrial and Sewage Wastes in the Ocean*. A Wiley- Interscience Publication. United States of America.

ECKENFELDER, W. 2000. *Industrial Water Pollution Control*. 3rd ed. McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering. United States.

EPA. 1999. *Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge*. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, OH.

HERNANDEZ, A. 1998. *Depuración de Aguas Residuales*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Editorial PARANINFO, S.A. España.

FREEMAN, H. 1998. *Manual de Prevención de la Contaminación Industrial*. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. México.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 1996. *Diccionario Geográfico de Colombia*. Tomo 2 (3ª ed.). Colombia.

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA Y RED IBEROAMERICANA DE POTABILIZACIÓN Y DEPURACIÓN DE AGUA, CENTRO INTERAMERICANO DE RECURSOS DEL AGUA, FACULTAD DE INGENIERIA. 2005. *Tratamiento, disposición y aprovechamiento de lodos residuales*. Universidad Autónoma del Estado de México. México.

KEMMER, F. 1989. *Manual del Agua. Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones. Tomo I- III*. McGraw-Hill/ Interamericana de México S.A. México.

LORA SORIA, F. 1978. *Técnicas de Defensa del Medio Ambiente*. Editorial Labor, S.A. Barcelona. España.

MARIN, R. 2004. *El Agua un Derecho Intransferible*. Editorial Kimpres Ltda. Bogotá.

METCALF & EDDY. 1981. *Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales*. Editorial Labor, S.A. Barcelona. España.

MORENO CASCO, J. y MORAL HERRERO, R. 2008. *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 570 p.

NEMEROW, N. 1971. *Food-processing industries: Treatment of dairy wastes. Industrial Water Pollution*.

NEMEROW, N. 1998. *Tratamiento de Vertidos Industriales y Peligrosos*. Ediciones Díaz de Santos, S.A. Madrid. España.

NRP.Inc. 2004. *Training and Product Information Manual*. United States.

PANAYOTOU, T. 2003. *Competitividad y Contaminación Industrial en la Región Andina*. Editor, Manuel del Valle. Quito.

RADZIMINSKI, A. 1989. *Desagües de la industria láctea. Introducción a su estudio*. Universidad de Buenos Aires.

ROMERO, J. 2002. *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.

SANCHEZ, E. 1994. *Contaminación Industrial en Colombia*. Departamento Nacional de Planeación- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Colombia.

SOÁÑEZ, M. 1996. *Ingeniería del Medio Ambiente aplicada al Medio Natural Continental*. Ediciones Mundi-Prensa. España.

SOÁÑEZ, M. 1997. *Ingeniería Medioambiental aplicada: Casos Prácticos*. Ediciones Mundi-Prensa. España.

SOÁÑEZ, M. 1998. *Ecología Industrial: Ingeniería Medioambiental aplicada a la Industria y a la Empresa*. Ediciones Mundi-Prensa. España.

SOÁÑEZ, M. 2003. *Manual de Tratamiento, Reciclado, Aprovechamiento y Gestión de las Aguas Residuales Industriales Agroalimentarias*. España.

SPELLMAN, F. 2000. *Manual de Agua Potable*. España.

TIRLONE, C.E. 1992. *Tratamiento de aguas residuales de laticinios. Memorias del XXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. La Habana. Cuba
PAWLOWSKI, R. 1987. *Estudios de tratabilidad de las aguas residuales de industrias lácteas a través de procesos biológicos*. Brasil.

VEISSEYRE, R. 1988. *Lactología técnica*. Editorial ACRIBIA. España.

VILLATE, E. 1993. *Al Frente Del Agua*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. CAR. Bogotá.

WANG, L, [et al.]. 2006. *Waste Treatment in the Process Industries*. Taylor & Francis Group. United States.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION. 1995. *Biosolid Composting*. United States of America.

WOODARD, F. 2006. *Industrial Waste Treatment Handbook*. United States of America.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). 2001. *Water Quality. Guidelines, Standards and Health: Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*. UK.

www.car.gov.co/publicaciones.aspx?cat_id=81

www.car.gov.co/publicaciones.aspx?cat_id=83

www.epa.gov/espanol/

www.epa.gov/espanol/agua.htm

www.jorgetrianaycia.com/espanol.htm

www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=463&conID=1074

www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=463&conID=2482

ANEXOS.

