



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

TESIS

“BIOTECNOLOGÍA APLICADA AL MEDIO AMBIENTE”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA

PRESENTA

IVETH ANAIS JARAMILLO RODRÍGUEZ

MÉXICO, D.F.

2012





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: BENJAMIN RUÍZ LOYOLA
VOCAL: ADRIANA GUADALUPE MEJÍA CHÁVEZ
SECRETARIO: MARCO ANTONIO ORTIZ JÍMENEZ
1er. SUPLENTE: ATZIRI CORONA ROMERO
2° SUPLENTE: NIDIA MARIBEL MARIANO GARCÍA

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

**LABORATORIO D-201 EN EDIFICIO B, FACULTAD DE QUIMICA Y
BIBLIOTECA DE LA FACULTAD, UNAM**

ASESOR DEL TEMA:

BENJAMIN RUÍZ LOYOLA

SUSTENTANTE (S):

IVETH ANAIS JARAMILLO RODRÍGUEZ

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer a ese ser supremo que me puso en este lugar y me dio a mi hermosa familia, a quienes no tengo más que agradecerles por siempre estar a mi lado apoyando y dandome todo su soporte y cariño, esto es para ustedes. A mi madre por ser siempre tan dulce, amable por soportarme y aun así amarme de la forma incondicional más pura que he conocido, a mi padre por mostarme a ser fuerte a pesar de los problemas. A Daniel porque siempre has sido como un papá para mí, nunca lo había dicho pero gracias por todo lo que me has dado, a la bicha porque siempre me hechas porras y estás conmigo porque más que mi hermana eres mi amiga, gracias...Misael, aunque estas lejos nunca me olvido de ti y siempre has sido una persona que ilumina donde estas, y sé que siempre estarás a mi lado a pesar de la distancia. Isma! me enseñaste a hacer bien las cosas y a apreciar el conocimiento, a aprender por mí misma, porque además de todo eres mi colega y a pesar de todo te quiero mucho, Erika tú me enseñaste muchos valores, a luchar por lo que quiero y la lealtad a mi familia, a Conra porque eres mi hermano y siempre te guardare una profunda admiración, porque eres la persona más fuerte que he conocido, porque sé que es difícil estar lejos y tú lo has hecho de la manera más admirable. También a mí no comadre por aguantarme y siempre estar dispuesta a dar más por mi familia, eso siempre te lo agradeceré. A mis sobrinos porque aunque ahora son pequeños cada uno ilumina mi vida de una forma especial y la alegran con sus ocurrencias y sonrisas siempre sinceras, porque cada abrazo y beso suyo es suficiente para hacer que cambie mi estado de ánimo.

Beatriz tu sabia palabra siempre me hace sentir mejor y le das un sabor especial a mi vida, has estado en los momentos buenos y en los malos, eso hace un amigo y tú lo cumples, Teresa gracias por ser la persona más transparente y sincera tu forma de ser es única nunca la cambies, Karla por estar conmigo en esos difíciles momentos en la estancia en la facultad, por tu amistad sincera y siempre atenta. Corazón, porque me has demostrado que eres una de esas personas con las cuales puedo reír o llorar y nada cambiara, porque siempre has estado a mi lado con una sonrisa y diciendo “no te preocupes corazón, todo va a estar bien”. Gracias.

Me gustaría también agradecer a la UNAM por permitirme ser parte de esta gran institución, a mi facultad por darme los conocimientos para lo que viene y por darme las experiencias que me ayudaran en los siguientes pasos, porque también gracias a esta institución conocí a grandes amigos y profesores que dieron una visión diferente a mi perspectiva, entre ellos Ben Ruiz, especiales gracias a ti por siempre estar al pendiente y darme la mano, por tu sincera preocupación y por todo el apoyo en estos últimos pasos en la facultad, sin ti no lo hubiera logrado, por demostrarme que el ser una persona importante y la humildad van de la mano y por ser el ejemplo de ello.

Indice

CAPITULO 1. GENERALIDADES

1.1 Historia de la Biotecnología	3
1.2 Definición de Biotecnología	7
1.3 Biotecnología Medioambiental	7
1.4 Legislación Ambiental	8
1.5 Contaminación	11
1.5.1 Contaminación Industrial	15
1.5.2 Las aguas residuales	18

CAPITULO 2. MONITORIZACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

2.1 Muestreo de Agua	22
2.2 Análisis mediante métodos Físicos	23
2.3 Análisis mediante métodos Químicos	24
2.4 Análisis mediante métodos Microbiológicos	25
2.5 Monitoreo Fisiológico	25
2.6 Tecnología de Biología Molecular	26
2.7 Biomarcadores	30
2.8 Biosensores	33

CAPITULO 3. BIOTECNOLOGÍA Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

3.1 Tratamiento de las aguas contaminadas y residuales	41
3.1.1 Lagunas o estanques	45
3.1.2 Filtro percolador	47
3.1.3 Proceso con lodos activados	49
3.1.3.1 Parámetros de importancia en el proceso de lodos activados (aireación y tiempo de residencia)	50

3.1.4 Lecho fluido	53
3.1.5 Sistema de pozo profundo	54
3.1.6 Nitrificación	55
3.1.7 Desnitrificación	56
3.2 Tratamiento de los lodos residuales	58
3.2.1 Vertido en el mar	58
3.2.2 Vertederos	59
3.2.3 Incineración	60
3.2.4 Riego por aspersión	62
3.2.5 Compostaje	63
3.2.6 Zonas pantanosas artificiales	64
3.2.7 Digestión anaerobia	65
3.3 Biorremediación	71
3.3.1 Residuos inorgánicos	72
3.3.2 Bioadsorción	76
3.3.3 Precipitación extracelular	78
3.3.4 Otros residuos inorgánicos	80
3.3.5 Residuos procedentes del petróleo	80
3.3.6 Compuestos sintéticos orgánicos	88
3.3.7 Fitorremediación	90

CAPITULO 4. APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS POR METODOS BIOTECNOLÓGICOS

4.1 Fuentes de biomasa	94
4.2 Etanol a partir de biomasa	96
4.3 Metano a partir de biomasa	99
4.4 Hidrogeno	101
4.5 Recuperación de petróleo mediante Microorganismos	101

CAPITULO 5. CONCLUSIONES y PERSPECTIVAS

GLOSARIO	105
-----------------	-----

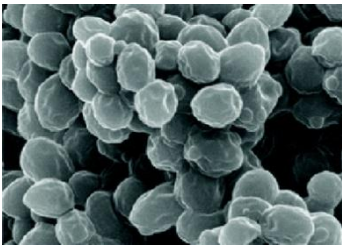
BIBLIOGRAFIA	107
---------------------	-----

Capítulo 1

Generalidades

“No hay nada más firme que la
incertidumbre de la ciencia”.
F. Nietzsche.

El alcohol es
probablemente el producto
más abundante y conocido
de la biotecnología
tradicional



Sacharomyces cerevisiae,
principal organismo
fermentador.

La biotecnología es una ciencia que se ha implementado desde hace años y que recientemente (a finales del siglo pasado) se ha definido, toma de varias materias diferentes conceptos y definiciones para así poder tener la aplicación exacta en uno de los problemas que en la actualidad aqueja al mundo, el cual es el cuidado ambiental, pero no solo en el caso de la remediación sino también de su cuidado.

1.1 Historia de la Biotecnología

El término “biotecnología” se usó por primera vez en 1919, y más adelante en 1938. En la antigüedad se aplicaba la biotecnología a la producción de alimentos y bebidas alcohólicas de manera empírica, no fue hasta finales del siglo XX cuando se le dio un carácter científico a esta disciplina, y esto se ha logrado gracias al progreso de nuestro conocimiento de los procesos biológicos subyacentes que se llevan a cabo. En la tabla 1 a continuación se enlistan algunos de los acontecimientos que se han dado a partir de los descubrimientos de Leeuwenhoek en 1650.

El primer documento biotecnológico que se encuentra notificado data del año 4000 a.C. en Egipto donde se relata la producción de bebidas alcohólicas, dicho proceso es mejor conocido hoy en día (Fig. 1), a partir de este proceso posteriormente daría paso a la obtención del vinagre, a la par se desarrollaron la fermentación de queso y yogur como una forma de aprovechar la leche.

AÑO	ACONTECIMIENTO
Antes de 1865	Bebidas alcohólicas (cerveza, vino) Productos Lácteos (queso, yogur) Otros alimentos fermentados
1865 - 1940	Etanol, butanol, acetona, glicerol Ácidos orgánicos (ácido cítrico) Tratamiento aeróbico de aguas residuales
1940 - 1960	Penicilina (fermentación sumergida) Amplia variedad de antibióticos Vacunas víricas Transformaciones microbianas de esteroides
1960 - 1975	Aminoácidos Proteína procedente de un solo tipo de célula (SCP) Enzimas (detergentes) Tecnología celular Tratamiento anaeróbico de aguas residuales (biogás) Polisacáridos bacterianos (xantanos) Gasohol
1975 - Hoy	Tecnología de Híbridomas monoclonales Ingeniería genética (1974) Insulina humana (1982) Plantas modificadas genéticamente (1992) Alimentos modificados genéticamente (1996) Clonación de la oveja Dolly (1997) Se termina la secuencia del proyecto del genoma humano (2000) Adición de genes bioluminescentes a organismos vivos (2003)

Tabla 1. Algunos Acontecimientos Biotecnológicos de Relevancia

La biotecnología surge como industria se produce la penicilina en grandes cantidades, a lo largo de las siguientes décadas se incorpora conocimiento científico a procesos tradicionales y se desarrollan nuevos productos para muy diversos sectores.

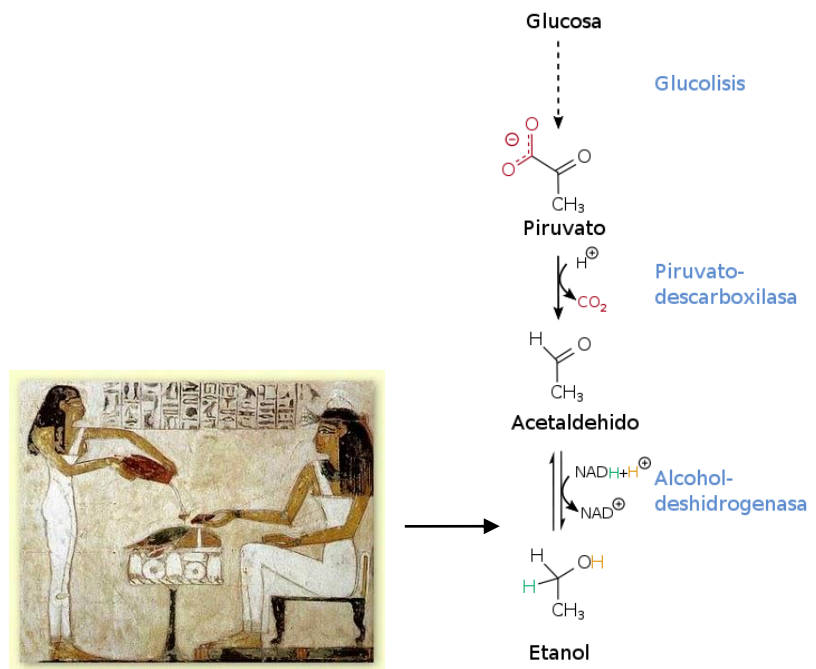


Fig.1 Producción de etanol antes y lo que se conoce ahora¹



Fig. 2 Reacción química efectuada por *Acetobacter aceti* para la producción de ácido acético (vinagre)

Con el avance en la investigación que involucra a organismos fermentadores, se han descubierto organismos que producen ácido acético en condiciones anaeróbicas y sin tener como intermediario al alcohol, como es el caso de los miembros de la familia *Clostridium* los cuales pueden a partir de azúcar producir este producto.

