



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias
Alimentarias

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**BIORREMEDIACION APLICADO AL MANEJO DE
DESECHOS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA**

*Para obtener el título profesional de:
Ingeniera de Industrias Alimentarias*

*Presentado por:
Bach. Rafaela Lorena Rodríguez Ubillus*

*Asesor:
Ing. Gerardo Santamaría Baldera*

LAMBAYEQUE – PERÚ
2021



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias
Alimentarias**

**BIORREMEDIACION APLICADO AL MANEJO DE
DESECHOS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA**

Presentado por:

Bach. Rafaela Lorena Rodríguez Ubillus

Aprobado por:

Dr. Sebastián Huangal Scheineder
PRESIDENTE

M.Sc. Ronald Alfonso Gutiérrez Moreno
SECRETARIO

Ing. Héctor Lorenzo Villa Cajavilca
VOCAL

Ing. Gerardo Santamaría Baldera
ASESOR

Dedicatoria

Dedicado a Dios, y en especial a mi mayor
fuente de motivación para mi realización
profesional: mi hijo Luis Diego.

Índice general

Dedicatoria	iii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	10
II. OBJETIVOS	12
2.1. OBJETIVO GENERAL:.....	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	12
III. FUNDAMENTO TEÓRICO	13
3.1. Aspectos generales de contaminación	13
3.2. Residuos sólidos.....	15
3.3. Introducción a la biorremediación	15
3.4. Diseño y aplicación de los sistemas de biotratamiento.....	17
3.5. Fundamento bioquímico de la biorremediación	18
3.5.1. Necesidad de nutrientes.....	18
3.5.2. pH del suelo	18
3.5.3. Temperatura.....	18
3.5.4. Humedad	19
3.6. Principales métodos de biorremediación	19
3.6.1. Tratamiento en tierra	19
3.6.2. Compostaje.....	24
3.6.3. Biorremediación intrínseca	33
3.6.4. Biorreactor de lodo.....	36

3.7.	Biorremediación aplicado a la industria alimentaria	37
3.7.1.	Biorremediación en la indust de procesamiento de vegetales y frutas....	37
3.7.2.	Biorremediación en la industria del aceite de oliva	41
3.7.3.	Biorremediación en la industria de la fermentación	43
3.7.4.	Biorremediación en la industria láctea	45
3.7.5.	Biorremediación en la industria de carne y avícola	49
CONCLUSIONES		51
REFERENCIAS.....		52
ANEXOS		57

Índice de figuras	Pag.
Figura 1: Sistema de remoción de suelo en la técnica de landfarming	20
Figura 2: Esquema de la tecnología de tratamiento en tierra.....	20
Figura 3: Biorremediación por Landfarming de Porteña-Panorámica 2.....	21
Figura 4: Detalle de los módulos de Landfarming La Porteña.....	22
Figura 5: Esquema de la celda en Landfarming La Porteña.....	22
Figura 6: Diferentes instalac para producir microorganismos eficaces.compost.....	26
Figura 7: Pilas de microor eficaces-compost con rastrojos de cosec en época de ver.	27
Figura 8: Rastrojos de cosecha antes y después de picados.....	28
Figura 9: Dimensiones de pilas de compostaje.....	28
Figura 10: Volteos manual y mecanizado de las pilas de compost.....	29
Figura 11: Control manual de la humedad.....	30
Figura 12: Control de temperatura con termómetro para compost.....	31
Figura 13: Volteo e inoculación de las pilas de compost.....	32
Figura 14: Cosecha y almacenamiento del compost.....	32
Figura 15: Procesos de biorremediación intrínseca que dispone el ambiente.....	33
Figura 16: Diagrama de flujo de una instalación típica de biorreactor de lodo.....	36

Índice de Tablas	Pag.
Tabla 1: Metodos de Biorremediacion.....	56
Tabla 2: Métodos de Compostaje.....	57
Tabla 3: Características de los residuos en la industria de procesamiento de vegetales y frutas.....	58
Tabla 4: Composición química de la fracción orgánica y características de calidad del residuo líquido del aceite de oliva.....	59
Tabla 5: DQO de la leche, productos lácteos, reactivos de limpieza y desinfección y sus integrantes.....	60

RESUMEN

La biorremediación constituye una alternativa atractiva y prometedora a las tradicionales técnicas físico-químicas para la remediación de los compuestos que contaminan el ambiente. El objetivo de esta monografía es una revisión con respecto a la aplicación de la biorremediación en el tratamiento de los desechos de la industria alimentaria.

Este estudio descriptivo se basó en la revisión documental sobre las posibilidades y limitaciones que presenta los procesos de biorremediación cuando se desea resolver la presencia de grandes cantidades de desechos de la industria alimentaria.

Como resultado se encontró que existen cuatro métodos de biorremediación que se pueden aplicar para mitigar el efecto contaminante de los residuos de la industria alimentaria: tratamiento en tierra (landfarming), compostaje, biorremediación intrínseca, y biorreactor de lodo.

Como conclusión se tiene que además de existir beneficios de las tecnologías de biorremediación, se tienen dificultades en esta aplicación debido a la existencias de restricciones impuestas por el sustrato y la variabilidad ambiental, el potencial limitado de biodegradación y la viabilidad de los microorganismos de origen natural, entre otras. De todos los sistemas de biorremediación estudiados el que mejor se comporta para tratar diferentes líquidos residuales de la industria alimentaria es el reactor de lodo, y más específicamente el reactor UASB modificado, conocido como el reactor de lecho de lodo granular expandido.

Palabras clave: Biorremediación, Residuos, Industria alimentaria

ABSTRACT

Bioremediation has become an attractive and promising alternative to traditional physical-chemical techniques for the remediation of compounds that contaminate the environment. The objective of this extended essay was to review the application of bioremediation in the treatment of food industry wastes.

This descriptive study was based on a documentary review of the possibilities and limitations of bioremediation processes when large quantities of food industry wastes are wanted to be treated.

As a result, it was found that there are four bioremediation methods that can be applied to mitigate the polluting effect of food industry wastes: landfarming, composting, intrinsic bioremediation, and sludge bioreactor.

To conclude, despite the benefits of bioremediation technologies, there are some difficulties in application due to restrictions imposed by substrate and environmental variability, limited biodegradation potential, and viability of naturally occurring microorganisms, among others. Among all the bioremediation systems studied, the best performance treatment for different waste liquids from the food industry is the sludge reactor, and more specifically the modified UASB reactor, known as the Expanded granular sludge bed digestion.

Keywords: Bioremediation, Waste, Food industry.

I. INTRODUCCIÓN

La biorremediación es un concepto general que incluye todos aquellos procesos y acciones que se realizan a fin de biotransformar un ambiente, que se encuentra alterado por contaminantes, a su estado original. Si bien los procesos que pueden ser usados a fin de lograr el resultado son variables, ellos tienen algunos principios generales; el uso de microorganismos o sus enzimas, y estos a su vez pueden estar presentes en forma natural y son estimulados por la adición de nutrientes u optimización de las condiciones, o son adicionados en el suelo. Existen varias ventajas de la implementación de estos métodos, pero principalmente tienen que ver con que no interfieren con la ecología del ecosistema (Cárdenas et al., 2016).

En este informe se realiza revisión bibliográfica de las principales técnicas y principios generales de la biorremediación junto con ejemplos representativos de sus usos tanto en laboratorio y en la industria y de la forma como ellos trabajan y dan resultados en las cinco áreas principales de la industria alimentaria donde la biorremediación es aplicable. Si bien la aplicación de la biorremediación a la industria alimentaria no es nueva, los desarrollos en microbiología e ingeniería genética han dado un instrumento valioso a los científicos para tratar con los contaminantes del medioambiente. Los pesticidas, herbicidas, insecticidas, productos químicos de limpieza y productos químicos usados en la cadena de producción de alimentos están entre los nuevos contaminantes que han ingresado al ciclo biogeoquímico. Los métodos de biorremediación transforman los contaminantes en sustancias que puede ser absorbidas y usadas por los organismos autotróficos sin ningún efecto toxico sobre ellos.

Las cinco áreas de la industria alimentaria que se consideran en esta monografía son: Procesamiento de frutas y vegetales; procesamiento del aceite de oliva; industria de la fermentación; industria láctea y la industria de la carne y avícola. En el presente trabajo se describen cuatro tipos de técnicas de biorremediación: tratamiento en tierra, compostaje, biorremediación intrínseca y biorreactor de lodo.

Es importante, porque cada año hay una mayor producción de alimentos para satisfacer las necesidades del mundo, lo cual trae como consecuencia una contaminación acelerada del medio ambiente, y tratar los contaminantes ayudará a preservar nuestra ecología. Se justifica porque se van a emplear conocimientos adquiridos en la formación profesional y se plantea un método novedoso si se compara con otros métodos tradicionales como incineración, pirolisis, relleno sanitario u otros, que a veces dan una mayor contaminación ambiental. Realmente existen muchas ventajas en el uso de la biorremediación para tratar residuos industriales, en especial de la industria alimentaria, pero lo más importante es que estos métodos no interfieren con la ecología del ecosistema, y se puede asegurar que son métodos limpios sin una mayor producción de tóxicos.

II. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL:

Realizar una revisión bibliográfica sobre los diferentes métodos de biorremediación que se pueden aplicar a los desechos de la industria alimentaria.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Conocer los principales métodos de biorremediación.
- Conocer cómo se puede aplicar los métodos de biorremediación en cinco industrias representativas: Procesamiento de frutas y vegetales; procesamiento del aceite de oliva; industria de la fermentación; industria láctea y la industria de la carne y avícola.

III. FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1. Aspectos generales de contaminación

Unas cuantas décadas atrás, la principal preocupación del hombre era apresurar los procesos de industrialización. Hoy en día el hombre intenta encontrar soluciones a los problemas que ha traído el crecimiento industrial. Debido a este rápido desarrollo, aparecieron problemas debido a los rellenos sanitarios que llegaron a afectar los bosques y fuentes de agua. La degradación de los suelos ha sido identificada como un problema crucial y en aumento tanto en Europa como en el resto del mundo. Una tercera parte de los 300 millones de hectáreas de Europa de tierras secas sufren de desertificación y por lo tanto una disminución en la productividad biológica y económica (UNEP, 2002). El Perú tiene un 3,01 % de áreas desertificadas y un 23,75% en proceso de desertificación (Ministerio del Ambiente, 2006).

Si bien la cantidad de área contaminada afectada no ha sido exactamente determinada, muchos contaminantes son considerados responsables de esta contaminación; siendo los pesticidas y los fertilizantes las fuentes principales de contaminación seguida por la industria, disposición de aguas residuales, y los derrames accidentales (EAA, 1995). La acidificación es frecuentemente un problema que traspasa los límites aceptables debido a que las deposiciones acidas son más altas que el punto crítico aceptable. En algunos países del centro de Europa se descarga 20 veces más acidez que la carga crítica del ecosistema (Stanners & Bourdeau, 2005).