Anexo 1. (Metcalf & Eddy, 1981)

<i>Parámetro</i>	<i>Origen</i>
Físicas	
Sólidos	Residuos industriales y domésticos
Temperatura	Residuos industriales y domésticos
Color	Residuos industriales y domésticos
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales
Químicas	
Orgánico:	
Proteínas	Residuos comerciales y domésticos
Carbohidratos	Residuos comerciales y domésticos
Grasas animales, aceites y grasas minerales	Residuos industriales, comerciales y domésticos
Agentes tensoactivos	Residuos industriales y domésticos
Fenoles	Residuos industriales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Inorgánico:	
pH	Residuos industriales
Cloruros	Suministro de aguas domesticas, residuos industriales
Alcalinidad	Residuos domésticos, suministro de agua domestica, infiltración agua subterránea
Nitrógeno	Residuos agrícolas y domésticos
Fósforo	Residuos comerciales y domésticos, derrame natural
Azufre	Suministro de aguas domesticas, residuos industriales
Compuestos tóxicos	Residuos industriales, infiltración de agua subterránea
Metales pesados	Residuos industriales
Gases:	
Oxigeno	Suministro de aguas domesticas, infiltración de agua
Sulfuro de hidrogeno	Descomposición de aguas domesticas
Metano	Descomposición de aguas domesticas
Biológicas	
Protistas	Residuos domésticos, plantas de tratamiento
Virus	Residuos domésticos
Plantas	Corrientes de agua al descubierto y plantas de tratamiento
Animales	Corrientes de agua al descubierto y plantas de tratamiento

Anexo 2. Tabla según la cual se establecen los parámetros, que debe cumplir el vertimiento de acuerdo con el Decreto 1594 de 1984.

Referencia	Usuario Existente	Usuario Nuevo
pH	5 a 9 unidades	5 a 9 unidades
Temperatura	< 40°C	< 40°C
Material flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Remoción > 80% en carga	Remoción > 80% en carga
Sólidos suspendidos, domésticos o industriales	Remoción > 50% en carga	Remoción > 80% en carga
Demanda bioquímica de oxígeno:		
Para desechos domésticos	Remoción > 30% en carga	Remoción > 80% en carga
Para desechos industriales	Remoción > 20% en carga	Remoción > 80% en carga

Anexo 3. Resultado de laboratorio Universidad de La Salle



UNIVERSIDAD DE LA SALLE LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

e- mail: lab-ambiental@lasalle.edu.co
Tel: 3535360 ext. 2537 - Fax 3 362840

Bogotá, 1 de Abril de 2009

Señor
FELIPE LÓPEZ
Ciudad

Asunto: Resultados Análisis de Laboratorio

En la tabla anexa se presentan los resultados de los análisis realizados a las muestras recibidas por el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de la Salle, y se da a conocer la metodología que se siguió para cada uno de ellos.

ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADO		
		1 ^{ra} Muestra	2 ^{da} Muestra	
			Con Biokat	Sin Biokat
Fósforo en suelo	Método ácido ascórbico	5.8 ppm	165 ppm	10 ppm
Potasio intercambiable en suelo	Turbidimétrico con tetrafenil borato	294 ppm	243 ppm	129 ppm
Nitrógeno en suelo	Reducción de cadmio	1.75 % 1750 ppm	0.41% 4100 ppm	0.6 % 6000 ppm
pH	Potenciométrico	8.84 ppm	9.01	8.96
Conductividad	Potenciométrico	2.2 mS	0.22 mS	0.19 mS
C/N		19	39	25
Humedad	Termogravimétrico	33%	16%	21%
Materia orgánica total	Termogravimétrico	0.579 gr MO/ gr muestra	0.2675 gr MO/ gr muestra	0.3664 gr MO/ gr muestra



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

e- mail: lab-ambiental@lasalle.edu.co

Tel: 3535360 ext. 2537 - Fax 3 362840

Calcio	Absorción atómica	0.244	0.288	0.309
Magnesio	Absorción atómica	0.205	0.082	0.169
Sodio	Absorción atómica	0.887	0.987	1.101
RAS		1.872	2.294	2.326
Coliformes Totales	Milipore	4050 UFC	4050 UFC	81000 UFC
Coliformes Fecales	Milipore	3025 UFC	605 UFC	45375 UFC

Atentamente,

**OSCAR FERNANDO CONTENTO
TÉCNICO**

LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