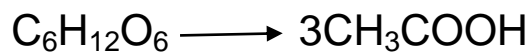


Fig. 3 Reacción que se lleva a cabo en condiciones anaerobias para la producción de vinagre.



Acetobacter aceti, usado para fermentación del vinagre.

¹ Stryer, Lubert (1975). *Biochemistry*. W. H. Freeman and Company. "Biología: La vida en la tierra", Teresa Audesirk, Gerald Audesirk; 2003; Pearson Educación;

La Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) ha alertado que dentro de 40 años habrá 2.300 millones de personas más en el planeta (9.000 millones de habitantes en 2050), lo que obligará a incrementar los alimentos en un 70%. Ante la falta de zonas de cultivo y los efectos del cambio climático, la biotecnología surge como una herramienta necesaria para afrontar esta situación

Como vemos los avances se incrementan con el paso del tiempo, pero no solo en materia de fermentación sino en todas las ramas en las cuales la biotecnología puede incursionar.

Así a través de los años y gracias a la intervención de múltiples personajes que tuvieron grandes descubrimientos en la materia se han podido ir sistematizando los diferentes procesos los cuales se han apoyado en la biotecnología, una de las aplicaciones más recientes es el caso de la ingeniería genética, donde se han tenido desarrollos que van desde la producción de insulina humana hasta la modificación genética de alimentos e incluso de las propias células (OMG) lo cual ha traído consigo una serie de opiniones a favor y en contra, hoy en día las empresas que se dedican a la producción de OMG ofrecen información acerca de dichos productos².

El tema de Organismos Modificados Genéticamente o por sus siglas OMG, es un tema delicado ya que aún no se conocen los efectos secundarios que habría al consumir este tipo de productos de manera constante, a pesar de ello existen cientos de productos que utilizan este tipo de tecnología sin prestar atención a las repercusiones que podría tener y esto es debido a que en México no existe una autoridad que regule o exija la indicación con etiquetas de los productos que han sufrido dicha modificación ya que con esta regulación los consumidores sabrían si desean o no consumirlo³.

Está claro que falta camino por recorrer y respuestas que contestar en varios temas relacionados con la biotecnología en todas sus áreas incluida la tecnología aplicada al medio ambiente.

² www.monsanto.co.uk

³ Los Transgénicos en México: Empresas, Marcas y Productos. Gustavo Castro y Ryan Zinn

1.2 Definición de Biotecnología

La biotecnología puede ser descrita como la aplicación de organismos, sistemas o procesos biológicos a la producción o a los servicios.

La Federación Europea de Biotecnología define biotecnología como “el uso integrado de la bioquímica, la microbiología, y la ingeniería para la consecución de aplicaciones de las capacidades de los microorganismos, células cultivadas animales o vegetales, o partes de los mismos en la industria, la agricultura, la salud y los procesos medioambientales.

1.3 Biotecnología Medioambiental

La biotecnología es una ciencia la cual tiene a su disposición una amplia gama de materias de las cuales toma su base, lo que hoy la convierte en una área multidisciplinaria, entre las cuales están la microbiología, bioquímica y biología molecular entre otras, para así en conjunto tener aplicaciones diversas.

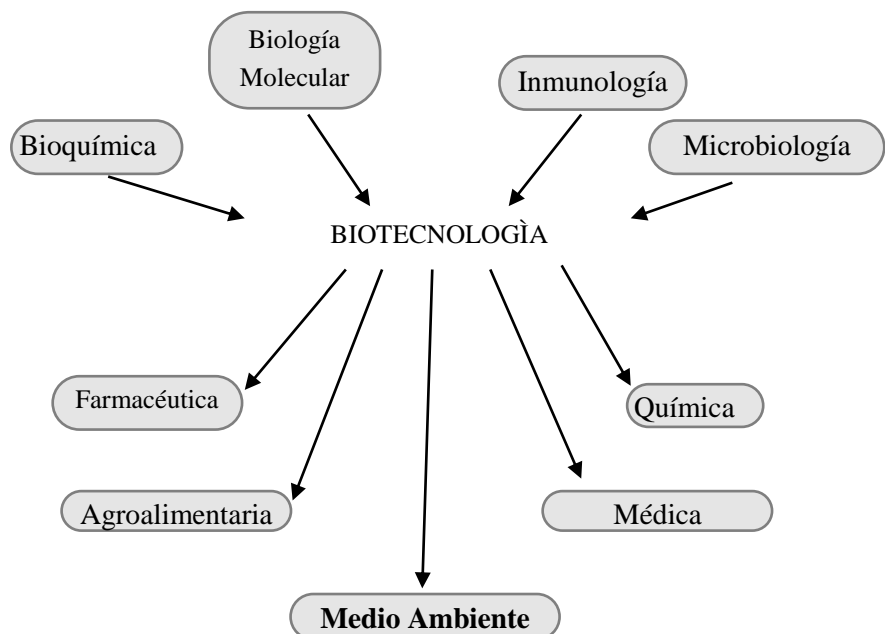


Fig. 4 Bases y aplicaciones de la Biotecnología.

Por lo tanto teniendo esto en cuenta, la biotecnología ambiental se define como la aplicación de todos los componentes de la biotecnología al tratamiento de problemas medioambientales, incluyendo el tratamiento de aguas, el control de la contaminación e incluso el tratamiento de residuos. Principalmente en esta área se contara con el área microbiológica esto es mediante las asociaciones de microorganismos de composición compleja y variable. Actualmente se están identificando y caracterizando mediante nuevos estudios microorganismos que existen e interaccionan en suelos, flujos de residuos domésticos e industriales así como en sistemas anaerobios.

La biotecnología también ofrece, la capacidad de monitorear y proponer soluciones a los problemas ambientales que son de importancia mundial, ya que como sabemos los accidentes que terminan en desastres ecológicos están a la orden del día, los cuales van desde vertidos marinos de petróleos hasta accidentes nucleares del tipo Chernobyl pasando por los que afectan la capa de ozono (dados por la liberación de CFCs) y destacando los que contaminan las aguas del planeta.

1.4 Legislación Ambiental

La parte legal se ha vuelto una punto de importancia, y es que esta se debe a la conciencia que se ha desarrollado en la sociedad debido a la posibilidad que se ha vuelto creciente en los últimos años en los que se habla constantemente de las consecuencias que trae consigo el seguir desperdiciando los recursos y contaminando el medio ambiente. Se han generado varios acuerdos, el primero en desarrollarse fue el “Acta de Salud Pública” (1848), en ella se hablaba de la sanidad y la salud pública, en las posteriores reuniones se comienza a considerar la importancia de mantener en buenas condiciones el medio ambiente, con el fin de asegurar el bienestar de las futuras generaciones.

AÑO	PROCEDENCIA	DOCUMENTO
1848 -	Reino Unido	Acta de Salud Publica
1957 -	EUA e Internacional	Tratado de Roma
1969 -	EUA e Internacional	Acta Nacional de Política Medioambiental y la Agencia de Protección Medioambiental establecida en 1970
1972 -	EUA e Internacional	Declaración de Estocolmo establecida por el programa de Medioambiente de las Naciones Unidas
1974 -	Reino Unido	Acta Para el Control de la Contaminación
1977 -	EUA e Internacional	Acta Federal de la Contaminación de Aguas
1982 -	EUA e Internacional	Acta para el Aire Limpio
1986 -	EUA e Internacional	Acta Única Europea
1987 -	EUA e Internacional	Protocolo de Montreal (ONU)
1990 -	Reino Unido	Acta de Protección Medioambiental
1991 -	Reino Unido	Acta de Los Recursos Hídricos
1991 -	EUA e Internacional	Tratado de Maastricht
1991 -	Reino Unido	Acta de las Industrias del Agua
1992 -	EUA e Internacional	Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medioambiente y Desarrollo
1994 -	EUA e Internacional	Convención sobre Biodiversidad
1994 -	EUA e Internacional	Tratado sobre Contaminación Marítima (MARPOL)
1995 -	Reino Unido	Acta Medioambiental

Tabla 2. Legislación de la Biotecnología Ambiental⁴

⁴ Modificado del libro

Básicamente en estos documentos se despliega información acerca de los lineamientos a los cuales se deben someter los países, para procurar el cuidado ambiental, así como tratados para disminuir las descargas en la contaminación de todo tipo.

Como vemos la legislación ha existido desde hace años atrás, en ella están involucrados países que son de primer mundo, y la realidad es que la conciencia y legislación deberían regir a todos los países ya que los países primer mundistas no se encuentran aislados, es decir, todos formamos una sola comunidad en la cual lo que hacemos nos afecta a todos.

En la mayoría de los países en desarrollo la situación es menos alentadora, ya que la financiación para la construcción de lugares de tratamiento de aguas y residuos es limitada o no existe, y hay escasez de personal entrenado para operar los sistemas.

Es de importancia que se difunda el conocimiento acerca de cómo podemos cuidar nuestro entorno, sobre todo en países en desarrollo, siendo la educación la principal base para la protección del ambiente.

Particularmente en México se cuenta con la SEMARNAT, la cual ha decretado una serie de leyes y de normas en pro del cuidado del ambiente, básicamente en ellas se hace hincapié a la necesidad del cuidado del ambiente, se habla de los límites permisibles de descarga (si se trata de una industria), además se dan instrucciones acerca de cómo se deben realizar ciertas operaciones como extracción de agua de mantos acuíferos de la forma más adecuada sin dañar el medio ambiente.

De acuerdo con estadísticas de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), cada año se presentan en México un promedio de 550 emergencias ambientales asociadas con materiales y residuos peligrosos. Dentro de los compuestos peligrosos más comúnmente involucrados en emergencias ambientales, se encuentran el petróleo y sus derivados (gasolinas, combustóleo, diesel), agroquímicos, gas LP y natural.

1.5 Contaminación

Antes de la era industrial, el hombre producía desperdicios en cantidades manejables por los ecosistemas, auxiliados por la práctica del composteo. El auge de la industria química y el crecimiento de la población han generado billones de toneladas de residuos muchos de ellos tóxicos, que se arrojan a la naturaleza.

El termino contaminación tiene una gran variedad de definiciones, entre las cuales se encuentra descrita como; aquellos parámetros o compuestos que, en determinadas concentraciones pueden producir efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, dañar la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales, esta definición se encuentra en varios documentos emitidos en el diario oficial de la federación en México, y se encuentra como la NOM-002-ECOL-1996.

Ahora, como sabemos existe una gran cantidad de contaminantes y varias clasificaciones, y haciendo referencia a lo que respecta a México, la NOM-003-ECOL-1997 menciona dos grandes bloques de contaminantes (Tabla 3), sin embargo existen más clasificaciones las cuales son más completas como la que se muestra en la Tabla 4 en ella se clasifican como desde compuestos orgánicos a metales y gases, los cuales son en parte descritos por las legislaciones antes mencionadas (Tabla 2), por ejemplo la Unión Europea tiene clasificados dichos contaminantes en una “lista negra” y una “lista gris” (la cual contiene contaminantes menos tóxicos). Por su parte el gobierno estadounidense mediante el organismo llamado EPA (por sus siglas en inglés; Agencia Estadounidense de Protección al Medioambiente) contiene una clasificación en la que sitúa a los compuestos de acuerdo a su toxicidad o carcinogenicidad.

Además de esto, existen organizaciones no gubernamentales que se encargan de ayudar con los problemas que afectan al medio ambiente, la más conocida de ellas es probablemente la fundación greenpeace, aunque de ellas existen una gran variedad.

CONTAMINANTES BÁSICOS	CONTAMINANTES PATÓGENOS Y PARASITOS
Aquellos compuestos que pueden ser removidos mediante procesos convencionales; grasas y aceites, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales	Son los microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora y fauna.