Entre los Urales y la antigua Unión Soviética hay un total de 900 millones de hectáreas de bosques representando cerca del 15% de la biomasa en bosques a todo el mundo (FAO, 2005). Como algo contradictorio se debe saber que mientras por un lado hay regiones en el mundo donde se muestra un incremento en áreas de bosques dando una mayor cantidad de biomasa en los bosques, también existe una deforestación avanzada en otras regiones del mundo debido a la creciente industrialización. A pesar que la defoliación y decoloración de la corona indican un daño general de las condiciones de un bosque, no se ha encontrado una

relación confiable entre el crecimiento y defoliación de los árboles. Recientes investigaciones han descubierto que la defoliación de los árboles no solo se debería solo a la lluvia acida presente en las regiones industrializadas sino también a otros factores como condiciones climáticas adversas, contaminación del aire, pestes y patógenos, e incendios forestales (EC/UN-ECE, 2004).

En los que se refiere al agua la situación se vuelve más problemática desde tanto la cantidad y la calidad del agua fresca son los principales problemas que se presentan en todas las regiones del mundo, y el problema va en crecimiento (UNEP; 2006). A pesar de que todavía no hay escasez de agua la disponibilidad de agua disminuye año a año debido a su contaminación. Por ejemplo, el Lago Baikal, que contiene 20% del agua fresca del mundo, ha sido afectado por contaminantes, incluyendo aceite, aun en sus partes más lejanas y abiertas. De hecho, solo una pequeña cantidad (15%) de los efluentes que ingresan al lago han sido tratados satisfactoriamente. La necesidad de sistemas de tratamiento de aguas mejoradas y actualizadas tecnológicamente es crítica debido a que los sistemas actuales comúnmente disponibles funcionan con baja eficiencia y son caracterizados por una inadecuada capacidad para resolver el nivel requerido de tratamiento. La contaminación de aguas subterráneas se espera que vaya progresivamente en aumento, agudizándose en el venir de los años, particularmente debido al depósito incontrolable de desechos, fugas de tanques de petroquímicos, y a una percolación continua de aguas residuales sin tratamientos, pesticidas, y otros contaminantes dentro de acuíferos. Conforme vaya en aumento el consumo de agua potable en el mundo, mantener la calidad de las aguas subterráneas constituye un asunto prioritario. Además del problema del agua potable, también hay que considerar la contaminación en el ecosistema costero. En estas zonas existe un riesgo de moderado a alto debido al desarrollo irracional e incontrolable. Los contaminantes más significativos de las

zonas costeras son los compuestos orgánicos sintéticos, organismos microbianos, aceite, nutrientes, y en pequeña o menor extensión los metales pesados y radionúclidos.

3.2. Residuos sólidos

Los desechos sólidos probablemente son los más importantes no solo porque constituyen un peligro sino también por el volumen que ocupa. En Europa se estima que hay una generación de residuos sólidos de cerca de 5 billones de toneladas al año. Las cerca de 14 000 industrias de Estados Unidos generan algo de 265 mil toneladas de residuos peligrosos al año. (Levin y Gealt, 2003).

En el Perú, en el año 2009, en el Sub Sector Industria se registró 1,14 millones de toneladas al año de residuos sólidos peligrosos y 1,91 millones de residuos sólidos domésticos. Para el mismo año, en el Ministerio de Agricultura se registró 5 mil toneladas de residuos sólidos peligrosos y 5,2 miles de residuos sólidos domésticos. Las regiones del país tienen registradas una producción de cerca de 20500 toneladas de residuos sólidos municipales por día (Ministerio del Ambiente, 2010).

Una vez que un área ha sido contaminada, la próxima etapa es sugerir posibles acciones correctivas. En el transcurso de los años, muchos métodos han sido ensayados, usados, aprobados o rechazados. La forma más común, barata e ineficiente de tratar áreas contaminadas es ignorar deliberadamente su existencia. Cuando los problemas se vuelven más severos uno puede escoger métodos convencionales, tales como la prevención y reducción, reutilización, empleo de materiales degradables, reciclaje, incineración, pirolisis y relleno sanitario, o métodos innovativos modernos que incluye compostaje, biodegradación y biorremediación.

3.3. Introducción a la biorremediación

La biorremediación es un proceso que ocurre naturalmente en la cual microorganismos inmovilizan o transforman los contaminantes medioambientales a productos finales inocuos.

La biorremediación es una estrategia de remediación importante de suelos y agua subterránea, ya que:

- Aprovecha procesos biológicos que ocurren naturalmente
- Destruye o inmoviliza a los contaminantes en lugar de transferirlos de un medio ambiental a otro; y
- Ahorra los recursos financieros debido a tiempos más cortos de limpieza y gastos de capital más bajos comparada con otras tecnologías de remediación (GZA GeoEnvironmental, 2008).

El biotratamiento es bien aceptado por la industria por la popularidad de que es una tecnología que mantiene la armonía de la naturaleza. La biorremediación se ha convertido en una opción ampliamente aceptada para la limpieza de acuíferos y suelos contaminados a pesar que no tiene una reputación completamente creíble dentro de la comunidad regulatoria (NRC, 2003). Hay numerosos ejemplos del empleo de biorremediación contra varios contaminantes. En la actualidad, existen cuatro técnicas biológicas principales para el tratamiento de suelos y agua de subsuelo:

- (a) estimulación de la actividad de microorganismos nativos por la adición de nutrientes, regulación de las condiciones redox, optimización de las condiciones de pH, y otros
- (b) inoculación del sitio por microorganismos con habilidades de biotransformación específica
- (c) aplicación de enzimas inmovilizadas, y
- (d) uso de plantas (fitorremediación) para remover o transformar contaminantes (Bollang y Bollang, 2005).

3.4. Métodos para la biorremediación de aguas y suelos contaminados.

Están incluidos el tratamiento en tierra (“landfarming”), compostaje, la propia biorremediación y los biorreactores de lodo (ver tabla 1).

Diseño y aplicación de los sistemas de biotratamiento.- Los sistemas de biorremediación consisten en el uso de los microorganismos naturales como levaduras, hongos o bacterias, los cuales se encuentran en el medio y se emplean para degradar sustancias peligrosas a sustancias inocuas para el medio ambiente y la salud humana, estas técnicas biológicas pueden ser de tipo aerobio si se producen en condiciones aeróbicas, con la presencia de un medio oxidante, o de tipo anaeróbico, en condiciones anaerobias, con un medio reductor.

Estos sistemas de tratamientos se basan en la digestión de sustancias orgánicas por los microorganismos presentes, del cual obtienen la fuente de carbono necesaria para el crecimiento de sus células y una fuente de energía para llevar a cabo las funciones metabólicas que necesitan sus células para su desarrollo. Es importantes que existan en el medio unas condiciones físico-químicas óptimas para que los procesos metabólicos se realicen.

El diseño de estos sistemas de procesamiento se logra estableciendo varias etapas de trabajo como: la investigación y caracterización de la contaminación y del emplazamiento, el análisis y elección de las medidas biocorrectivas, evaluación de la efectividad del sistema elegido, diseño y evaluación del sistema, evaluación del control y seguimiento y Análisis e interpretación de resultados.

3.5. Fundamento bioquímico de la biorremediación

La biorremediación se basa en que en la cadena respiratoria se va producir una serie de reacciones de óxido-reducción cuyo objetivo es la obtención de energía.

La cadena la inicia un sustrato orgánico o residuos de la industria alimentaria; que es externo a la célula y que actúa como dador de electrones, de tal manera que la actividad metabólica de la célula acaba degradando y consumiendo dicha sustancia.

Los aceptores más comunes utilizados por los microorganismos son el Oxígeno, Nitratos, Hierro (III), Sulfatos, Dióxido de carbono.

Cuando el oxígeno es utilizado como aceptor de electrones la respiración microbiana se produce en condiciones aerobias, y los procesos de biodegradación serán de tipo aerobio; sin embargo, si utiliza los sulfatos o el dióxido de carbono se produce en condiciones reductoras o anaerobias, y los procesos de biodegradación serán de tipo anaerobio.

Existen otros factores que influyen en la concentración y composición de la población microbiana, siendo éstos:

3.5.1. Necesidad de nutrientes

Existen principales nutrientes como son el fósforo y el nitrógeno, en el suelo se encuentra una concentración suficientes de nutrientes, caso contrario se puede adicionar mayor cantidad al medio.

3.5.2. pH del suelo

El incremento de la mayor parte de los microorganismos es en un intervalo de pH entre 6 y 8. El pH también daña directamente en la solubilidad del fósforo y en el transporte de metales pesados en el suelo. La reducción del pH en el suelo se puede dar adicionando azufre o compuestos del azufre.

3.5.3. Temperatura

Las especies bacterianas a menudo prosperan en un rango de temperatura relativamente pequeño, de 15 a 5 °C (condiciones termofílicas), biodegradación reducida debido a la desnaturalización de enzimas a temperaturas superiores a 0 °C e inhibición por debajo de 0 °C.

3.5.4. Humedad

Para el desarrollo de microorganismos se requiere condiciones mínimas de humedad, ya que el agua sirve como vehículo de transporte a través del cual los compuestos orgánicos y los nutrientes se mueven hasta la célula, un exceso de humedad inhibe el crecimiento bacteriano al reducir la concentración de oxígeno en el suelo. El rango varía según la técnica. Estructura química de los residuos alimentarios. Maroto A. (2006).

3.6. Principales métodos de biorremediación

Entre las técnicas de biorremediación tenemos: bioventeo, tratamiento en tierra, biorremediación incrementada, reactores de fase lodo, atenuación natural, fitorremediación, compostaje, biodegradación con hongos, entre otros.

En esta monografía se va a revisar cuatro métodos de biorremediación:

- Tratamiento en tierra, llamado “landfarming”
- Compostaje
- Biorremediación intrínseca
- Biorreactor de lodo

3.6.1. Tratamiento en tierra

El tratamiento en tierra fue probablemente introducido en la literatura científica por un artículo que describe el tratamiento por biodegradación de los lodos aceitosos en suelos (Dibble y Bartha, 1979). El proceso de extracción del suelo implica el uso controlado de los residuos del suelo, lo que resulta en la degradación biológica y química del proceso. El proceso de landfarming se basa en principios aplicados a la agricultura y el objetivo de controlar el biociclo de los compuestos naturales. Las condiciones de biodegradación de las poblaciones

microbianas nativas naturales son optimizadas por la dilución de suelos contaminados con suelos limpios, por la remoción del suelo para reducir la toxicidad inicial, así como por el control de parámetros físicos, tales como la aireación, pH, contenido de humedad del suelo, y temperatura. La aireación es a menudo lograda por la remoción del suelo (Figura 1) o, en sistemas más automatizados, por aireación forzada. Cuando se emplea aireación forzada, el terreno deberá ser cubierto y el aire de salida debe ser limpiado usando filtros. Para lograr el control de temperatura, aire caliente, o el “efecto invernadero”, puede ser empleado en un sistema cerrado.

Figura 1:

Sistema de remoción de suelo en la técnica de landfarming.



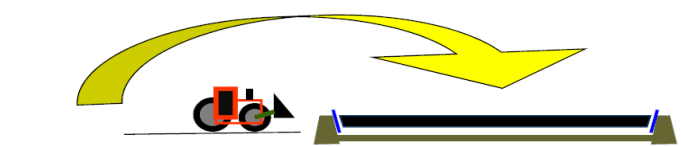
Nota: EPA (2014)

Landfarming

De acuerdo a Suarez (2013), nos indica “Es una tecnología donde incorpora capas de plástico impermeables y otros métodos de control de lixiviación de contaminantes, requiere excavación y colocación en el lugar de suelo contaminado, sedimentos o lodos. El material contaminado se aplica en camas y periódicamente es arado para airear el residuo”.

Figura 2:

Esquema de la tecnología de tratamiento en tierra



Nota: EPA (2014).

3.6.1.1. Estudio de caso: landfarming de porteña

- **Ubicación:** Porteña, Córdoba, Argentina

Como ejemplo de este proceso, está el caso agrícola de Porteña, provincia de Córdoba, donde se introdujo tecnología de descomposición aeróbica en el suelo mediante oxidación en condiciones controladas de pH, humedad y temperatura, nivel mantenido por labranza.

El componente principal es el suelo, generalmente menor de 60 cm, dependiendo de la herramienta de labranza utilizada. Básicamente, el proceso funciona como una instalación agrícola donde los cultivos están compuestos por microorganismos capaces de utilizar residuos de alimentos convencionales como fuente de nutrientes y energía.

Como se trata de una operación específica del sitio, es esencial controlar el movimiento de los materiales para evitar que se transporten materiales potencialmente peligrosos a través del sitio. Suelo y subsuelo e impactos en el área circundante, agua y / o aire.

Figura 1:

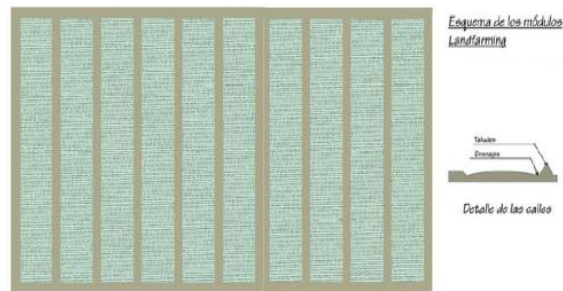
Biorremediación por Landfarming de Porteña-Panorámica 2



Nota: Patiño (2008).

De los vehículos de transporte asignados a cada canal de tratamiento, las aguas residuales se distribuyen, por tuberías de recogida y conductos a cada celda, luego de ser revisadas por el director técnico de Planta para el estado o idoneidad del suelo en funcionamiento, responsable de la operación del vertedero. (Ver Figura 4).

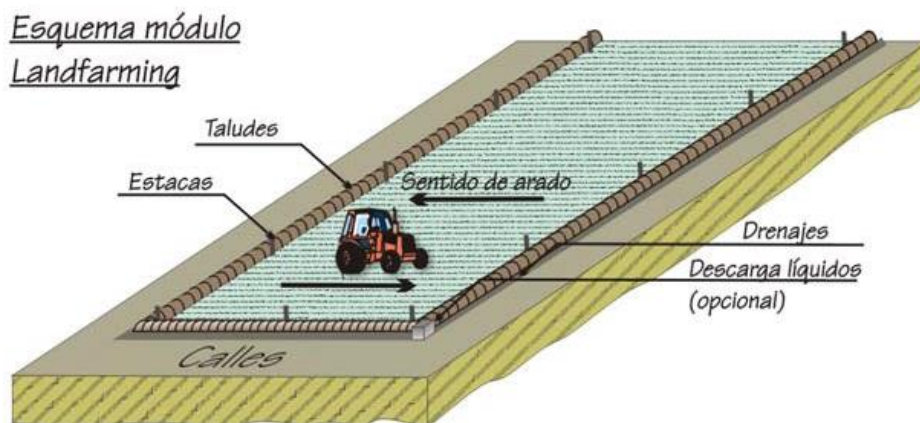
Figura 2:

Detalle de los módulos de Landfarming La Porteña

Nota: Patiño (2008).

Según Patiño (2008), señala que “Las parcelas deben tener una pendiente máxima del 0,2%, la pendiente máxima no corrosiva, con la finalidad de regar las aguas residuales, para retener los líquidos vertidos y evitar pérdidas por desbordes en el fondo de las parcelas. Se debe mantener la limpieza del sitio, nivelar las parcelas y la textura de las repisas o terraplenes”.

Figura 3:

Esquema de la celda en Landfarming La Porteña

Nota: Patiño (2008).

Los biosólidos (se transportan en camiones) pueden aplicarse directamente al suelo o acondicionarse mediante Gravedad; se realiza además con implementos agrícolas para el caso de barros del tipo pastoso y en el caso de aplicación directa, esta se inicia normalmente con la preparación del lote, que se lleva a cabo con el implemento conveniente. Siempre es necesario la revisión de las máquinas para que la aplicación conserve la dosis prevista en todo el lote.

Luego del esparcido, el biosólido es incorporado al suelo utilizando disco, rastra y rolo u otro tipo de implemento mecánico.

Remoción, aireación, labranza y biodegradación: Dependiendo de las propiedades del material descompuesto, del suelo y de las condiciones climáticas disponibles, los materiales se incorporan en módulos en la interfase sólida - el líquido debe acondicionarse, como porcentaje incluyendo aceptabilidad.

a 12% de materia seca. La distribución regional permitirá la evaporación del agua para transportarlo. El pH de trabajo oscila entre 6 y 8, óptimamente 7,

Cuando las condiciones de evaporación y la concentración de áridos lo permitan, se procederá, si es necesario, a distribuir mejor posteriormente el material, realizar la oxidación por primera vez. Las bacterias en presencia de carbono, nitrógeno y fósforo activan el ciclo energético. Finalmente, si las condiciones lo requieren, aquí se pueden agregar bacterias específicas para confirmar la degradación esperada, posiblemente dependiendo de la composición química del residuo, se buscarán compuestos similares en las muestras de suelo para verificar el proceso de degradación. Aquí, el metabolismo de las bacterias produce energía, donde la acción de las enzimas oxida el carbono a dióxido.

La duración gestionada por todos estos parámetros es muy amplia, el rango de procesamiento varía de 6 a 18 meses. Los valores ideales muestran que la duración promedio del tratamiento es de 5-9 meses, su desventaja es de más de 12 meses.

La capacidad varía de 20 a 60 toneladas de residuo seco por hectárea y por año (rango base).

Siempre se hace trabajos en la tierra para la homogenización y la aireación, con varios voleos con sistema de arado de discos para la aireación.

La profundidad del volteo recomendada es 0,10 m a 0,30 m.

Según Patiño (2008), no indica que “Entre las tareas de remediación se enumeran las siguientes: siembra de cultivos de escarda para extraer nutrientes; encalado con sulfato de calcio, corrección de pH, agregado de urea, fósforo y potasio; agregado de catalizadores biológicos y cepas de bacterias no indígenas”.

3.6.2. Compostaje

Según Miller (2003), señala “Es una descomposición biológica aeróbica de materiales orgánicos en el cual las condiciones son estrictamente controladas a fin de ayudar a los microorganismos termofílicos a transformar los materiales orgánicos en un producto más estables, tipo suelo. El compostaje como proceso ocurre cuando los materiales son descompuestos por microorganismos presentes en el suelo. Sin embargo, la velocidad de descomposición es tan baja que algunos materiales difícilmente muestran algún signo de descomposición. A fin de aumentar estas velocidades y usar el compostaje con propósitos industriales, es necesario optimizar el crecimiento microbiano. El proceso de compostaje es iniciado por bacterias mesofílicas, las cuales son biológicamente activas a temperaturas entre 30 a 45°C. La degradación de la materia orgánica resulta en producción de calor debido a las reacciones exotérmicas que se realizan. Por lo tanto, la temperatura aumenta entre 50-60°C y por lo tanto facilitando el desarrollo de bacterias termofílicas. Las bacterias termofílicas pueden aumentar aún más la temperatura debido a su actividad metabólica, y si las condiciones no se controlan cuidadosamente, la temperatura puede exceder los 70°C, lo que conduce a menor actividad microbiana. A fin de evitar esto y lograr eficiencia máxima, las condiciones necesitan ser optimizadas. Esto significa optimizar la concentración de oxígeno, pH, contenido de humedad, relación Carbono a nitrógeno (C: N) y tamaño de partícula”.

Los métodos empleados deben permitir de adecuados niveles de oxígeno, como se mencionó previamente. Dentro de la estructura, agentes estructurales tales como aserrín de madera y gusanos de tierra han sido exitosamente usados para aumentar el espacio vacío en el

compost. El compost, aparece después de la descomposición de la materia orgánica y es generalmente como el humus de color oscuro con una textura migajosa y olor a tierra. Un buen compost es estable, ya no se descompone más, y que no contiene microorganismos peligrosos para la salud humana. Durante el compostaje. Los compost constituyen un material para mejorar suelos muy valiosos y puede ser usado como sustituto de fertilizante para suplementar nutrientes a las plantas debido a un elevado contenido de materia orgánica.

El compostaje puede ser usado como un método para estabilizar y disminuir lodos residuales, desechos industriales, desechos de campo, y residuos municipales. Recientemente, el compostaje ha sido aplicado para el tratamiento de desechos peligrosos tales como explosivos y residuos del petróleo. Existen varios tipos de compostaje con las mismas etapas generales, pero difieren en costos de capital y de operación y en la manera en que ellos logran las condiciones apropiadas para el crecimiento bacteriano y en el tiempo requerido para completar su tarea. Los métodos empleados pueden clasificarse entre tres categorías generales:

- Apilado en filas que se renuevan
- Apilado estático aireado
- En un depósito

Las características de cada método se dan en forma de resumen en la Tabla 2.

3.6.2.1. Factores que influyen en el proceso de compostaje

Se basa en la actividad de los microorganismos, para que estos microorganismos vivan y descompongan la materia orgánica, es necesario tener en cuenta los principales factores que afectan el proceso y afectan directamente la calidad del compost. Conteo final de microorganismos viables. Los factores más resaltantes según APROLAB (2007), son:

“Evaluación de la materia orgánica disponible: es importante determinar la cantidad y calidad de la materia orgánica que se dispone semanal, mensual y/o anual, para elaborar un programa de producción. Otras consideraciones a tener en cuenta son el porcentaje de humedad

y el grado de descomposición de los residuos orgánicos. Entre más fresco están los residuos, mayor es la calidad nutricional”.

Instalaciones: “Se debe tener un área determinada para el compost que debe estar cerca al sitio de producción de desechos vegetales y animales para así facilitar el acceso al transporte. Es importante que las instalaciones tengan con un piso firme (piso cemento) y protección en épocas de lluvias, para evitar exceso de humedad en las pilas de compost y la pérdida de los nutrientes solubles en agua. Sin embargo, también pueden tener instalaciones mucho más baratas con un piso firme bien compactado y plástico de color para proteger las camas de las lluvias”.