Tabla 3. Clasificación de contaminantes según la NOM-001-SEMARNAT-1996

INORGÁNICOS	ORGÁNICOS	BIOLÓGICOS	GASEOSOS
Metales; Cd, Hg, Au, Co, Pb, Cu, Cr, Fe Isótopos; radioactivos Nitratos, Nitritos, Fosfatos Cianuros Asbestos	Biodegradables; aguas residuales, residuos domésticos, agrícolas e industriales Petroquímicos; petróleo, gasoleo, BTEX* Sintéticos; pesticidas, organohalogenados, PHAs**	Patógenos; bacterias y virus	Gases; SO ₂ , CO ₂ , NOx, metales Volátiles; CFCs, VOCs*** Particulados

Tabla 4. Contaminantes Medioambientales⁵

⁵ Biotecnología Ambiental. Alan Scrag Ed Acribia, SA Zaragoza España 2002

* BTEX: Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno

**PHAs: Hidrocarburos poliaromáticos

***VOCs: Compuestos Orgánicos Volátiles

LISTA NEGRA
Compuestos Organohalogenados y sustancias que pueden formar tales compuestos en medio acuático
Compuestos Organofosforados
Compuestos Organoestánicos
Sustancias cuya actividad carcinogénica se presenta en el medio acuático
Mercurio y sus compuestos
Cadmio y sus compuestos
Aceites minerales e hidrocarburos del petróleo persistentes
Sustancias sintéticas persistentes

Tabla 5. Compuestos Tóxicos de UE⁶ “Lista Negra”

LISTA GRIS
Metales y compuestos
Biocidas y sus derivados no mencionados en la lista negra
Sustancias con un efecto nocivo sobre el sabor u olor de productos para el consumo humano provenientes de ambientes acuáticos, compuestos que generan estas sustancias en agua
Compuestos orgánicos tóxicos o persistentes de silicio y sustancias que dan estos en agua.
Compuesto inorgánicos de fósforo y fósforo elemental
Aceites minerales e hidrocarburos del petróleo no persistentes
Cianuros y fluoruros
Amoniacos y Nitritos

Tabla 6. Compuestos de UE “Lista Gris”

⁶ UE: Unión Europea

COMPUESTOS	EJEMPLOS
Compuestos Orgánicos Volátiles	Acroleína, Benceno, Cloroformo, Bromuro de Etilo, etc
Extraíbles con un solvente en condiciones neutras alcalinas	1,2-Diclorobenceno, Nafataleno, Nitrobenceno, Pireno, etc
Extraíbles con un solvente en condiciones acidas	Fenol, Pentaclorofenol, 2,4-Dimetilfenol, etc.
Pesticidas PCB y compuestos relacionados	Aldrina, Endrina, Clordano, Toxafeno, Dieldrina, etc.
Metales	Arsénico, Cd, Cu, Pb, Hg, Zn, Au, Tl. etc.
Miscelánea	Cianuros, Asbesto

Tabla 7. Compuestos propuestos por la EPA

La clasificación de compuestos entre las diferentes regiones varía y es debido al tipo de contaminación que se encuentra en cada región a mayores concentraciones.

Agua insegura y un bajo nivel de sanitización causan un 80% de las enfermedades en países en desarrollo.

Hablando de agua, el tema de contaminación es importante, aunado a su continuo desperdicio, al ritmo que se llevan estos acontecimientos en la actualidad se prevé que para los años venideros no sea suficiente para satisfacer las necesidades humanas a nivel mundial.

REGION	1990	1995	2000	2004	2010*	2015*
Africa	56	59	61	62	64	66
Asia + Pacific	74	77	80	82	84	86
Latin America + Caribbean	82	86	89	91	92	93
North America	100	100	100	100	100	100
West Asia	84	85	85		85	85
Europe		95	96	97	98	99
Global	77	79	82	83	84	85

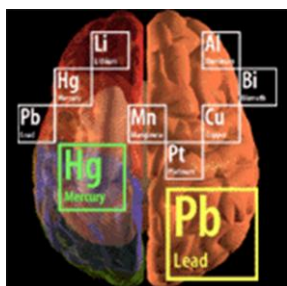
Fig. 5 Tabla de porcentaje de Cobertura de agua para beber⁷

⁷ Fuente: WHO/Unicef JMP 2004, UNEP GEO data portal

Como vemos la mayor parte del consumo se lleva en países desarrollados, pero este consumo trae consigo la necesidad de mejorar los saneamientos de las aguas residuales que se generan y la proyección que se ha realizado predice que no será suficiente, lo cual es alarmante.

REGION	1990	1995	2000	2004	2010*	2015*
Africa	38	40	42	44	46	48
Asia + Pacific	30	37	44	47	50	53
Latin America + Caribbean	68	72	75	77	79	81
North America	100	100	100	100	100	100
West Asia		66	69		72	75
Europe						
Global	48	52	57	59	61	63

Fig. 6 Tabla de porcentaje de la Cobertura de saneamiento de agua⁸



Bajo circunstancias normales, el cuerpo humano está equipado con un sistema inmunológico altamente efectivo para atacar las toxinas ambientales.

Sin embargo, los metales pesados, son tóxicos que pueden atravesar las defensas del cuerpo para causar trastornos.

La principal medida es la educación, para ayudar a conservar este recurso, además de la implementación adecuada de medidas que mejoren el tratamiento de las aguas.

1.5.1 Contaminación Industrial

La polución en su mayoría se agrava con la actividad industrial y es gracias a esta que la mayoría de los puntos críticos de contaminación se hacen presentes, la contaminación en este tipo de situaciones se da principalmente por metales, y estos como sabemos son claramente no degradados por los microorganismos, sin embargo es conocido que estos pueden almacenarlos, a esto se le conoce como bioacumulación debido a esta característica dichos organismos pueden ser utilizados para eliminar los metales pesados de aguas y de lugares contaminados.

Los metales ocurren de manera natural y son integrados a los organismos acuáticos a través de la comida y el agua, metales tales como el mercurio, cobre, selenio y zinc son esenciales en

⁸ Fuente: WHO/Unicef JMP 2004, UNEP GEO data portal

bajas concentraciones, sin embargo los metales tienden a bioacumularse en tejidos a concentraciones que pueden producir graves enfermedades, y como vemos las actividades humanas arrojan grandes concentraciones que no son encontradas de manera natural.

La acumulación de metales pesados, es muy peligrosa, desencadenando desde patologías cardiovasculares, problemas endocrinos hasta desordenes neurológicos y patologías psiquiátricas.

Cada año mueren más personas a causa de un agua insalubre que por muerte violenta, incluida la guerra.

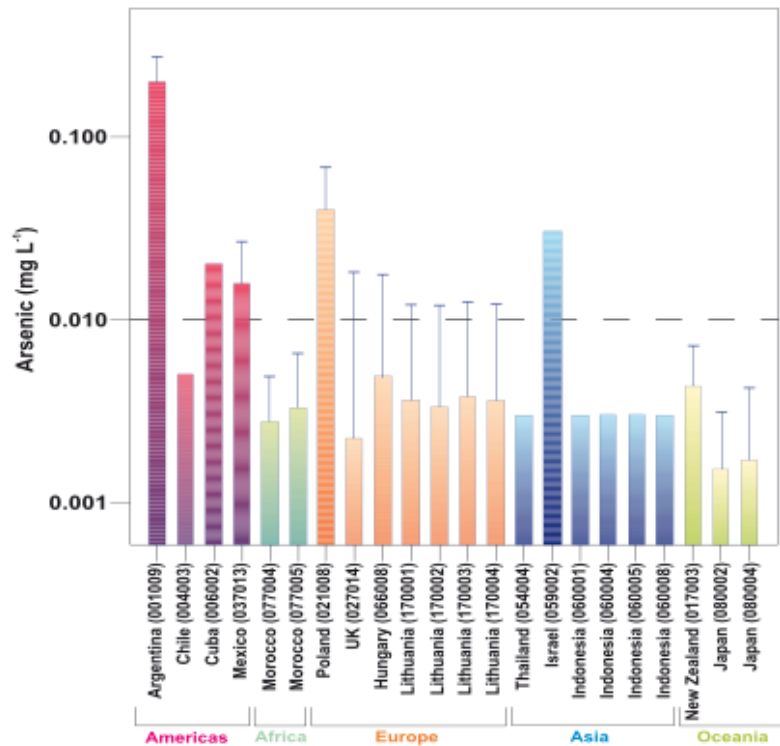


Fig. 7 Niveles de arsénico en muestras de agua⁹

Muchos de los productos químicos sintéticos producidos industrialmente que no son encontrados en la naturaleza son conocidos como xenobióticos, la degradación de estos productos químicos sintéticos depende de su estructura que puede influenciar en parámetros como su solubilidad y su toxicidad.

A menudo cuanto menor es la solubilidad de un compuesto en agua, mayor es su solubilidad en lípidos y por lo tanto su acumulación en tejidos grasos se verá incrementado, lo que los convierte en compuestos con un potencial tóxico.

⁹ Water Quality. UNEP - GEMS Water Programme. National Water Research Institute Ontario Canada 2009

En el caso de los compuestos orgánicos que contienen átomos de halógenos en general se degradan lentamente y la tasa de degradación se ve influenciada por el tipo de halógeno, su posición en la molécula y el número de átomos presente. En algunos casos lleva hasta 15 años o más el que un compuesto se reduzca un 50%, por lo tanto se vuelven acumulables en el medio ambiente. A pesar de que se han aislado algunos hongos y bacterias que pueden degradar este tipo de compuestos la desventaja es que lo hacen lentamente.

Referente a los microorganismos estos forman parte de las listas de los contaminantes, es debido a que al encontrarse presentes en el agua pueden generar un riesgo para la salud.

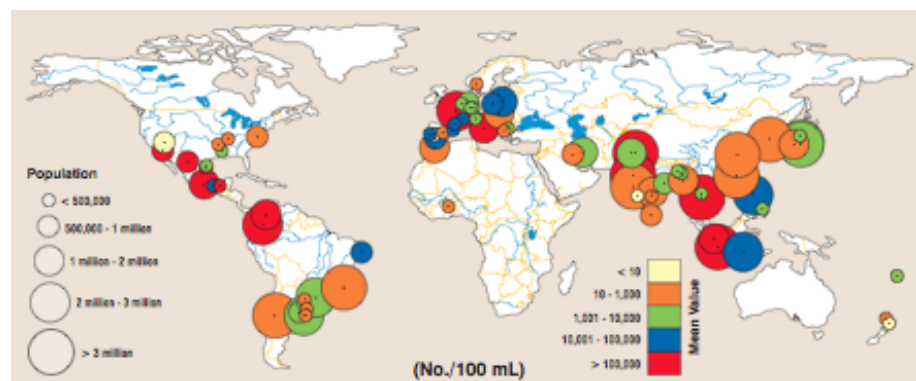


Fig. 8 Concentraciones de coliformes fecales tomadas de muestras de ríos¹⁰

Otro parámetro de importancia es la acidificación, es decir el pH del ecosistema acuático. Es importante porque se relaciona con la productividad biológica, pH entre 6.5 y 8.5 usualmente indican una buena calidad de agua y este rango es el que usualmente se encuentra en las cuencas del drenaje.