Figura 4: Diferentes instalaciones para producir microorganismos eficaces-compost.



Nota: APROLAB (2007).

La de la izquierda con plástico y piso de tierra bien compactado. En la derecha instalaciones techadas y piso de cemento.

En el verano puede cubrir las pilas con rastrojera de cosecha, se debe evitar la luz directa de los rayos del sol ya que pueden afectar los microorganismos benéficos, para ello se debe mantener la humedad de las pilas y reducir las pérdidas del nitrógeno por volatilización en forma de amoníaco

Figura 5:

Pilas de microorganismos eficaces-compost con rastrojos de cosecha en época de verano.



Nota: APROLAB (2007).

Relación Carbono/Nitrógeno: “La relación óptima de estos dos componentes para el inicio del compostaje con microorganismos eficaces está comprendida entre 25-35/1, esta relación disminuye hasta llegar a valores cercanos de 10 a 15/1 y es cuando el material está listo para ser usado. Cuando la relación C/N es mayor de 40; los microorganismos tardarán en descomponer los residuos por falta de nitrógeno, disminuyendo el rendimiento de compostaje, por el contrario; si la relación C/N es baja se producen pérdidas de nitrógeno en forma amoniacal debido a elevaciones considerables de temperatura”.

Tamaño de las partículas: APROLAB, (2007). Nos indica: “Las partículas demasiado grandes presentan poca superficie de contacto para ser atacadas por los microorganismos haciendo que el tiempo de procesamiento se alargue, el tamaño ideal de las partículas debe ser de 3 a 6 cm. Si en nuestra parcela contamos con rastrojos de cosecha es necesario picarlos con machete ó picadora mecánica, antes de mezclarlos con los residuos alimentarios”.

Figura 6:

Rastrojos de cosecha antes y después de picados.



Nota: APROLAB (2007).

Dimensiones de la pila: APROLAB (2007) Indica: “Las dimensiones de la pila de compostaje influyen básicamente en la aireación y temperatura de la pila, y por lo tanto en la transformación adecuada del material orgánico. Es importante mencionar que no existen medidas estándar de las dimensiones de pilas, sin embargo, se recomienda un ancho entre 0.8 a 1.50 m, una altura de 1.00 a 1,20 m y el largo dependerá de la disponibilidad del terreno. La altura puede variar según el clima de la zona, en climas cálidos se trabaja menor altura para que la pila no caliente en exceso y en climas fríos pilas más altas para mantener la temperatura”

Figura 7:

Dimensiones de pilas de compostaje.



Nota: APROLAB (2007).

Aireación (volteos) del EM-Compost: APROLAB (2007) Indica: “El objetivo de la aireación durante el proceso de compostaje es suministrar oxígeno para la degradación microbiana, controlar la temperatura y eliminar la humedad de la materia orgánica. Cuando

existe una mala aireación en las pilas de compostaje, se producen condiciones favorables para el inicio de las fermentaciones y las respiraciones anaeróbicas (degradación por la vía de putrefacción, generación de dihidruro de azufre (H_2S) esta situación se diagnostica por la aparición de olores nauseabundos, o fuerte olor a Amoníaco producto de la amonificación. Al inicio del compostaje se recomienda hacer volteos semanales ó quincenales, hasta que el material sea cosechado”.

Figura 8:

Volteos manual y mecanizado de las pilas de compost.



Nota: APROLAB (2007)

La inoculación de la pila: APROLAB (2007), señala que: “Tiene el objetivo de disminuir el tiempo de elaboración del abono orgánico, obtener un material microbiológico y nutricionalmente mejorado. El microorganismo eficaz promueve la transformación aeróbica de compuestos orgánicos, evitando que se liberen gases generadores de olores molestos (sulfurosos, amoniacaes y mercaptanos). Adicionalmente, evita la proliferación de insectos vectores, como moscas, ya que estas no encuentran un medio adecuado para su desarrollo. Además, incrementa la eficiencia de la materia orgánica como fertilizante, ya que durante el proceso de fermentación se liberan y sintetizan sustancias y compuestos como: aminoácidos, enzimas, vitaminas, sustancias bioactivas, hormonas y minerales solubles, que, al ser incorporados al suelo a través del abono orgánico, mejoran sus características físicas, químicas y microbiológicas”.

Control de humedad: APROLAB (2007), señala que: “El agua es requerida por los microorganismos para desarrollar sus funciones metabólicas, además, es utilizada como vehículo de transporte de nutrientes y productos de desecho. Un bajo contenido de humedad afecta el metabolismo microbiano, mientras que altos valores de humedad, con llevan a la acumulación de agua en las cavidades intersticiales, dificultando la difusión de O_2 y favoreciendo las condiciones de anaeróbicas. La humedad de la pila de compostaje debe oscilar entre el 50-70 %”.

Figura 9:

Control manual de la humedad.



Nota: APROLAB (2007).

Control de la temperatura: APROLAB (2007), señala que: “El control de la temperatura juega un papel muy importante en el proceso y la calidad final del EM- compost. La temperatura en la cama de compostaje comienza con una rápida elevación, a causa del metabolismo de los microorganismos. Se necesita calor para que la materia orgánica se descomponga, y garantizar la eliminación de patógenos y la inhabilitación de semillas, que puedan venir de los materiales empleados. Es importante mantener la temperatura de la pila de compost en un nivel intermedio entre 45 a 50 grados Centígrados. Temperaturas superiores a los 50-60 °C ocasiona la pérdida del nitrógeno por volatilización (amoníaco) y obtendremos un EM-Compost pobre en este nutriente”.

Figura 10:

Control de temperatura con termómetro para compost.



Nota: APROLAB (2007).

3.6.2.2. Estudio de caso: procedimiento de elaboración de em-compost en zonas altoandinas-peru.

Paso 1: Preparación del Terreno

El lugar donde van formar las pilas debe estar nivelado, limpio y sin piedras, para evitar que existan elementos que afecten y/o dificulten el proceso de compostaje.

Paso 2: Formación de las camas o pilas con los residuos orgánicos

Se coloca una primera capa de rastrojos de cosechas, esta capa debe tener una altura de 30 cm durante el proceso de compostaje, se procede a colocar la segunda capa, la cual corresponde al estiércol; esta capa debe tener una altura de 20 cm. Este procedimiento se repite hasta alcanzar un tamaño de compost entre 1.20 a 1.50 metros. Finalmente se procede a regar toda la cama ya formada tratando en lo posible de humedecerla con agua, teniendo cuidado que no hayan lixiviados.

Paso 3. Inoculación de los residuos orgánicos

Figura 11:

Volteo e inoculación de las pilas de compost.



Nota: APROLAB (2007).

Paso 4: Volteos, control de humedad y Temperatura

Posterior a cuatro días aproximadamente, la pila esta empieza a calentar y es necesario controlar la humedad, temperatura y hacer volteos una vez por semana.

Paso 5. Cosecha del EM-Compost

Según APROLAB (2007), señala que “Después de 6 semanas aproximadamente, la temperatura de la pila de compost empieza a bajar, el material tiene un color marrón oscuro, esponjoso y de un olor agradable a tierra; estos son indicadores que el compost está listo para ser cosechado. El EM-compost, se puede usar inmediatamente en los cultivos o se puede almacenar en sacos en un lugar sombreado. También se puede dejar madurando en el área de compostaje manteniendo una humedad del 14% para mantener la población microbiana benéfica”

Figura 12:

Cosecha y almacenamiento del compost.



Nota: APROLAB (2007).

3.6.3. Biorremediación intrínseca

se denomina biorremediación intrínseca o atenuación natural, a la que sobre muchos compuestos orgánicos se lleva a cabo por los microorganismos autóctonos, principalmente bacterias, del medio afectado (Rosenberg y Ron, 1996).

Una de las áreas más excitantes de la biorremediación es el tratamiento *in situ* de los suelos. La biorremediación *in situ* es un proceso natural que ocurrió cuando alguna vez los primeros microbios y el excedente de materia orgánica estuvieron presentes en el suelo. Este método explota las formas naturales del reciclado de nutrientes debido a los ciclos de nitrógeno y carbono. Estos ciclos en la actualidad son utilizados por el hombre para mejorar la degradación y reciclaje de desechos y los mismos ciclos son empleados por remediación *in situ* para limpiar contaminantes de los suelos. A continuación, se muestra una figura que esquematiza los procesos de degradación intrínseca que dispone el ambiente:

Figura 13:

Procesos de biorremediación intrínseca que dispone el ambiente



Nota: Litchfield (2003).

La principal ventaja del tratamiento *in situ* es que no es necesaria la excavación y no se requiere equipo especial. Esto significa automáticamente costos más bajos y menos disturbios del medio ambiente natural. Además, desde que no se requiere excavación el método es ideal para tratar áreas rocosas o aguas subterráneas. La técnica *in situ* es también usada para la descontaminación de aguas superficial o el tratamiento de riveras donde tanto el agua y el área están contaminados.

En el tratamiento *in situ*, la descomposición de los contaminantes es realizada por microorganismos nativos los cuales crecen sobre este suelo contaminado y pueden solamente sobrevivir en ese ambiente por el uso de las sustancias contaminantes como única fuente de energía. Estos microorganismos ya han sido forzados por las condiciones ambientales para adaptarse o morir o han sido modificados genéticamente. Si se desea que la descomposición microbiana continúe, más nutrientes, estrictamente seleccionados después de un chequeo detallado, deberán ser adicionados al suelo.

Si bien este método tiene varias ventajas existen también algunas limitaciones para su aplicación más amplia. Desde que la biorremediación *in situ* es un proceso lento no puede ser una buena alternativa si se requiere una limpieza inmediata. En algunos casos, el proceso metabólico de la degradación produce subproductos indeseables, los cuales podrían ser tóxicos. Las pruebas de trazabilidad se supone que son para detectar materiales peligrosos pero algunas veces las condiciones pueden ser alteradas del laboratorio al campo. La adición de nutrientes es realizada a través de perforaciones en el suelo. En algunos casos y cuando no hay un adecuado control en la distribución de nutrientes no hay certeza si las sustancias llegaron a su objetivo o si otras regiones también han sido invadidas por los nutrientes. Esto por supuesto implica que el proceso de remediación será prolongado y que la ecología de otra área ha sido alterada. Generalmente, la biorremediación *in situ* es más difícil de mantener bajo control que la biorremediación *ex situ* o biorremediación diseñada debido a que los controles

experimentales generalmente no están disponibles en los suelos contaminados (Litchfield, 2003).

3.6.3.1. Condiciones y limitaciones

Según King (2007), indica: “La capacidad intrínseca de asimilación de un medio depende de las habilidades metabólicas de los microorganismos nativos, del tipo de contaminante y, lógicamente, de la geoquímica y la hidrogeología en la zona. En relación con el oxígeno, y en un modelo muy simplificado, el proceso se definiría de la siguiente forma:

- En presencia de oxígeno (condiciones aerobias) los microorganismos convertirían en última instancia los contaminantes en dióxido de carbono, agua y masa celular microbiana (mineralización).
- En el caso de escasez de oxígeno (condiciones anaeróbicas), los microorganismos dependen de otros aceptores de electrones disponibles (nitrato, sulfato, formas oxidadas de Fe o Mn). Se trata de una biodegradación anaerobia, cuyos mecanismos y significado se están comenzando a comprender en los últimos años.

En condiciones ideales, los contaminantes se transformarían en compuestos químicos más simples, no peligrosos para los posibles receptores ni para el medio. Desgraciadamente, además de la propia recalcitrancia intrínseca de la molécula, hay bastantes factores que pueden limitar o impedir la atenuación natural en un medio contaminado; algunos de ellos ya los hemos apuntado

- Carencia de nutrientes esenciales para los microorganismos (por ejemplo, nitrógeno y/o fósforo).
- Ausencia de aceptores adecuados de electrones (generalmente oxígeno).
- Inexistencia de condiciones medioambientales apropiadas (pH, potencial redox, humedad, temperatura).

- Ausencia de poblaciones microbianas con el potencial enzimático adecuado necesario para degradar los contaminantes.
- Presencia de componentes tóxicos en la mezcla contaminante

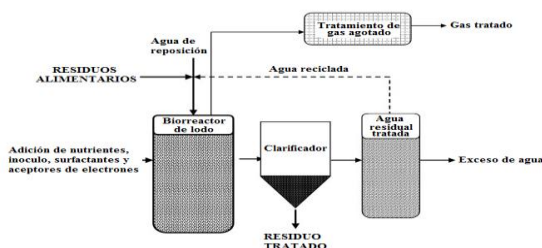
Si aportamos al medio alguno de los elementos de los que carece o bien potenciamos los existentes, favoreceremos la eliminación del posible contaminante. En muchos casos este tipo de intervención será necesario para reforzar el proceso natural o bien para implantar unas condiciones que reduzcan el riesgo”.

3.6.4. Biorreactor de lodo

En los sistemas de tratamiento con el biorreactor de lodo, los suelos contaminados son excavados y mezclados con agua para formar un lodo que es mecánicamente aireado en un tanque reactor. Los contenidos del reactor son agitados para promover el rompimiento de los agregados de suelo, mejorar la desorción de los contaminantes de los sólidos de suelo, mejorar el contacto entre los residuos y los microorganismos, y mejorar la oxigenación del lodo. Diferentes sustancias tal como surfactantes, dispersantes y materiales que soportan el crecimiento microbiano son adicionadas al lodo para mejorar el tratamiento del suelo contaminado y aumentar la capacidad de biodegradación. La temperatura también es controlada para minimizar el crecimiento microbiano. La concentración de la biomasa es igualmente importante para el mantenimiento de la degradación de modo que los microorganismos puedan ser adicionados en el lodo tanto al comienzo como durante el proceso (Figura 16).

Figura 14:

Diagrama de flujo de una instalación típica de birreactor de lodo.



Nota: Castaldi (2002).

En muchos casos los suelos contaminados deben ser pre-tratados antes que estos se introduzcan al reactor. Una molienda física del suelo reduce los costos de mezclado y agitación. El fraccionamiento de los suelos puede reducir el volumen total el cual es necesario para tratar y aumentar la velocidad de degradación de los contaminantes. Otros investigadores han sugerido que es necesario tratamiento adicional, tal como la adición de hidróxido de sodio y cloruro de sodio para neutralizar la acidez de los suelos y dispersar las partículas de arcilla para atrapar los contaminantes. Un lodo típico puede funcionar solamente bajo las siguientes condiciones: adición de oxígeno, nutrientes y bacterias suplementarias y regulación de temperatura y pH a fin de mantener el óptimo del crecimiento y actividad microbiana. Los biorreactores de lodo generalmente tienen un costo más alto que los sistemas in situ debido al alto grado ingeniería necesaria. Sin embargo, para el mismo compuesto la velocidad de biodegradación es mayor en biorreactores de lodo que los biorreactores con técnicas in situ (Castaldi, 2002).

3.7. Biorremediación aplicado a la industria alimentaria

3.7.1. Biorremediación en la industria de procesamiento de vegetales y frutas.

Las industrias que procesan frutas y vegetales son una parte muy importante de la industria alimentaria especialmente en los países del Mediterráneo donde la agricultura todavía permanece como una de las principales fuentes de ingresos. Nuestro país es un gran productor de frutas y vegetales procesados. Las exportaciones en este rubro alcanzaron 710 millones de dólares en el año 2009. Las principales exportaciones son: espárrago congelado, espárrago en conserva, ajíes en conserva, mango congelado, mango en conserva, jugo de limón con más de 20 Brix, jugo de maracuyá, etc. (Albareda, 2010)

La industria de conservas de frutas y vegetales, la industria de vegetales congelados, la industria de deshidratación de vegetales, la industria de secado de frutas y vegetales, las pulpas

de frutas, concentrados de jugo de tomate y concentrados de frutas pertenecen a esta categoría. Estas industrias pueden operar estacionalmente desde el tiempo de operación depende de la producción de frutas y vegetales que ellos procesan. Esto significa que la contaminación medioambiental de los desechos de estas industrias también será estacional. De acuerdo a la etapa de proceso, diferentes tipos de residuos pueden ser producidos y por lo tanto contribuyen con diferentes porcentajes a la formación del desecho de proceso final.

Los residuos en las industrias de procesamiento de frutas y vegetales generalmente contienen cantidades grandes de sólidos suspendidos y una demanda bioquímica de oxígeno (DBO) muy alta. Algunos otros parámetros generalmente de interés en el tratamiento de residuos son el pH, demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto y sólidos totales. Valores indicativos de DBO, DQO, sólidos suspendidos (SS) y pH para el procesamiento de algunas frutas y vegetales están resumidos en la Tabla 3. Como ya se ha descrito, los desechos de la industria de frutas y vegetales consisten de varios subproductos con un pH ácido, y un contenido de humedad entre 80 – 90%. La composición química de los residuos varía y depende de la fruta o vegetal procesado. En general, los residuos consisten de hidrocarburos y relativamente pequeñas cantidades de proteínas y grasa. Los hidrocarburos son principalmente azúcares y nitrógeno y fibras de celulosa. Las aguas residuales contienen compuestos disueltos, pesticidas, herbicidas y productos químicos de limpieza. Estas diferencias en la naturaleza del residuo requieren tratamiento en forma separada (Albareda, 2010).

Si bien los residuos sólidos son tratados principalmente por compostaje, los biorreactores de lodo y el tratamiento en tierra debido a sus resultados superiores pueden también constituir dos opciones de tratamiento. Un pre tratamiento es necesario para remover el agua y neutraliza el pH para asegurar mejores condiciones para el crecimiento y desarrollo microbiano. Agentes estructurales también son adicionados para mejorar la porosidad del lodo y disminuir la densidad a granel. El incremento de porosidad puede ayudar en el drenaje del

agua, el cual puede ser realizado por gravedad o ejerciendo una presión sobre el residuo. En algunas investigaciones el residuo fue dejado al aire abierto de modo que el exceso de agua fue evaporado. Los agentes estructurales empleados incluyen aserrín, papel, compost maduro, ramas, y residuos del café. Por supuesto, cada industria prefiere emplear lo más fácil disponible y, en particular, los subproductos de su propia producción. Los materiales estructurales pueden parecer más útiles de solo incrementar la porosidad debido a que ellos también pueden aumentar la relación C: N debido a su alto contenido de carbono. Además, la adición de materiales estructurales puede afectar el pH. Se ha reportado, por ejemplo, que la adición de aserrín de pino y residuos molidos del café puede aumentar el pH del lodo de fruta. Aditivos que son usados para aumentar el pH incluye la ceniza de madera y la cal.

Las pilas aireadas son más frecuentemente usadas para el tratamiento de residuos sólidos de las industrias de frutas y vegetales debido a que este método permite un mejor mezclado de los desechos mientras que más fácil adicionar humedad, nutrientes o más residuos para procesarlos si es necesario. Sin embargo, si se usa inicialmente una pila estática, entonces después el compost tiene que ser movido a una pila aireada para un mayor curado.

El compost es el producto final que se obtiene mediante la biodegradación de la materia orgánica, en condiciones controladas de temperatura y humedad, entre 50 y 70°C, destruyendo así los patógenos y esa es toda la seguridad del producto.

La estrecha relación entre el contenido de materia orgánica del suelo y la fertilidad del suelo es un hecho probado y ampliamente aceptado. La materia orgánica mejora su estabilidad, aumenta la porosidad y la capacidad de retención de agua, promoviendo así el intercambio de gas y agua, así como la capacidad exploratoria de los sistemas radiculares de las plantas. Asimismo, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, facilitando la fijación de nutrientes, manteniéndolos por más tiempo para las plantas. Asimismo, aumenta la aglomeración del suelo y el crecimiento de su microflora. Por todo ello, uno de los medios más importantes de

regeneración de los suelos consiste en incorporar en ellos materia orgánica para recuperar sus propiedades a través de todas las acciones directas o indirectas. (Costa, 1991).

3.7.1.1. Obtención de productos de mayor valor añadido

Existe una gran variedad de procesos aerobios y anaerobios de interés industrial en los que se tratan diferentes sustratos con diversas especies de microorganismos, tanto en cultivos puros como poblaciones mezcladas.

3.7.1.1.1. Producción de metano

Según Mata (1998), indica: “Se llama metanización de residuos sólidos al proceso de fermentación anaeróbica de los componentes orgánicos de los mismos. Dicha fermentación es producida por bacterias que se desarrollan en ambientes carentes de oxígeno. La fracción de residuos de transformados vegetales que se deposita en vertedero es susceptible de someterse a tratamiento con el resto de residuos urbanos para la obtención de metano. Durante una etapa intermedia el proceso de transformación de la materia orgánica (digestión) dichas bacterias producen un gas denominado por su origen biogas, el cual se compone fundamentalmente de metano (CH_4) y de dióxido de carbono (CO_2). Los porcentajes de participación de estos gases son variables y dependen de las condiciones físico-químicas en que se desarrolla la digestión de la materia prima. El metano se puede utilizar en la producción de energía eléctrica y de energía térmica”.

3.7.1.1.2. Obtención de bioalcohol

Según Lázaro. (1994), indica “La obtención de etanol por fermentación alcohólica, ha cobrado interés debido a la posibilidad de utilizar alcohol como combustible. La fermentación alcohólica es realizada por una variedad de microorganismos completamente anaeróbicos o aeróbicos a partir de azúcares presentes en diversas formas de biomasa. Estos azúcares se encuentran en forma de polímeros: almidón y celulosa. Los residuos generados por la industria conservera de frutas y hortalizas, por su contenido en celulosa, pueden utilizarse como fuente

de energía renovable, evitando así su acumulación. La fracción celulósica de los residuos, se transforman mediante hidrólisis en glucosa, que por fermentación se convierte en combustible”

3.7.2. Biorremediación en la industria del aceite de oliva

La industria de aceite de oliva representa una industria importante en distintos países del mundo, lo cual los convierte automáticamente en una fuente importante de aguas residuales. Solo en el Perú se cuenta con 9500 hectáreas de olivar, las que producen alrededor de 200 mil toneladas anuales, de las cuales se exporta cerca de 140 mil toneladas. A nivel nacional existen 5 fábricas autónomas con sus propios olivares (Siicex, 2009).