¹⁰ Water Quality. UNEP - GEMS Water Programme. National Water Research Institute Ontario Canada 2009

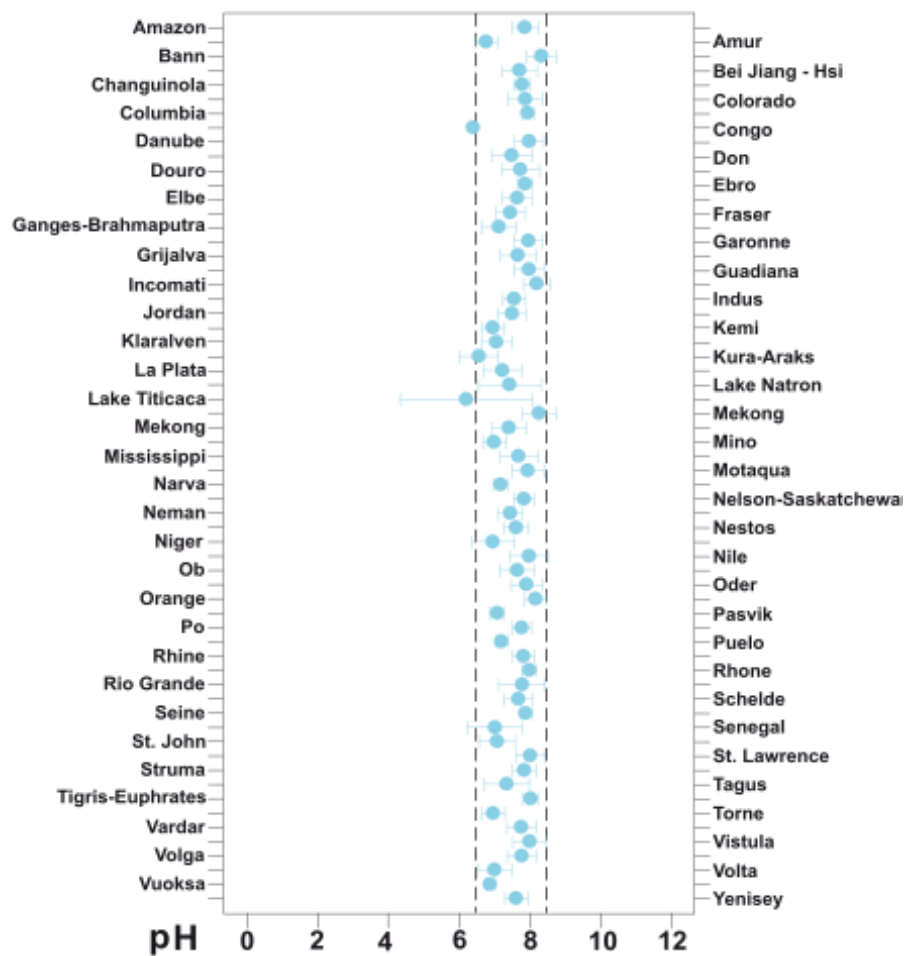


Fig. 9 pH de las cuencas alrededor del mundo¹¹

La biotecnología puede no ser una solución completa a la contaminación medioambiental pero puede funcionar como parte de un control físico-químico y microbiológico.

1.5.2 Las Aguas Residuales

Las aguas residuales contienen aproximadamente un 99.9% de agua en peso, que contienen material orgánico disuelto, sólidos suspendidos, microorganismos (patógenos) y un cierto número de otros componentes. Un ejemplo de la composición de las aguas residuales domesticas se muestra en la Tabla 8.

¹¹ Water Quality. UNEP - GEMS Water Programme. National Water Research Institute Ontario Canada 2009

COMPONENTE	CONCENTRACIÓN (MG/L)
Sólidos Totales	300 - 1200
Sólidos Suspendidos	100 - 350
Carbono Orgánico Total (TOC)	80-290
BOD	110 - 400
COD	250 - 1000
Nitrógeno Total	20 - 85
Amonio	12 - 50
Fósforo Total	4 - 15

Tabla 8. Concentración de algunos contaminantes encontrados en Agua¹²

PARÁMETRO	EXPRESAD O COMO	UNIDAD	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
Caudal Máximo		L/s	1.5 veces el caudal promedio horario del sistema de alcantarillado
Cianuro Total	CN ⁻	mg/L	1,0
Cloro	Cl	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/L	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	500,0
Fosforo Total	P	mg/L	15,0
Hierro Total	Fe	mg/L	25,0
Materia Flotante	Visible		Ausencia
Plomo	Pb	mg/L	0,5
Potencial de Hidrogeno	pH		5 - 9
Solidos Sedimentables		mg/L	20,0
Solidos Suspendidos Totales		mg/L	220,0
Solidos Totales		mg/L	1600,0
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/L	400,0

Tabla 9. Algunos Valores de Descarga Permisibles en México¹³

¹² Biotecnología Ambiental. Alan Scrag Ed Acibia, SA Zaragoza España 2002

¹³ Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo 1. Diario Oficial de la Nación Presidencia de la república.

La concentración varía y depende de las descargas que existan en cada proceso de producción, es decir, depende de los residuos producidos en cada industria, cabe mencionar que la ley en México tiene sus propios límites para estos parámetros (Tabla 9).

La demanda de oxígeno creada por el material orgánico en las aguas residuales se expresa normalmente como DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) en g/m^3 o en mg/L .

La demanda de oxígeno en las aguas residuales también puede ser estimada mediante una técnica química utilizando un agente oxidante, lo cual se conoce como demanda química de oxígeno (DQO).

En un agua residual típica, el 75% de los sólidos suspendidos y el 40% de material disuelto son orgánicos. Los materiales disueltos orgánicos son una mezcla de proteínas, carbohidratos, grasas y detergentes. En cuanto a las descargas industriales existe además de la descarga orgánica, otra cantidad de materiales disueltos que se derivan debido a los procesos que en cada una de ellas existe, dichos compuestos van desde, cloro, sulfatos, fosfatos, bicarbonatos, nitratos, amonio, ácidos, bases, compuestos tóxicos e inclusive metales pesados.

Cuando las aguas residuales son vertidas en vías fluviales se encuentran con una población de organismos que utilizan los compuestos orgánicos disueltos y que a su vez son parte de la cadena alimenticia de protozoos, insectos, gusanos y peses. En condiciones normales (es decir sin la presencia de desechos inorgánicos, metálicos o tóxicos) la población microbiana forma un ecosistema equilibrado.

Dicho ecosistema puede ser desestabilizado por la adición de un exceso de material orgánico metabolizable (que es lo que sucede en los grandes vertederos industriales), la adición de compuestos orgánicos metabolizable causa un incremento considerable en el crecimiento y metabolismo de la población microbiana aeróbica que utilizara todo el oxígeno disponible disuelto en el agua.

Sin embargo, si la adición orgánica es demasiado grande, el metabolismo microbiano mantiene las condiciones anaeróbicas, si estas condiciones persisten, hacen que los

microorganismos aeróbicos mueran y den paso a la proliferación de los organismos de metabolismo anaeróbico.

El metabolismo anaeróbico es más lento que el aeróbico, así que la tasa de degradación del material orgánico disminuye y consigo aumenta la acumulación de material orgánico, aunado a que el metabolismo anaeróbico produce gases tales como el ácido sulfúrico y el metano.

Capítulo 2

Monitoreo del Medio Ambiente

“La dificultad no está en aceptar las nuevas ideas sino en escapar de las viejas ideas”
KEYNES

Nos estamos acercando a una crisis medioambiental, en la cual el agua, el aire y el suelo son contaminados como resultado de las actividades humanas. Como respuesta a esto la conferencia de Estocolmo y la conferencia de Rio de Janeiro principalmente enfocaron su atención en varios puntos, entre ellos el desarrollo de bioindicadores y monitoreo ambiental.

Es de suma importancia contar con monitoreos constantes porque a pesar de que los desechos o contaminantes sean vertidos en lugares específicos, estos pueden transminarse y llegar a otros lugares, como mares, ríos, reservorios, estuarios, lagos o mantos acuíferos y en estos lugares la población podría tener un contacto más directo y resultar afectada, como en el caso de los habitantes de la isla japonesa Kyushu los cuales sufrieron los efectos tóxicos al comer pescado que contenía altas cantidades de mercurio, el cual provenía de afluentes industriales.

2.1 Muestreo de Agua

Para realizar un muestreo de agua residual se tiene que tener en consideración una serie de aspectos que tornan esta actividad difícil ya que la muestra tiende a ser variable en las diferentes partes de una misma zona.

Para obtener una valoración precisa, las muestras deberán ser tomadas durante un periodo de tiempo y en diferentes secciones y a diferentes profundidades.

Existe la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 se indica el procedimiento para la toma de muestras, así como la frecuencia con la que se deben realizar estos procesos, además de los limites generales en los cuales se deben descargar estas aguas residuales, sin embargo cada empresa tiene o cuenta con su propia metodología de muestreo.

RANGO DE POBLACIÓN	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DEL REPORTE
mayor de 50,000 habitantes	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 20,001 a 50,000 habitantes	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
de 2,501 a 20,000 habitantes	SEMESTRAL	ANUAL

Tabla 10. Recomendaciones de muestreo en descargas tipo municipal de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO T/D (TONELADAS/DÍA)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES T/D (TONELADAS/DÍA)	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 3.0	mayor de 3.0	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
menor de 1.2	menor de 1.2	SEMESTRAL	ANUAL

Tabla 11. Recomendaciones de muestreo en descargas tipo no municipales de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996

2.2 Análisis mediante métodos Físicos

Los métodos físicos que pueden usarse para determinar los niveles de contaminación y otros compuestos en el agua son en general los siguientes:

- Gravimétrico: el cual es usado para determinar sólidos suspendidos (SS) o sólidos totales y los niveles de sulfato.
- pH: condiciones acidas o alcalinas serán corrosivas y limitaran la actividad biológica. Es frecuentemente utilizado un electrodo de pH.
- Colorimétrico: el color y la turbidez son importantes en la calidad de las aguas. Pueden ser detectados usando

tubos de comparación, colorímetros o incluso espectrofotómetros.

- Oxígeno Disuelto: puede medirse con un electrodo de oxígeno, tomar esta medición se torna importante debido a que es necesario sustentar el oxígeno a microorganismos aeróbicos.
- Electrodo de Iones específicos: estos electrodos pueden ser usados para la detección de niveles de amonio, nitrato, nitrito, calcio, sodio entre otros.

Se tiene que tener en cuenta que al usar este tipo de instrumentos de medición, estos deben ser debidamente calibrados y estandarizados para evitar errores en la determinación de niveles de polución en el agua.

2.3 Análisis mediante métodos químicos

Aunados a los análisis físicos se deben realizar los estudios químicos, entre los cuales destacan métodos químicos estándar para la determinación de contaminantes del tipo cloruros, nitratos, nitritos y fosfatos. Los metales pueden ser determinados mediante métodos químicos o por absorción atómica. En tanto que para la detección de compuestos orgánicos requiere técnicas tales como el HPLC (cromatografía líquida de alta resolución) los cuales conectados a un espectrómetro de masas nos da como resultado los compuestos separados.

La demanda de oxígeno en el agua puede ser estimada midiendo la demanda química de oxígeno (DQO). La DQO se mide sometiendo a reflujo la muestra con dicromato de potasio en ácido sulfúrico concentrado con sulfato de plata como catalizador (es añadido sulfato de mercurio que funge como complejante de los cloruros presentes). La muestra se somete a reflujo durante dos horas y el dicromato potásico que queda se determina por titulación con sulfuro ferroso amónico. Esto

dará una medida diferente del oxígeno requerido para la oxidación del contenido de la muestra.

Una medida diferente es el carbono orgánico total (COT) que mide el carbono orgánico presente y no el requerimiento de oxígeno, una forma de medir el COT es por combustión eléctrica de la muestra y el dióxido de carbono formado se determina por infrarrojo.

Ambas medidas son útiles para definir el residuo en términos de su contenido total en carbono y de cuanto carbono puede dar lugar a una demanda química de oxígeno.

2.4 Análisis microbiológicos

Los métodos usuales microbiológicos son de análisis microscópico además también hay una variedad de métodos en los cuales se hace un conteo de microorganismos viables esto se realiza basándose en la premisa de que cada colonia proviene de una única célula.

Otros métodos directos para la estimación del número de microorganismos involucran al área de la inmunología mediante la aplicación de la citometría de flujo, esto es que mediante el uso de anticuerpos se puede detectar poblaciones microbianas y localizar a bacterias de manera específica.

Pero si se requiere saber de forma más específica el tipo de población microbiana entonces esto se realiza mediante la aplicación de medios selectivos de crecimiento, con este tipo de estudio se conocen las comunidades microbiológicas y el tipo de patógenos que las forman.