En el proceso de extracción del aceite de oliva, se forma un residuo de la pulpa de la aceituna, el jugo de la fruta (jugo de verdura) y el grano triturado, conocido como alperujo. Es muy contaminante, pero una vez compostado, puede utilizarse como fertilizante orgánico en agricultura ecológica o mezclado con turba o bonote, como sustrato para macetas para cultivos sin suelo.

A nivel mundial se estima que se esta industria genera cerca de 300 millones de m³/año de aguas residuales. El residuo líquido, un jugo de color oscuro, contienen sustancias orgánicas tales como azúcares, ácidos orgánicos, poli-alcoholes, pectinas, coloides, taninos y lípidos (Tabla 4).

El biotramiento de las aguas residuales de una fábrica de aceite de oliva es conducido tanto aeróbica como anaeróbicamente llegando a diferentes resultados. El tratamiento aeróbico es realizado de tal forma que el oxígeno necesario para el proceso de lodo aireado es proporcionado por una unidad externa, la cual proporciona al lodo residual con oxígeno puro o aire. Este proceso presenta muchas dificultades en la operación conforme la biodegradación se realiza, procede muy lento y puede operar eficientemente solo si la concentración en la alimentación está en el orden de 1 g DQO/l. Sin embargo, este valor de acuerdo a la información dada en la Tabla 4 se vuelve irreal, conforme la DQO promedio para el agua residual del aceite

de oliva llega a ser 100 veces más alta. Además, los procesos aeróbicos no pueden remover eficientemente ciertos contaminantes persistentes, tales como los polifenoles y sustancias colorantes. Para bajar la carga contaminante se ha sugerido mezclar las aguas de alcantarillado con las aguas residuales de las fábricas de aceite de oliva, lo cual no solo da un mejor resultado de biodegradación de los contaminantes, sino que también reduce los costos en forma significativa. Una planta a gran escala que realiza el tratamiento combinado de efluentes de la planta de aceite de oliva con las aguas residuales domésticas está en operación desde 1999 en Bitonto, Italia. Las altas concentraciones de fenol y ácidos orgánicos en las aguas residuales de aceite de oliva demostraron un aumento de fito-toxicidad bajo ciertas condiciones, haciendo la biodegradabilidad aún más difícil y haciendo que el compost final no sea utilizable. La remoción de polifenoles de las aguas residuales ha sido extensamente estudiada. Investigadores han desarrollado un proceso en el cual una biomasa especial remueve los polifenoles y lípidos antes del tratamiento aeróbico. Otros investigadores usaron especies del hongo *Pleurotus* para decolorizar las aguas residuales de producción de aceite de oliva obteniendo resultados positivos después de 17-30 días.

La descomposición anaeróbica de las aguas residuales de una fábrica de aceite de oliva ha demostrado que conduce a mejores resultados sobre contaminantes orgánicos, azúcares, polifenoles, pectinas, etc. La velocidad de crecimiento de estos microorganismos es apreciablemente más baja que las velocidades correspondientes para aeróbicos y las rutas metabólicas requiere varias poblaciones microbianas en serie, lo cual hace más delicado el control de proceso que los procesos aeróbicos. Varios procesos anaeróbicos, tales como un lago artificial, donde en contacto anaeróbico se hace fluir fangos de residuo anaeróbico hacia arriba haciendo salir el agua descontaminada (Rozzy & Malpei, 2001).

Actualmente se ha reportado pruebas con resultados positivos del uso del vermicompostaje para los residuos sólidos de la industria del aceite de oliva. Se han optimizado

los procesos de vermicompostaje, utilizando residuos secos y húmedos, lo que les ha permitido ser utilizados como sustratos en estas tecnologías de bajo coste por empresas de cultivo de lombrices, empresas del mundo, sector del olivar y empresas públicas y privadas. Entre los diversos sustratos probados, los que consistieron en residuos de frijoles secos o húmedos mezclados con sólidos biológicos sobrantes de la planta de tratamiento de aguas residuales en una proporción de 8/1 ps / ps, así como lodos. Los frijoles húmedos precompostados son los más adecuados para utilizar en un sistema de vermicompostaje. Los productos finales de "vermicompost de tierra seca" y "vermicompost de tierra húmeda" cumplen con las especificaciones para el contenido mínimo de ingredientes activos en el compost. Por tal motivo pueden ser utilizados como abonos orgánicos en la agricultura convencional o como sustratos orgánicos en cultivos bajo cubierta con una efectividad similar a otras enmiendas orgánicas disponibles en el mercado. Asimismo, los bajos niveles en elementos tóxicos detectados en ellos permiten su uso en la agricultura ecológica.

3.7.3. Biorremediación en la industria de la fermentación

La industria de fermentación está dividida en tres principales categorías: cervecería, destilerías y producción de vino. Cada una de estas tres industrias produce residuos líquidos con muchas características comunes, tal como altos DBO y DQO, pero difieren en la concentración de compuestos orgánicos que determinan el tratamiento biológico que será seleccionado. La dificultad en el tratamiento de las aguas de desecho de las industrias de fermentación está en los flujos y las cargas de contaminantes que estas tienen.

Desde que las aguas residuales de la industria de fermentación contienen altas concentraciones de taninos, fenoles y ácidos orgánicos, el tratamiento anaeróbico resulta en un desempeño mayor. Meyer (2001) trató de comparar el tratamiento aeróbico con el anaeróbico de las aguas residuales de una cervecería alemana. El tratamiento anaeróbico alcanzo una reducción de 91% de DQO a ritmos de carga de hasta 20 g DQO/l.día, mientras que el proceso

aeróbico dio como resultado una reducción de 76% con un ritmo de carga de 69 g DQO/l.día. A fin de optimizar las condiciones del tratamiento anaeróbico es necesario regular algunos parámetros como la acidez y la temperatura de las aguas residuales de cervecería altamente concentrada por la aplicación de un reactor anaeróbico de flujo ascendente con manto de lodos - UASB (upflow anaerobic sludge blanket). En un experimento se mostró que las condiciones óptimas para el tratamiento de aguas residuales de cervecería en un UASB fueron de 40°C y 5-6 de pH (Susuki. 2007).

La cantidad y carga de un residuo de destilería varía de acuerdo a la materia prima usada. Por ejemplo, la carga biológica para melazas es 3 veces mayor que para las pasas de uva. Varios investigadores han probado a nivel de laboratorio la habilidad del hongo de raíz blanca *Trametes versicolor* para el tratamiento de aguas residuales de destilería basado en melazas. Todas las condiciones que afectan el tratamiento del agua residual, tal como pH, nutrientes y fuente de carbono, fueron probadas a diferentes concentraciones para determinar su relación con la reducción de DQO, decoloración y disminución del contenido de amonio en el agua residual. El empleo de bajas concentraciones de sacarosas en conjunto con el uso exclusivo de KH_2PO_4 como un nutriente resultó en 82% de decoloración, 77% de reducción de DQO, y un 36% de disminución en ella concentración de nitrógeno amoniacal.

Se ha reportado buenos resultados con el uso del reactor UASB para ser aplicado a los residuos de una destilería basada en melaza. Pero otro reactor, del cual se ha reportado mayor desempeño es el reactor de lecho de lodo granular expandido más conocido como reactor anaeróbico de lecho fluidizado. Es otra innovación la cual puede jugar un rol importante en el futuro de las aplicaciones de tratamiento anaeróbico. También se conoce como lecho de lodo granular expandido (EGSB: expanded granular sludge bed), el cual consiste de dos o más compartimientos UASB en la parte superior entre uno y otro. Méndez et al. (2013) reportó que usando una EGSB, un flujo de carga orgánica de 3 – 6 veces mayor que la carga de un UASB

convencional puede tratarse con igual eficiencia de remoción. El EGSB también trató aguas de desecho con alto contenido de lípidos (los cuales producen espuma) más eficientemente que el UASB. En general las ventajas del EGSB requieren configuraciones más complicadas que otros tipos. Los lechos fluidizados o expandidos anaeróbicos consisten de partículas inertes de tamaño de arena, contenidos en una columna, la cual se expande con el flujo ascendente del agua de desecho a través de la columna. Las partículas inertes actúan como una superficie de apoyo para el crecimiento de microorganismos adheridos. Este sistema es conocido por su gran área superficial para la adhesión de la película y excelentes características de mezclado para el contacto de biomasa-sustrato (Valdés y Obaya, 2003).

En las fábricas de vino, los métodos de tratamiento son basados en principios similares a las industrias de fermentación mostradas previamente. Experimentos conducidos tanto en laboratorio como a escala industrial demostraron que con el uso de una planta de tratamiento con lodo activado multi-etapas, es posible reducir el nivel de DQO hasta un 98% cuando el contenido en el influente varía entre 2000 y 9000 mg/l de DQO. Uno de los principales problemas en los residuos de una fábrica de vino es la presencia de vinaza, la cual necesita ser tratada biológicamente por 4-8 días a fin de reducir por 90% la DQO (Bell, 1992).

3.7.4. Biorremediación en la industria láctea

La industria láctea contribuye substancialmente a la contaminación de aguas superficiales y suelo. Los principales residuos de estas industrias son residuos líquidos químicamente modificados. Las características principales de los residuos de la industria lechera pueden ser resumidas de la manera siguiente:

- Carga orgánica alta (sustancias grasas, etc.)
- Grandes variaciones en el abastecimiento de los desechos
- Variaciones considerables en el pH (4.2 – 9.4)
- Carga relativamente grande de sólidos suspendidos (400 – 2000 mg/l)

Las aguas residuales de la industria lechera pueden contener proteínas, sales, sustancias grasas, lactosa y varios tipos de producto químicos de limpieza. Los detergentes representan la porción más grande de productos químicos usados en las lecherías. Los detergentes pueden ser alcalinos o ácidos y son usados para diferentes propósitos. Los hidróxidos o sales alcalinas son responsables para la alcalinidad de los detergentes. Ellos son principalmente adicionados para disolver y remover proteínas, pero ellos también ayudan a eliminar grasas a través de la saponificación. El hidróxido de sodio es el detergente alcalino más ampliamente usado, pero para aplicaciones especiales puede ser reemplazado o mezclado con otras bases fuertes. Los ácidos son usados para remover los depósitos inorgánicos o las llamadas piedras de leche. Para eso propósito, ácido nítrico o ácido fosfórico son usados tanto solos o en combinación.