2.5 Monitoreo metabólico

La demanda biológica de oxígeno fue establecida en 1912 por la Comisión Real sobre el vertido de aguas residuales como un

parámetro importante en la calidad de las aguas. Desde entonces ha sido un parámetro clave en la monitorización de la calidad de las aguas y su tratamiento.

La demanda biológica de oxígeno (DBO) es una medida de la demanda de oxígeno en una muestra como resultado de su contenido orgánico.

El DBO se mide normalmente incubando una muestra del residuo, diluida si es necesario con un volumen de lodo activado. El lodo activado es una mezcla de organismos aeróbicos producida por el tratamiento del residuo. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación de cinco días.

El ensayo es lento, pero nos arroja resultados razonables con aguas residuales normales, pero es un resultado que proviene de un experimento biológico y se verá afectado por una serie de factores como lo son; el tiempo de incubación, la temperatura y los microorganismos presentes.

Para un residuo típico esto no presenta un problema, pero residuos que contienen altos niveles de material nitrogenado requerirán más de cinco días de incubación para asegurar la completa oxidación de dichos compuestos.

Si el residuo es muy resistente, el oxígeno será eliminado antes de que la oxidación sea completa y ciertos compuestos requieren de la presencia de determinados microorganismos para su oxidación.

2.6 Técnicas de Biología Molecular

La tecnología del ADN se ha tornado una herramienta muy útil en la ayuda para la solución al problema de contaminación ambiental, y es que nos permite usar la detección de genes o secuencias de ADN específicas, y por lo tanto microorganismos

en el medioambiente, la podemos usar para estudiar por ejemplo:

- La población adecuada y mejorada de microorganismos para los digestores aeróbicos y anaeróbicos.
- Aguas subterráneas contaminadas.
- Uso de microorganismos modificados genéticamente
- Procesos de biorremediación
- Detección de ecologías microbianas de suelos y agua.

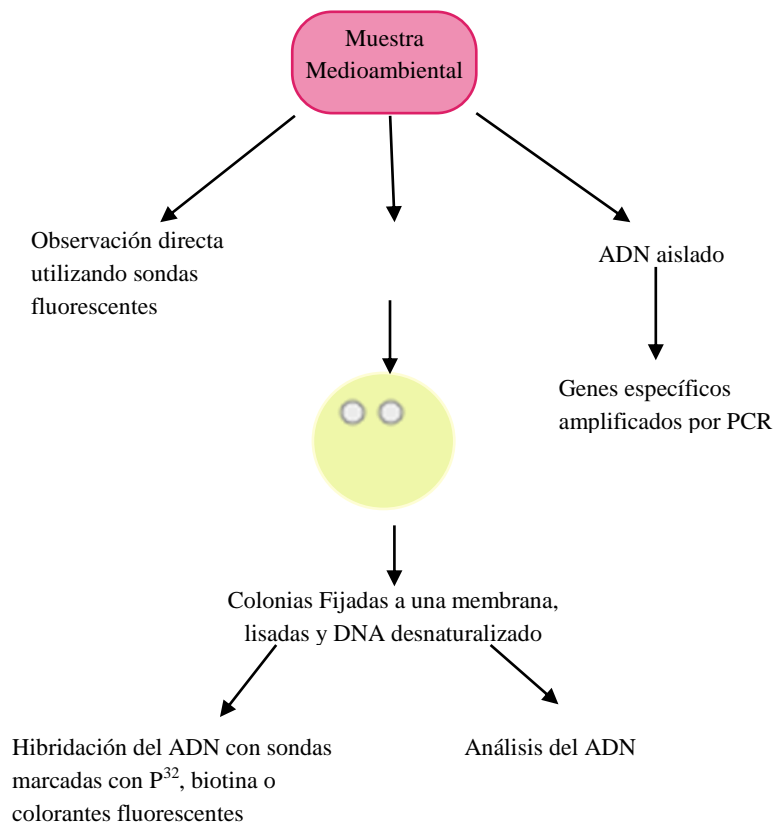


Figura 10. Biología molecular y su aplicación en la detección de microorganismos específicos en el medioambiente.

Para la biotecnología es de importancia el uso de tecnologías moleculares, como es el caso de PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa), Southern Blot y Northern Blot entre otras, para estos tipos de técnicas es necesario seguir un proceso el cual no es muy complicado, pero se requiere tener un cuidado especial.

El primer paso para comenzar con este proceso es la extracción de ADN la cual consta de una etapa de lisis, que consiste en romper las estructuras que confinan el citoplasma y liberar al medio su contenido, la siguiente etapa es la purificación, que implica la retirada de la solución final de la mayoría de elementos que pueden interferir en la PCR.

Los pasos necesarios para una correcta extracción y purificación del ADN mediante un procedimiento químico son:

1. Lisis de las células. Las sales caotrópicas ayudan a romper la estructura tridimensional de macromoléculas como las proteínas o los ácidos nucleicos consiguiendo su desnaturalización. La adición de un detergente como el SDS es necesaria a menudo para eliminar las membranas.
2. Degradación de la fracción proteica asociada al ADN. Se consigue mediante la adición de una proteasa. La fracción proteica puede precipitarse mejor con la ayuda de sales como el acetato de amonio o el acetato sódico.
3. Purificación. Consta de 3 fases:
 - Precipitación del ADN. El ADN es insoluble en alcohol, por lo que se puede precipitar etanol frío o isopropanol y recuperar mediante una centrifugación. El alcohol del sobrenadante se llevará las sales añadidas previamente.
 - Lavado del pellet. Se realiza con alcohol frío volviendo a centrifugarse
 - Recuperación. El sedimento se puede resuspender en agua o tampón Tris tras ser secado completamente.

La estrategia para secuenciar un genoma completo conlleva a la fabricación de librerías genéticas. El proceso se facilita cuando se quiere aislar un gen y se conocen al menos algunas partes de él (por ejemplo la secuencia amino o carboxilo de la proteína para la que codifica), lo cual reduce el número de

copias de segmentos de ADN que deben ser amplificados utilizando la reacción en cadena de la polimerasa (PCR del inglés). Esta reacción fue utilizada por primera vez por Kary Mullis en 1983. El ADN amplificado puede ser clonado directamente o usado en una gran variedad de procedimientos analíticos

La técnica de PCR es en sí un técnica muy simple: dos oligonucleótidos son sintetizados cada uno como secuencia complementaria de una hebra opuesta (secuencia de un segmento en cada una de las hebras) del ADN blanco en posiciones que estén más allá de aquellas donde termina el segmento a ser amplificado.

El ADN aislado que contiene el segmento a ser amplificado es calentado levemente para ser desnaturalizado (separado en hebras sencillas), después se enfría en presencia de grandes cantidades de los oligonucleótidos sintéticos, lo que permite que por hibridación, se encuentren las secuencias complementarias. En este momento se agregan los cuatro desoxiribonucleotidos trifósforo y el segmento hibridado sirve como cebador para iniciar la amplificación. El proceso de calentamiento y enfriamiento se lleva a cabo unas 25-30 veces en algunas horas en un aparato que lo hace automáticamente.

Los segmentos son amplificados utilizando una ADN polimerasa resistente a los cambios de temperatura como la *TaqI* polimerasa (aislada de una bacteria hipertermófila).

especies del medioambiente (biomarcadores) tras su exposición a la contaminación, y en segundo lugar aquellas que utilizan material biológico para valorar la toxicidad de una determinada sustancia química aislada.

El uso de biomarcadores presenta la considerable ventaja de que mide la acción de los contaminantes en el medioambiente. Con la ayuda de estos podemos obtener la siguiente información:

- Es posible indicar los riesgos de exposición a un determinado producto químico.
- Al determinar los efectos en hábitats diferentes se pueden establecer las diferentes vías de exposición.
- Pueden proporcionar información sobre la toxicidad de compuestos aislados o mezclas en el ambiente real a niveles no letales.

TIPO	ACCIÓN
Ecológicos	Cambios en la densidad de la población, especies claves y diversidad de las especies son determinados después de la exposición.
Fisiológicos	Acumulación de metales pesados, producción de dióxido de carbono, cambio en la velocidad de procesos de lodos, cambios en la actividad microbiana y demanda biológica de oxígeno.
Bioquímicos	Citocromo p450, metalotioneínas, enzimas específicas.
Inmunoquímico	ELISA, RIA (ensayo inmunoradioactivo), detección de cambios en la población de patógenos, enzimas o patógenos.
Genéticos	Sondas de DNA para determinadas especies, construcciones con el gen de la luciferasa bacteriana (lux).

Tabla 12. Tipos de Biomarcadores¹⁵

En el caso de la enzima citocromo 450, esta se induce por exposición a contaminantes orgánicos y las metalotioneínas

¹⁵ Modificado del libro
Biotecnología Ambiental. Alan Scrag Ed Acribia, SA Zaragoza España 2002

son proteínas que se expresan mediante la inducción con metales.

En el ensayo de toxicidad los microorganismos pueden ser utilizados como sistemas específicos y sensibles para la detección de contaminantes, está basado en la capacidad de los contaminantes para generar una respuesta a nivel génico, debido a la inducción de enzimas, la medida de esta expresión génica nos es de utilidad para determinar la concentración del contaminante.

Otro es el caso en el que se realiza una inserción en la cepa *E. coli* de un plásmido que contiene *lacZ*, que codifica la enzima B-galactosidasa, esta enzima se ha unido al promotor de *arsR*, que codifica la proteína reguladora del operón *ars*, dicho operón está implicado en la eliminación del antimonio y arsénico de la célula. Así pues cuando la célula que contiene el plásmido es expuesta a antimonio o arsénico, la enzima es inducida produciendo pi-aminofenol el cual es detectable electroquímicamente. Y con esto tenemos un ejemplo de modificación en la cual una bacteria responde a su exposición de antimonio o arsénico.

En el caso de los genes que codifican la enzima luciferasa *luxAB* de procariontes y el gen *luc* de eucariotes, que da lugar a la producción de luz, y más recientemente una proteína fluorescente verde codificada por el gen *gfp* de la medusa *Aequorea victoria* este tipo de genes marcadores se colocan bajo el control del promotor de genes asociado con una respuesta a productos tóxicos, y así las bacterias modificadas al ser expuestas a un compuesto tóxico producirán luz la cual es fácilmente detectable.

Un ejemplo de esto es la construcción de una cepa de *E. coli* que contiene el promotor *alkB* de *Pseudomonas oleovorans* y los genes *luxAB* de *Vibrio harveyi*, las células responden a la

presencia de alcanos con producción de luz y han sido usadas para detectar contaminación por petróleo.

Así como se puede medir y remediar la polución, también con la ayuda de ellas se puede tener respuesta acerca de saber si la sustancia en cuestión es tóxica o mutagénica.

Quizá el primer ensayo que se realizó para demostrar este tipo de marcadores fue el ensayo de Ames, en el cual fue desarrollado para denotar la capacidad mutagénica en bacterias.

La prueba consiste en el tratamiento de un mutante de *Salmonella typhimurium*, que requiere el aminoácido histidina (*his⁻*) para su crecimiento, con el compuesto a analizar y un extracto de hígado de rata. El hígado de rata se añade ya que muchos compuestos no tóxicos pueden convertirse en mutágenos por las enzimas presentes en el hígado de mamíferos, que no se encuentran en bacterias. Si el compuesto es un mutágeno tiene lugar una mutación reversa y crecerán colonias en medio *his⁻*. El número de colonias dará una medida del potencial mutagénico.

2.8 Biosensores

Los biosensores pueden definirse como dispositivos que incorporan un elemento sensor biológico, unido a un transductor de señales. El elemento sensor aprovecha las cualidades únicas de las moléculas biológicas que puede proporcionar la sensibilidad y especificidad para detectar compuestos aislados en mezclas complejas.