Ambos detergentes alcalinos y ácidos a menudo contienen aditivos para mejorar su capacidad de limpieza. Estos son fosfatos, agentes secuestrantes, surfactantes y algunos componentes menores como agentes dispersantes, agentes anti-espuma e inhibidores.

Además de la contaminación originada directamente por los productos químicos de limpieza, las aguas residuales de lecherías contienen fósforo y nitrógeno de los residuos de producto removidos por el proceso de limpieza. A nivel mundial, el total de estos dos contaminantes produce una carga por año de 850-1788 toneladas de fósforo y 3337 – 5217 toneladas de nitrógeno por la limpieza y desinfección de las instalaciones de la industria láctea. La presencia de detergentes y sus aditivos en los residuos lácteos influye fuertemente en la DQO total en contraste con la leche, crema o suero (Tabla 5).

Sin embargo, los detergentes también presentan dificultades en su tratamiento. Se ha demostrado que, por ejemplo, el carbonato de sodio pasó un sistema de tratamiento de efluentes de dos etapas sin alteración y fue descargado al río. Se ha estimado que un tercio del orto fosfato de sodio que se produce es utilizado en tratamiento biológico de aguas residuales. Si

bien el carbonato de sodio afecta el ecosistema acuático solo a concentraciones muy altas, aun una pequeña cantidad de fosfato de sodio puede inducir a la eutrofización. Es bien conocido que las algas necesitan nitrógeno, por ejemplo, nitrato de sodio, pero la presencia de fosforo en el agua superficial ha probado generalmente ser un factor limitante para el crecimiento de algas. Polifosfatos, el más importante de los agentes secuestrantes, conduce al mismo problema que el fosfato de sodio. De otro lado, el EDTA (Ácido etilendiaminotetraacético) usado como un sustituto para las polifosfatos, tiene una baja biodegradabilidad y permanece en las aguas residuales después del tratamiento. Si bien los peces no son envenenados, el EDTA a niveles de 11 mg/l puede inhibir el crecimiento de las algas. Además, el EDTA re-disuelve los metales de los lodos, y por lo tanto incrementa el contenido de metales pesados en el agua de desecho tratada. El EDTA también puede re-disolver metales de los sedimentos naturales de las aguas receptoras.

Los surfactantes son un grupo heterogéneo de componentes desde un punto de vista ecológico. Aparte de su producción indeseable de espuma, lo cual conduce a un abastecimiento insuficiente de oxígeno al sistema de lodos activados, los surfactantes han demostrado que afectan fuertemente el ecosistema de los ríos. Algunos de ellos transforman la clorofila de las plantas, mientras que otros son tóxicos a los animales acuáticos. Aun los surfactantes “blandos” a menudo usado en la actualidad pueden ocasionar disturbios en la vida de los peces cuando se aplica a concentraciones altas. Lo que es notable que una de las propiedades más importantes de los surfactantes sea su biodegradabilidad. Todavía no todos ellos requieren el mismo tratamiento desde algunos son degradables bajo condiciones aeróbicas y algunos bajo condiciones anaeróbicas. Por otro lado, no solo la biodegradabilidad, sino también la toxicidad tiene que ser consideradas cuando se investiga los efectos contaminantes de los surfactantes. Generalmente hablando, los surfactantes con mayor biodegradabilidad tienen mayor toxicidad (Maltz, 1998).

Se ha realizado una valoración de los diferentes tipos de sistemas de tratamiento aeróbico y anaeróbico para el procesamiento de residuos de la industria láctea. Utilizando el proceso de lodos activados se ha logrado una nitrificación parcial y asimilación de algo del fósforo (del 40 al 70%). La aplicación de precipitación química de fosfato también influye positivamente debido a que permite una eliminación de 80 a 90% del fósforo. En investigaciones a escala industrial se ha demostrado que un buen control de los parámetros puede mejorar la eficiencia del proceso de biorremediación. Por ejemplo, el uso de un reactor secuencial por lotes, controlado en forma automática para el monitoreo de pH y oxígeno disuelto permitió control del sistema independiente de las variaciones amplias de flujo y carga contaminante. Un estudio a escala piloto con un sistema aeróbico de lecho fluidizado rindió una remoción de DQO de 85 y 60% con cargas de 500 – 900 g DQO/m³. h. Se encontró que la grasa de la leche parece inhibir la actividad metanogénica y se sugiere que la concentración de grasa de leche deberá ser reducida a niveles debajo de 100 mg/l antes del tratamiento anaeróbico. Utilizando un reactor batch secuencial anaeróbico a escala de laboratorio se logró una reducción de 90% de la DQO con un sustrato de leche sintética. Los tratamientos anteriores son aplicables a las aguas residuales de las lecherías sin la presencia de productos químicos, los cuales, en la mayoría de los casos, se requiere tratamiento más sofisticado. Es muy difícil formular un tratamiento general para todos los productos químicos usados debido a que ellos son aplicados en combinaciones de más de dos. El uso de detergentes probablemente agravará más los tratamientos aplicados, según la industria química continuará desarrollando nuevas sustancias para propósitos de limpieza. Los efectos medioambientales de todos estos productos químicos tendrán que ser analizados. Además, la composición exacta de detergentes y desinfectantes no tiene que ser declarado o etiquetado en muchos países. Por lo tanto, el usuario final compra un producto mezclado, y le es imposible conocer que sustancias están contenidas en esa mezcla, y no están en posición de escoger sustancias con menor efecto

ecológico, aun si ellos quisieran hacerlo. Los fabricantes deberán dar a conocer a los usuarios finales los resultados de las evaluaciones del estudio de impacto ambiental de sus productos (International Dairy Federation, 2003).

3.7.5. Biorremediación en la industria de carne y avícola

Las industrias de la carne, avícola y de pescado producen las cargas más altas de residuos dentro de la industria alimentaria. La industria de carne comprende mataderos y unidades de procesamiento donde la carne es preparada, cortada en trozos y luego es congelada, cocinada, curada, ahumada o elaborada en embutidos. Los mataderos son los más importantes que las otras unidades en términos de contaminación ambiental. Los residuos que vienen de estas unidades contienen diferentes cantidades de sangre, grasas, residuos del intestino, hierbas de la barriga y estiércol. Los residuos son mejor separados en aguas residuales y desechos sólidos. El residuo sólido, como intestinos, pedazos de carne o huesos han sido usados como alimentos para animales después de procesarlos.

Las aguas residuales de los mataderos son típicamente más altas, tanto en humedad (90-95%) y nitrógeno, tiene una DBO alta y es oloroso. Investigadores han realizado un resumen de las tecnologías de tratamiento y desempeño en 44 plantas de procesamiento de carne en Nueva Zelanda, la mayoría de las cuales estuvieron ubicadas en zonas rurales. La investigación concluyo que el manejo de nitrógeno en aplicaciones sobre terreno y descarga directa para recibir el agua fue el punto de control crítico.

El pre-tratamiento de los residuos es necesario a fin de reducir la humedad y aumentar la porosidad. Agentes estructurales son empleados para hacer a los residuos lo suficientemente poroso para la aireación y para disminuir el contenido de humedad a valores entre 60 a 75% como una función de la fuente de carbono. En algunos casos donde se necesita agentes estructurales de alto carbono, el compost requirió la adición de nitrógeno inorgánico para optimizar la proporción C: N. Cuando los residuos son de un alto contenido de humedad, el

uso de solo agentes estructurales no es adecuado, debido a que se necesitaran cantidades grandes, lo cual elevará el costo del compostaje y exponiendo a un peligro la factibilidad económica del método. El pre-tratamiento también es necesario debido a que el lodo derivado del procesamiento aguas residuales contiene patógenos. Por lo tanto, un adecuado manejo es un pre-requisito para asegurar que los niveles de patógenos altamente potenciales sean eliminados.

Los desechos de avícolas son igualmente problemáticos como los residuos de la industria de carne debido a que la principal fuente de aguas residuales es el proceso de matanza. Investigadores han revisado las consideraciones que se debe tener para seleccionar un sistema de tratamiento para aguas residuales de procesamiento de aves, incluyendo la disponibilidad de terreno, historia previa del lugar, sistemas de tratamiento convencionales, y sistemas de aplicación de tierras. El desempeño de los sistemas de tratamiento anaeróbico, incluyendo lagos artificiales, procesos de contacto, lechos de lodo, filtros, lechos empacados, reactores híbridos fueron todos rechazados.

El pre-tratamiento también es necesario aplicarlo a los residuos avícolas para reducir la humedad y aumentar la porosidad con la adición de agentes estructurales, lo cual también aumenta la aireación y el nivel de carbón en el agua residual. Un tratamiento adecuado es necesario para eliminar patógenos. En un estudio a nivel de planta piloto demostró que la combinación de ozono y luz ultravioleta podría reducir la densidad de la población de *Salmonella typhimurium* en las aguas residuales de procesamiento de aves de 3.4×10^8 a 1.2×10^3 por ml después de 20 minutos de exposición (Ogunseitan, 2006).

CONCLUSIONES

Se realizó una revisión bibliográfica de los principales métodos de biorremediación aplicado a algunos procesos de industria alimentaria.

Se dio a conocer los principales métodos de biorremediación, en sus distintas formas: tratamiento en tierra, compostaje, biorremediación intrínseca y reactor de lodo. El compostaje en particular, constituyen “buenas técnicas” para resolver la contaminación ambiental debido a los residuos de la industria alimentaria.

En general, los métodos de biorremediación convierten a los contaminantes tales como los pesticidas, herbicidas y productos químicos de limpieza en sustancias no-toxicas.

El método que se más aplicaciones tiene para el tratamiento de aguas residuales de diferentes industrias de alimentos es el reactor UASB mejorado, conocido como el reactor de lecho de lodo granular expandido.

Se dio a conocer cómo se puede aplicar los métodos de biorremediación según las investigaciones hechas, a diferente escala, de distintos sectores de la industria alimentaria (frutas y vegetales, aceite de oliva, fermentación, leche, carne y aves), confirman la utilidad y potencial del biotratamiento de los residuos alimentarios.

REFERENCIAS

- Albareda, F. (2010). Mercado – Promo 2010. Cámara de Comercio de Lima. Prom Perú y MRE.
- APROLAB (2007). Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces. Programa de Apoyo a la Formación Profesional para la Inserción Laboral en el Perú.
- Baker, K. & Herson, D. (2004). Introducción y revisión de la biorremediación. *Bioremediation*. 1-7.
- Bell, C. (1992). Anaerobic/aerobic treatment in the food and beverage industry. In: Proc. 1992 Food Ind. Environ. Conf. p. 293. GA Tech. Res. Inst.
- Castaldi, F.J. (2002). Slurry bioremediation of petrochemical waste sludges. *Water Science Technology*, 25, 207–212.
- Costa, F. (1991). Residuos orgánico urbanos. Manejo y utilización. CSIC.
- Dibble, J. T. & Bartha, R. (1979). Effect of environmental parameters on the biodegradation of oil sludge. *Applied and Environmental Microbiology*, 37, 729–739.
- EC/UN-ECE (2004). Forest condition in Europe: results of the 1993 Survey. International Co-operative Program on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests. Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. *Brussels and Geneva: European Commission (EC) and United Nation Economy Commission for Europe (UN-ECE)*.
- EEA. (1995). In D. Stanners & P. Bourdeau, eds., Europe's environment: the Dorbris assessment. Luxembourg: European Environment Agency (EEA). Office for Official Publications of the European Communities.
- EPA. (2014). *Best Practice Note: Landfarming* ,[https://www.epa.nsw.gov.au/-/media/epa/corporate site/resources/clm/140323landfarmbpn.pdf](https://www.epa.nsw.gov.au/-/media/epa/corporate%20site/resources/clm/140323landfarmbpn.pdf)
- FAO. (2005). Forest resources assessment 2000. *Global synthesis*. Rome: FAO Forestry Paper 124.

- GZA GeoEnvironmental (2008). www.gzea.com/bioremediation/bioremediation.asp
- International Dairy Federation. (1993). Environmental influence of chemicals used in the dairy industry which can enter dairy wastewater. *Bulletin of the IDF*, No. 288.
- Lázaro, L. & Arauzo, J. (1994). Aprovechamiento de residuos de la industria de conservas vegetales. Hidrólisis enzimática. *Zubia* (12), 227-240.
- Levin, M. & Gealt, M. A. (2003). Overview of biotreatment practices and promises. In: M. A. Levin & M.A. Gealt, eds., *Biotreatment of industrial and hazardous waste* (1–18.). McGraw-Hill, USA.
- Litchfield, C. D. (2003). Biorremediación in situ: fundamentos y práctica. *Biotecnología de residuos industriales y peligrosos*.167–195.
- King, R.; Long, G. & Sheldon, J. (2007). Practical environmental bioremediation, the field guide. *Lewis publishers*, NY.
- Loehr, R.; Asce, M. & Overcash, M. R. (1995). Land treatment of wastes: concepts and general design. *Journal of Environmental Engineering*, 111, 141–159.
- Maltz, F. (1998). Los surfactantes de los detergentes. *Tenside Surfact. Deter.*, 25, 72–77.
- Maroto, A. (2006). Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas. GEOCISA – División de Protección Ambiental de Suelos.
- Mata, J. (1998). Plantas de biometanización para la fracción orgánica de los RSU: II Tecnologías. *Residuos*, (42) 72-75.
- Méndez, R.; Mena, R.; Castillo, E. & Sauri, M. (2013). Evaluación de un reactor UASB para aguas porcinas inoculado con líquido ruminal. *Ingeniería*, 17(1),41-55
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46729718004>
- Meyer, R.; Knirsch, M.& Pensechke, A. (2001). Disposal situation for brewery waste in Germany – results of a survey. *Brauwelt International*, 4; 477-481.

- Miller, F.C., (2003). Compostaje como un proceso basado sobre el control de factores ecológicamente selectivos. *Soil microbial ecology*, 515 -544.
- Ministerio del Ambiente, (2006). *La desertificación en el Perú. Cuarta Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Lucha contra la Desertificación y la Sequía*. Fondo Editorial del MINAM.
- Ministerio del Ambiente, 2010. Informe Anual de Residuos Sólidos Municipales y no Municipales en el Perú.
- NRC, (2003). In situ bioremediation: when does it work? (2–11). Washington, DC: *National Research Council Report. National Academic Press*.
- Ogunseitan, O. A. (2006). *Combined ozone-UV control of Salmonella typhimurium in poultry wastewater*. Paper presented at 69th Annu. Water Environ. Fed. Tech. Exposition Conf., Dallas, TX.
- Patiño, J. (2008). Manual de Operación: Landfarming (Procedimientos para el tratamiento biológico en suelos). *Boletín electrónico informativo sobre Productos y residuos químicos*
- Riggle, D. (1999). Revival time for composting food industry wastes. *BioCycle*, 29, 35-37.
- Rosenberg, E. & Ron, E. (1996). Bioremediation of petroleum contamination. In: Crawford RL & Crawford DL (Eds) *Bioremediation. Principles and Applications*. pp 100- 124. *Biotechnology Research Series 6*. University Press, Cambridge.
- Rozzi, A. & Malpei, F. (2001). Tratamiento y disposición de efluentes de una fábrica de aceite de olive. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 135– 144.
- Romney, A. (2000). CIP: cleaning in place (2nd ed.). Huntington, UK: *The Society of Dairy Technology*.

- Schaub, S. M. & Leonard, J. J. (1996). Compostaje: una opción alternativa para el manejo de residuos en las industrias de procesamiento de alimentos. *Trends in Food Science & Technology*, 7, 263–268.
- SIICEX. (2009). *Estudio de Mercado aceite de oliva – Perú*. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. Recuperado de: http://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/estudio/peru_aceite_2009.pdf
- Stanners, D. & Bourdeau, P. (2005). The Dobris Assessment, Europe's Environment: *The Dobris Assessment*. Recuperado de: <http://www.aughty.org/pdf/dobris.pdf>
- Suarez, R. (2013). *Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos*. Tesis de maestría. Universidad Libre, Institutos de Postgrados Ingeniería, Bogotá.
- Suzuki, H., Yoneyama, Y., & Tanaka, T. (2007). Acidificación durante tratamiento anaeróbico de aguas residuales de cervecería. *Water Science Technology* (G.B.), 35, 265.
- UNEP, (2002). *World atlas of desertification*. London: UNEP/Edward Arnold.
- UNEP, (2006). *Report of the region consultations held for UNEP's first global environment outlook*. Nairobi: UNEP.
- Valdés, E. & Obaya, C. (1993). "Tratamiento de los residuales mediante la producción de Biogás en la destilería del CAI Heriberto Duquesne". Informe Tarea Técnica. ICDCA.

ANEXOS

Tabla 1: Métodos de Biorremediación

Tecnología	Principio	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
Tratamiento en tierra	Sistema de tratamiento en fase sólida para suelos contaminados; puede hacerse in-situ o en una celda de tratamiento de suelo construido.	Procedimiento simple. Barato. Es el método más aceptado.	Velocidad baja de degradación. A veces se separa el residuo de la contaminación. Alto riesgo de exposición. Puede requerir largos periodos de incubación.	Contaminación superficial de suelos. Proceso anaeróbico. Niveles de contaminación de bajo a medio.
Compostaje	Proceso microbiano anaeróbico que convierte los desechos orgánicos sólidos en material sanitario, estable, tipo humus.	Velocidad de reacción más rápido. Económico. Auto-calentamiento.	Necesita agentes estructurales. Requiere aireación. Se necesita adición de nitrógeno. Alto riesgo de exposición. Contaminación residual. Los periodos de incubación de meses a años.	Contaminación superficial. Proceso aeróbico. Residuos agrícolas y humanos. Lodos residuales, residuos industriales, residuos, desechos del patio, residuos sólidos municipales.
Biorremediación intrínseca	Se basa en la capacidad de asimilación natural de la tierra para proporcionar una remediación en el lugar y controlar la migración del contaminante.	Relativamente baratos. Bajo riesgo de exposición. No se requiere excavación.	Velocidad baja de degradación. Bajo control de los parámetros ambientales. Necesita una buena caracterización hidrogeológica del sitio. Los periodos de incubación de meses a años.	Contaminación profunda. Condiciones de reducción aeróbica o de nitrato. Niveles de contaminación baja a media. Aceites y gasolina. Aromáticos clorinados. Hidrocarburos clorinados.

Biorreactor de lodo	El suelo y el agua son agitados juntos en el reactor.	Buen control sobre los parámetros. Buen contacto microbio/compuesto. Desorción mejorada de compuestos del suelo. Rápida velocidad de degradación. Los periodos de incubación son de días a semanas.	Alto desembolso de capital. Limitado por el tamaño del reactor. Alto riesgo de exposición.	Contaminación superficial. Compuestos recalcitrantes. Procesos aeróbicos y anaeróbicos.
---------------------	---	---	--	---

Nota. Adaptado de “Introducción y revisión de la biorremediación”, por K. Baker & D. Herson, 2004, *Biorremediation*.

Tabla 2: Métodos de Compostaje

Método	Tiempo de compostaje	Costo	Usos	Desventajas
Apilado en filas renovables	2-6 meses para residuos sólidos municipales	Bajo	Usado principalmente en combinación con la tecnología en depósito para curar el compost.	Difícil de control de las condiciones, temperatura, agua, concentración del olor.
Pilas airadas	6-12 semanas	Medio	Usados para lodos residuales, residuos sólidos municipales, desechos de campo y residuos orgánicos industriales.	Costo eléctrico continuado
En Depósito	Menos que una semana a 2 meses	Alto debido a los costos de instalación.	Todo tipo de desecho	Alto costo, manejo difícil y laborioso.

Nota: Schaub & Leonard, 1996

Tabla 3: Características de los residuos en la industria de procesamiento de vegetales y frutas

Fruta o vegetal	DBO	DQO	Sólidos suspendidos	pH
	mg/l	mg/l	mg/l	
Zanahoria	1350	2300	4120	8.7
Maíz	1550	2500	210	6.9
Tomate	1025	1500	950	7.9
alverjas verdes	800	1650	260	6.9
Cerezas	2550	2500	400	6.5
Uva-fruta	1000	1900	250	7.4
manzanas	9600	18700	450	5.9

Nota. Adaptado de “Revival time for composting food industry wastes”, por D. Riggle, 1999, *BioCycle*, 29.

Tabla 4: Composición química de la fracción orgánica y características de calidad del residuo del aceite de oliva.

Componentes			Valor (%)	Parámetros	Valor
Azúcares			2.0 – 8.0	DBO	43000 mg/l
Contenido	total	de	1.2 – 1.5	DQO	100000 mg/l
nitrógeno			0.5 – 1.55	SS	65000 mg/l
Ácidos orgánicos			1.0 – 1.5	ST	6.39%
Pectinas, coloides, taninos			1.0 – 1.5	pH	3 – 5
Lípidos					

Nota: Riggle, 1999

Tabla 4: DQO de la leche, productos lácteos, reactivos de limpieza y desinfección y sus ingredientes

Producto/substancia	Concentración (g/l)	DQO (g/l)
Crema, 30% de grasa	-	850-860
Leche entera, 3.5% de grasa	-	160-210
Leche acida	-	9 -100
Suero	-	68-75
Sulfonato de benzol dodecilo de sodio	0.1	0.216
Sulfato alquil etoxi de sodio	0.1	0.178
Cloruro de amonio dimetil dialquilico (C ₁₈ -C ₂₀)	0.1	0.235
Hidróxido de sodio	10.0	0
Acido fosfórico	10.0	2.250
Detergente y desinfectante 1 (con QAC)	10.0	0.017
Detergente y desinfectante 2	5.0	0.147
Detergente y desinfectante 3 (con surfactante)		

Nota. Adaptado de *CIP: cleaning in place*, por A. J. Romney, 2000, UK: The Society of Dairy Technology.