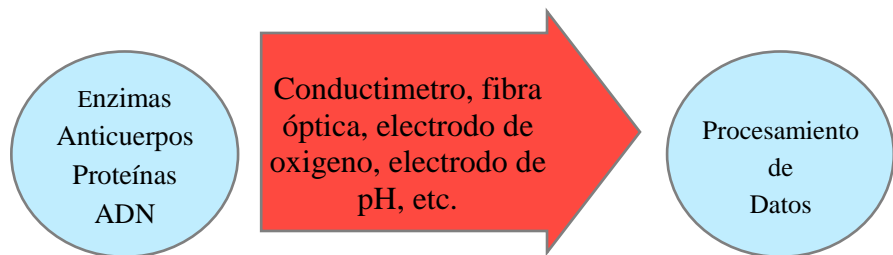


Figura 12. Componentes de un Biosensor¹⁶

Los tipos de material biológico que pueden ser utilizados en un biosensor son proteínas, anticuerpos, enzimas, receptores hormonales, células enteras, orgánulos, lectinas y ADN (sondas específicas para un gen).

Estos compuestos biológicos necesitan ser inmovilizados para mantenerlos en contacto con el transductor, para ello existe una gran cantidad de técnicas para la inmovilización del material biológico que están basadas en el atrapamiento en polímeros o dentro de membranas y la unión por adsorción, covalente o iónica a algún tipo de matriz. Los principales transductores son electroquímicos, termométricos y acústicos.

Como hemos visto el análisis tradicional del DBO tarda hasta cinco días, pero un biosensor que utiliza microorganismos atrapados dentro de una membrana semipermeable responde rápidamente a las moléculas orgánicas en la muestra consumiendo oxígeno.

Se han desarrollado también otro tipo de biosensores sensibles a pesticidas utilizando las enzimas acetilcolinesterasa y colina oxidasa. La acetilcolinesterasa convierte la acetilcolina en colina y la colina oxidasa convierte la colina en betaína y peróxido de hidrogeno, la formación de peróxido de hidrogeno puede ser monitorizada amperométricamente. Los pesticidas inhiben la acción de la acetilcolinesterasa y por lo tanto

¹⁶ Modificado del libro
Biotecnología Ambiental. Alan Scrag Ed Acribia, SA Zaragoza España 2002

producen una reducción en la formación de peróxido que puede ser utilizada para estimar su toxicidad.

Existen también una gran cantidad de sensores para fenoles basados en la oxidación de los fenoles a catecoles y quinonas mediante la enzima tirosinasa, reacción que requiere oxígeno. Si la enzima tirosinasa está unida a un electrodo de oxígeno puede detectar niveles inclusive hasta de 50 ppm.

Metales como plomo y cadmio pueden ser detectados por su inactivación de oxidasas y deshidrogenasas unidas también a un electrodo de oxígeno. Así los biosensores pueden proporcionar una monitorización barata, fiable y precisa del medioambiente y pueden ser además en tiempo real.

Capítulo 3: Biotecnología y Tratamiento de Aguas residuales

“El agua sucia no se puede lavar”
Proverbio africano

En muchos lugares del mundo hay cada vez más evidencia de que las fuentes de agua tanto subterránea como de superficie, del tipo ríos, lagos, etc presentan niveles peligrosos de contaminación, como en el caso de los siguientes ríos los cuales han sido descritos como los 10 más contaminados del mundo¹⁷:

RÍOS	LUGARES
Salween	Chernobyl (Ucrania)
Danubio	Dzerzhinsk (Rusia)
Rio de la Plata	Haina (República Dominicana)
Bravo o Grande	Kabwe (Zambia)
Ganges	La Oroya (Perú)
Indo	Linfen (China)
Nilo	Mailuu - Suu (Kirguistán)
Murray - Darling	Norilsk (Rusia)
Mekong	Ranipet (India)
Yangtze	Rudnaya Pristan (Rusia)
Citarum	Java (Indonesia)

Tabla 13. Principales Ríos y Lugares con mayor contaminación en el mundo¹⁸.

La Tabla 13 nos da una relación de los lugares y causas de agua con mayor contaminación en el mundo, dicha contaminación está dada como ya sabemos por la actividad humana, actividad del tipo industrial la que debido a sus procesos ha dejado cicatrices en el ambiente, ya que la contaminación en varios de estos lugares es radioactiva (lo cual es altamente tóxico para cualquier tipo de vida) pasando por grandes concentraciones de químicos en los suelos, plomo, níquel, cromo y arsénico entre otros metales pesados que sobrepasan los niveles establecidos por la OMS, en cuanto a

¹⁷ Instituto Blacksmith, UNICEF

¹⁸ En la lista de los ríos, solo se involucra a los de gran caudal

los ríos donde la construcción de represas y vaciado de sustancias del tipo agroquímicos, pesticidas e incluso arsénico han contaminado más del 50% de los ríos del mundo.

Por su parte, México tiene también serios problemas de contaminación, la comisión nacional del agua analizo 278 cuerpos de agua, del tipo; lagos, lagunas, presas, ríos, arroyos y depósitos subterráneos, con resultados alarmantes, ya que más del 50% de ellos poseen algún grado de contaminación. En este mismo resultado determino que 20 de las 37 cuencas hidrográficas en que se divide la república mexicana se encuentran en una situación grave y que de ellas 12 son las más críticas (Tabla 14). La contaminación de estas cuencas se debe principalmente a los productos generados por la actividad humana tanto en zonas rurales como en urbanas.



Río Citarum (Indonesia), considerado como uno de los ríos más contaminados del mundo, esto se debe a las 500 fábricas que existen en el lugar, la mayoría del tipo textil cuyos procesos tienen muchos tratamientos químicos

PRINCIPALES RÍOS CONTAMINADOS DE MEXICO	UBICACIÓN
Pánuco	Veracruz, Tamaulipas
Lerma - Santiago	Almoloya, Edo de Méx, Jalisco, Nayarit
Balsas	Guerrero y Michoacán
Coatzacoalcos	Oaxaca, Veracruz
Blanco	Veracruz
Papaloapan	Oaxaca, Veracruz
Conchos	Chihuahua
Coahuayana	Michoacán, Colima
Fuerte	Chihuahua, Sinaloa
Yaqui	Sonora
Mayo	Chihuahua, Sonora
Bravo	Chihuahua, Coahuila, N. León, Tamaulipas

Tabla 14. Tabla de Principales Ríos Contaminados de la República Mexicana.¹⁹

¹⁹ Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI): <http://www.inegi.org.mx/Sistemas/temasV2/Default.aspx?s=est&c=21385>



El Gobierno Federal de México a través de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) ha adjudicado la construcción y posterior explotación de la mayor planta de tratamiento de aguas residuales del mundo, situada en Atotonilco en el estado mexicano de Hidalgo.

La planta de Atotonilco contará con una capacidad nominal de tratamiento medio de 35 metros cúbicos por segundo y un máximo de 50 m³/s, incluida la evacuación final de los residuos sólidos y lodos que se generen. Igualmente la planta estará dotada de un sistema de cogeneración, para aprovechamiento del biogás producido en la digestión, permitiendo el máximo ahorro energético.

La planta, que será la más grande del mundo y una de las obras de mayor envergadura contempladas en el Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México, tiene como fin tratar las aguas residuales producidas en el Valle de México, donde se ubica la capital del país, México D.F. Esta instalación tratará las aguas residuales de 10 millones y medio de habitantes. Las aguas residuales ya tratadas se

No solo los ríos son contaminados en la república mexicana, sino que también los océanos ya que estos enfrentan graves problemas de contaminación que ponen en riesgo sus ecosistemas y actividades pesqueras. En el golfo de México, la principal fuente de contaminación son la extracción y refinación de petróleo y sus derivados, mientras que en el pacífico las principales fuentes de contaminación son los asentamientos urbanos, la industria y las actividades agropecuarias.

Como vemos existe una gran variedad de agentes que contaminan el agua disponible dulce del planeta, tales contaminantes químicos pueden permanecer en rocas que contienen agua durante décadas y su eliminación podría ser larga, increíblemente complicada y excesivamente costosa.

Una de las formas que hoy en día es útil y de gran ayuda para disminuir los niveles de contaminación es mediante la presencia y funcionamiento de comunidades microbiológicas, ya que ellos dirigen la acción de su metabolismo para transformar orgánicos e inorgánicos.

Fue por el año de 1885 cuando se descubrió que el cólera se transmitía a través del agua contaminada con heces, poco tiempo después se demostró algo similar para las fiebres tifoideas, por lo que en las sociedades en desarrollo se implementó un sistema de alcantarillado lo que daba por primera vez la posibilidad de darle un tratamiento a las aguas residuales.

Con el transcurso de los años se han desarrollado una variedad de sistemas de tratamiento biológico, que van desde los pozos, las fosas sépticas y las estaciones de tratamiento con camas de grava y arena, filtros para percolación y procesos de tratamiento de lodos acoplado a una digestión anaeróbica.

El objetivo primario de todos estos sistemas o biorreactores es evitar los peligros para la salud y reducir la cantidad de compuestos biológicos orgánicos oxidables, produciendo así un flujo final de salida que puede ser vertido al medio ambiente natural sin dar lugar a efectos adversos.

Los ensamblajes de este tipo de biorreactores están basados en la versatilidad metabólica de poblaciones mixtas de microorganismos para su eficiencia. Los sistemas en los que estos realizan sus funciones biológicas pueden ser semejantes a otros biorreactores industriales (por ejemplo donde se producen antibióticos), o bien pueden ser también plantas a gran escala, como tanques municipales de aireación forzada.

La característica fundamental de estos biorreactores es que contienen un rango de microorganismos con una completa capacidad metabólica para degradar la mayoría de los compuestos orgánicos que entran al sistema.

En la actualidad existe una gran cantidad de trenes de tratamiento, pero este se implementa de acuerdo a las necesidades de cada tipo de residuo que se desee tratar.

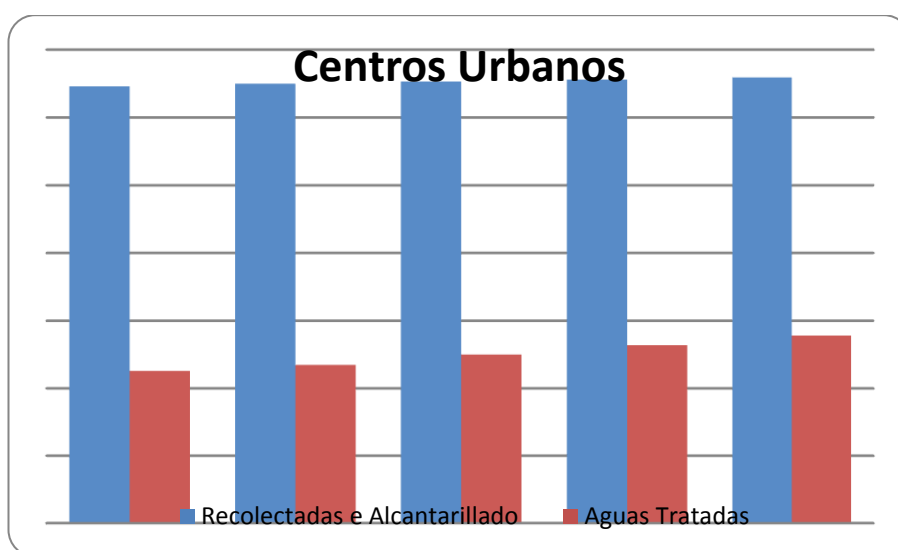
La principal función de los sistemas de tratamiento de residuos es reducir el contenido orgánico tanto como sea posible para poder devolver el agua a los ríos y a las aguas costeras sin causar contaminación. Además el sistema debería eliminar la materia suspendida, reducir el contenido de patógenos y eliminar de forma cada vez mayor nitratos, metales pesados y compuestos químicos producidos por el hombre.

Como sabemos en el mundo se desecha una gran cantidad de aguas residuales, y México no es la excepción existen los datos que nos demuestra que somos un país que no es lo suficiente robusto en cuanto al tratamiento de estas aguas que se producen como desecho.

El agua constituye más del 70% del cuerpo humano, y 2 litros de agua al día aproximadamente son suficientes para mantener saludable a un adulto. El agua actúa como un medio de transporte de los nutrientes esenciales a través del cuerpo, ayuda a eliminar las toxinas y las sustancias de desecho del organismo, mantiene la temperatura corporal y constituye una parte crucial de la estructura y función del sistema circulatorio. En esencia

AÑO	AGUAS RESIDUALES KM ³ /AÑO	RECOLECTADAS EN ALCANTARILLADO KM ³ /AÑO	TRATADAS KM ³ /AÑO	% AGUA TRATADA
2005	8.05	6.46	2.26	37.8
2006	7.63	6.50	2.35	36.32
2007	7.66	6.53	2.50	38.3
2008	7.44	6.56	2.64	40.2
2009	7.49	6.59	2.78	42.2

Tabla 15. Relación de efluentes residuales de México en los centros urbanos²⁰



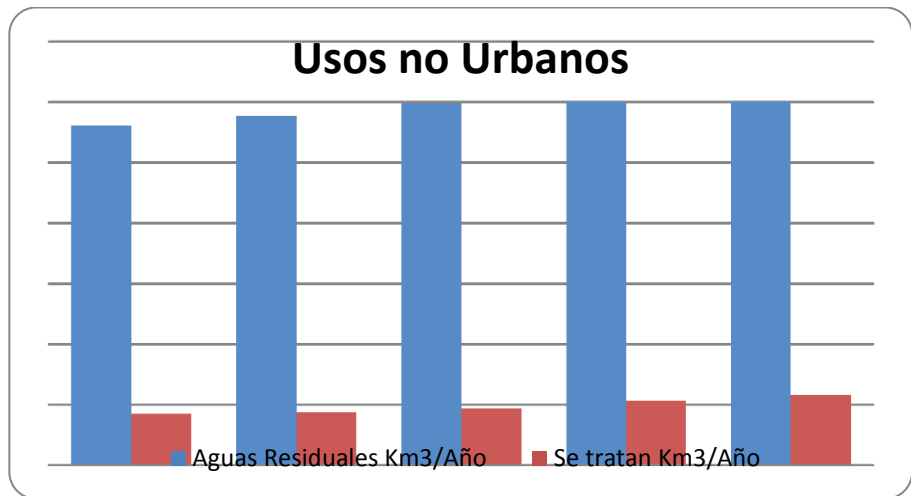
Gráfica 1: Porcentaje de aguas tratadas en México en los centros urbanos (INEGI)

AÑO	AGUAS RESIDUALES KM ³ /AÑO	TRATADAS KM ³ /AÑO	% AGUA TRATADA
2005	5.62	0.85	15.1
2006	5.77	0.87	15.1
2007	5.98	0.94	15.7
2008	6.01	1.07	17.8
2009	6.01	1.16	19.3

Tabla 16. Relación de efluentes residuales en México provenientes de usos no municipales²¹

²⁰ Datos usados a partir de la pagina de INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI): <http://www.inegi.org.mx/Sistemas/temasV2/Default.aspx?s=est&c=21385>

²¹ Datos usados a partir de la pagina de INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI):



Gráfica 2: Porcentaje de aguas tratadas en México provenientes de uso no urbanos (INEGI)

Los datos anteriores muestran que las condiciones de saneamiento de agua en México son bastante bajas, ya que aunque se cuente con leyes que traten de regular estas situaciones, la realidad está implícita en este tipo de datos estadísticos.

3.1 Tratamiento de las Aguas Residuales y Contaminadas

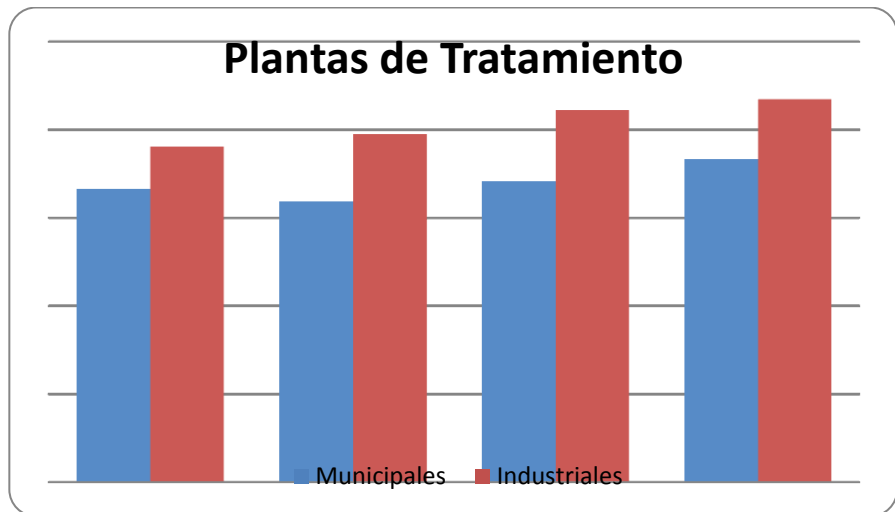
La situación en México en cuanto a tratamiento podemos analizarla mediante la cantidad de plantas de tratamiento que existen hoy en día disponibles, ya que estas nos dan información acerca de la capacidad que como país tenemos para darle algún tipo de tratamiento a las aguas residuales.

AÑO	MUNICIPALES	INDUSTRIALES
2005	1666	1906
2006	1593	1974
2007	1710	2110
2008	1833	2174

Tabla 17. Plantas de tratamiento disponibles en México²²

<http://www.inegi.org.mx/Sistemas/temasV2/Default.aspx?s=est&c=21385>

²² Datos usados a partir de la pagina de INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI):



Gráfica 3. Comparación entre la cantidad de plantas residuales y municipales (INEGI)

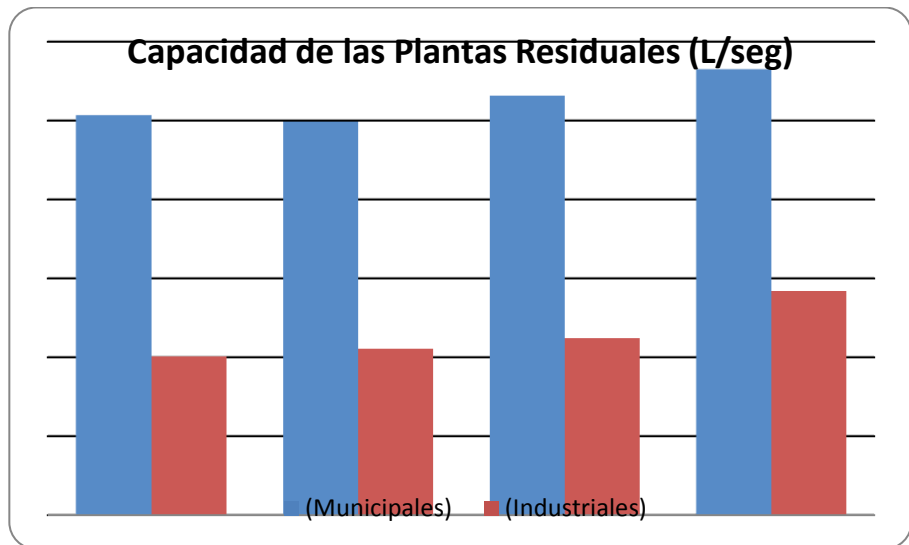
AÑO	CAPACIDAD INSTALADA L/SEG (MUNICIPALES)	CAPACIDAD INSTALADA L/SEG (INDUSTRIALES)
2005	101348.7	40223.1
2006	99764.2	42233.2
2007	106266.7	44785.5
2008	113024.0	56746.6

Tabla 18. Capacidad de saneamiento de las plantas de tratamiento²³

<http://www.inegi.org.mx/Sistemas/temasV2/Default.aspx?s=est&c=21385>

²³ Datos usados a partir de la pagina de INEGI
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI):

<http://www.inegi.org.mx/Sistemas/temasV2/Default.aspx?s=est&c=21385>



Gráfica 4. Capacidad instalada de tratamiento de aguas residuales en México (INEGI)

Los primeros intentos de utilizar microorganismos para tratar las aguas residuales utilizaron cultivos de un solo tipo, pero debido a que las aguas residuales son una mezcla compleja se desarrollaron procesos que utilizan poblaciones bacterianas mixtas que se encuentran en la naturaleza.

En el proceso de tratamiento, los materiales potencialmente contaminantes se ponen en contacto con las poblaciones bacterianas en condiciones tales que son degradados y metabolizados.

Como la naturaleza y composición del agua residual puede variar mucho, no hay un proceso de tratamiento único, sino que se incorporan cuatro etapas de tratamiento; preliminar, primaria, secundaria y terciaria.

ESQUEMA DE TRATAMIENTO

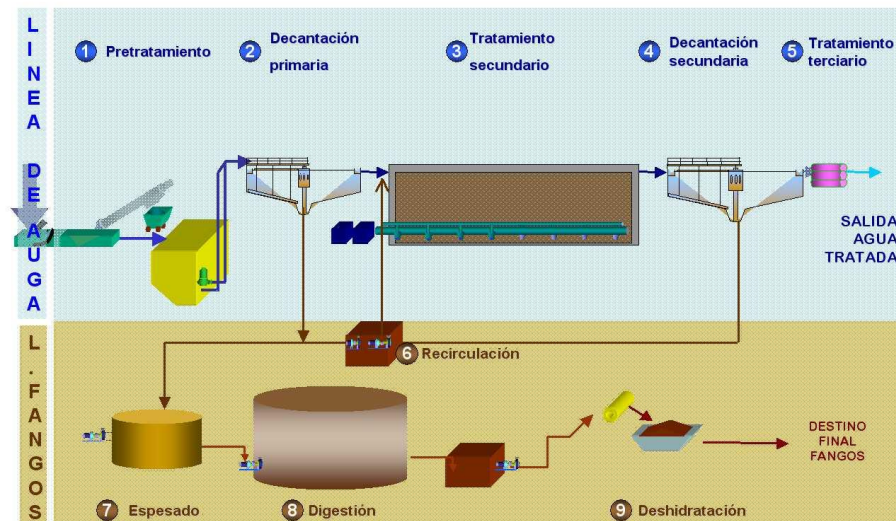


Figura 13. Etapas del tratamiento de las aguas residuales²⁴

- I. Tratamiento preliminar: es la eliminación de escombros y arenas. Los residuos de gran tamaño se recogen normalmente en filtros y a menudo son macerados y disgregados con varios molinos y agregados nuevamente al sistema. Otros sólidos como arenas, derivados del desgaste de las carreteras son eliminados en un canal para arenas y se pueden reutilizar después de un lavado.
- II. Tratamiento primario: las aguas residuales son sedimentadas durante 1.5 a 2.5 horas, esto elimina los sólidos suspendidos que flocculan fácilmente, así se reduce la carga del BOD en un 40 -60 % aproximadamente.
- III. Tratamiento secundario: el efluente del tratamiento primario todavía contiene los materiales orgánicos disueltos y un 40 - 50 % de los materiales sólidos suspendidos. En este punto se utiliza la acción biológica para eliminar el material orgánico. Las reacciones biológicas pueden ser del tipo

²⁴ Imagen tomada de la red
Conselleria de Medio Ambiente. Territorio e Infraestructura
<http://www.google.com.mx/imgres?q=esquema+de+tratamiento+de+aguas+residuales&um>

anaeróbicas o aeróbicas, aunque este último es el más ampliamente utilizado debido a que es más rápido. Un número importante de procesos pueden ser utilizados en el tratamiento aeróbico o anaeróbico incluyendo; lagunas o estanques, lechos percoladores, lodos activados, contactores biológicos rotatorios y digestores anaerobios.

IV. Tratamiento terciario: este tratamiento puede ser necesario para eliminar fosfatos, nitratos y microorganismos patógenos para poder producir agua potable y prevenir la euforización (es decir, que exista la acumulación que es generalmente alta de nutrientes inorgánicos) . Los procesos pueden incluir precipitación química, desinfección con cloro, filtración a través de filtros de arena y el uso de estanques de maduración.

3.1.1 Lagunas o Estanques

Los estanques y lagunas fueron utilizados desde antes de que se desarrollara el uso controlado de microorganismos, para el tratamiento de aguas residuales.

Los estanques son alternativas en los países en los cuales hay abundante tierra y radiación solar. Ambos sistemas; los estanques y las lagunas, pueden funcionar de manera anaeróbica o aeróbica, o usando una mezcla de ambos procesos, cuando los estanques son utilizados en tal forma que los procesos son mezclados son llamados tanques facultativos.

En este proceso la materia orgánica en solución o el material fino suspendido es descompuesto por organismos anaerobios que obtienen el oxígeno por difusión y mezcla desde la superficie y por las algas que crecen en la superficie. Las algas utilizan la luz del sol, dióxido de carbono y los compuestos inorgánicos presentes en el agua residual para su crecimiento. Muchos de los sólidos suspendidos se sedimentan en el fondo del estanque donde las condiciones son anaeróbicas, donde

los organismos anaerobios metabolizan estos sólidos para dar metano, nitrógeno y dióxido de carbono.

Los estanques aeróbicos son mucho menos profundos que los estanques facultativos, alcanzando como máximo 1 metro de profundidad, de modo que la luz pueda llegar hasta el fondo. Su profundidad hace que se suministre más oxígeno, para ayudar a los organismos a realizar su metabolismo.

Las algas producidas en tales estanques a menudo se cosechan y son utilizadas para alimento de animales y peces.

Los estanques de maduración (tratamiento terciario) son generalmente similares a los estanques facultativos pero al ser utilizados como tratamiento terciario tiene mayores tiempos de retención de 7 - 15 días, lo cual permite que los sólidos suspendidos se sedimenten antes de que el agua se vierta en vías fluviales.

En cuanto a las lagunas o los estanques anaeróbicos se utilizan principalmente para el pre tratamiento de residuos antes de pasar a estanques facultativos, por lo que estos sistemas pueden usarse con residuos altamente concentrados (hablamos de valores de BOD de más de 300 mg/L).

Las condiciones de un estanque anaeróbico se mantienen con estanques de mayor profundidad (entre 1- 7 metros), y los tiempos de retención pueden variar entre 2 - 160 días, y la eliminación de BOD está entre 70 - 80% de la carga.

Con el caso de las lagunas de aireación, estas a diferencia de otros estanques son utilizadas en el tratamiento primario de aguas residuales o residuos industriales, son profundos (más de 4 m) y el suministro de oxígeno se proporciona de manera mecánica utilizando unidades de aireación por difusión o aireadores de superficie, los cuales además ayudan a mezclar el residuo.

Todos estos estanques pueden ser usados de manera independiente, pero frecuentemente se usan combinados, por ejemplo; residuos con una alta BOD (más de 300 mg/L) se tratan normalmente primero en una laguna anaeróbica durante entre 1 - 5 días, lo cual elimina el 50 -70% de la carga inicial de BOD, el efluente se pasa después a una etapa secundaria, en el cual se emplearía un estanque facultativo con un tiempo de retención de 20 - 40 días y la etapa final constaría de uno o más estanques de maduración donde los sólidos suspendidos se sedimentan por un periodo de hasta 7 días.

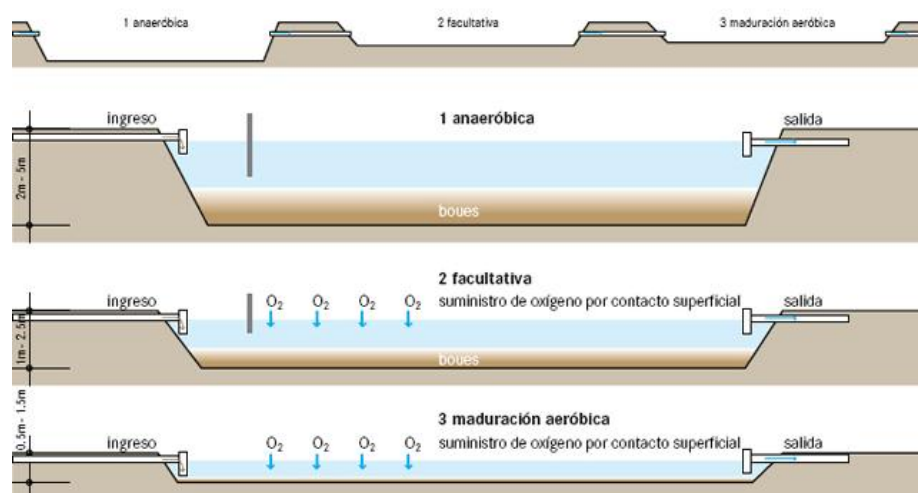


Figura 14. Ejemplo de secuencia del uso de estanques para el tratamiento de un residuo²⁵

Este tipo de secuencia puede dar efluentes limpios con valores de una BOD menor a 25 mg/L y una COD menor a 75 mg/L.

3.1.2 Filtro percolador

La mayoría de los microorganismos en la naturaleza favorecen su crecimiento estando asociados, estos organismos pueden y

²⁵ Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento:
<http://www.alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t6.html>

tienen la capacidad de adherirse formando algo que se conoce como biofilms.

El filtro percolador está basado en el uso de un medio sólido empaquetado al azar que funciona como una superficie sobre la cual se adhiere y crece un cultivo mixto de microorganismos, cuando se pasa un agua residual a través del filtro, la biomasa adherida metaboliza el contenido orgánico.

El biofilm confiere al filtro un alto contenido de biomasa, ya que el sólido tiene una gran superficie y el alto contenido de biomasa es capaz de metabolizar el agua residual de forma rápida.

Usualmente el término biodegradable es identificado con el término “amigable con el medio ambiente” pero se debe tener en consideración el hecho de que a pesar de que muchos productos cuentan con esta leyenda, no todos cumplen el ser degradados bajo condiciones no extremas.

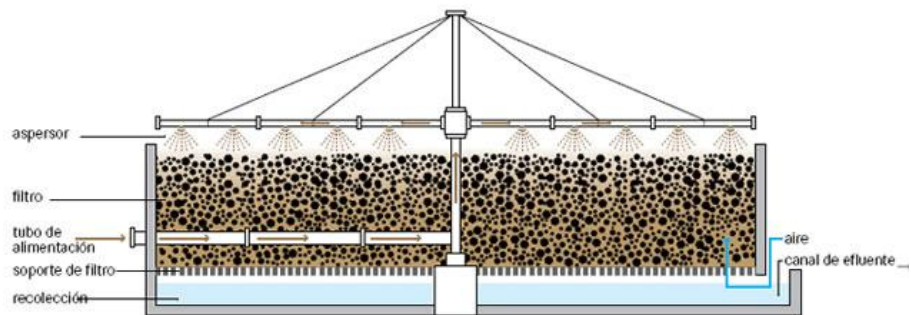


Figura 15. Diseño de un filtro percolador²⁶

En su forma original los filtros percoladores consistían en un lecho de 1 - 3 m de profundidad conteniendo piedras o escoria de 40 - 60 mm de diámetro, los espacios entre las piedras permiten que el aire penetre en el lecho y esto mejora la ventilación de la base. El agua residual se aplica con un sistema giratorio de distribución y el agua tratada se recoge por medio de un desagüe en la base.

Este tipo de filtro no requiere inoculación sino que desarrolla su propia población, la cual es una mezcla compleja de bacterias,

²⁶ Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento: <http://www.alianzaporel agua.org/Compendio/tecnologias/t6.html>

hongos, protozoos, algas y organismos de mayor tamaño como gusanos e insectos.

El biofilm está compuesto principalmente por bacterias y hongos, los cuales se encuentran en un equilibrio dinámico que puede variar al cambiar el contenido del agua residual y este a su vez puede ser afectado por los cambios estacionales. Una vez que el biofilm alcanza cierto grosor se desprenden capas y los sólidos suspendidos se recogen en un tanque de sedimentación.

Debido a que la eficiencia del filtro depende de la biomasa contenida en el biofilm, cualquier aumento en el área de la fase sólida incrementará el potencial del filtro.

Los filtros percoladores se han utilizado en un proceso de un único paso produciendo un efluente de alta calidad, sin embargo si la carga de estos filtros se incrementa, con el tiempo debido a un incremento en la población o la adición de efluentes industriales, el sistema requerirá de más de una unidad de filtrado.

La modificación más común para tratar con este tipo de cambios es tener un grado de recirculación que compense las fluctuaciones, utilizando un sistema de dos etapas en la que el primer paso consta de pasar el efluente por el primer filtro a alta velocidad y el residuo parcialmente tratado se pasa a un segundo filtro para su tratamiento final. En algunos casos los dos filtros se pueden alternar para permitir que el primero se recupere de los efectos de una carga más alta, y de esta forma las dos unidades de filtrado pueden tratar más residuos sin necesidad de construir más unidades.

3.1.3 Proceso con lodos activados

En el proceso de lodos activados el residuo se pone en contacto con una alta concentración de microorganismos en forma de agregados en condiciones aeróbicas.

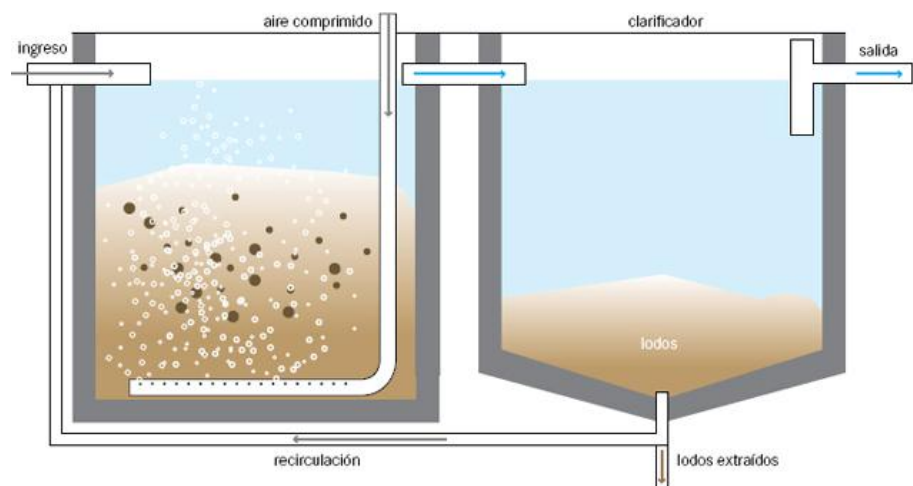


Figura 16. Proceso básico con lodos activados²⁷

El residuo de la primera etapa se conduce de forma continua a un tanque ideado para producir un flujo tipo pistón, en el que la biomasa presente metaboliza el contenido orgánico dando lugar a más células o biomasa.

El efluente de este flujo continuo se conduce a un tanque de sedimentación donde la biomasa y los sólidos no disgregados se sedimentan. El efluente clarificado está prácticamente libre de sólidos.

Para mantener el nivel de biomasa lo más alto posible y obtener una tasa de conversión del sustrato diluido, parte de la biomasa sedimentada (20%) o lodo activado se recicla reingresándolo a la entrada del tanque.

²⁷ Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento:
<http://www.alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t6.html>

3.1.3.1 Parámetros de importancia en el proceso de lodos activados (Aireación y tiempo de residencia)

La población de los lodos activados es muy similar a la que se desarrolla en un filtro percolador, exceptuando que es menos heterogénea y por lo tanto menos estable a los cambios en la composición de los residuos. La mayoría de la biomasa se encuentra como flóculos o agregados.

Los sistemas usados para el tratamiento de residuos pueden ser comparados por su capacidad para tratar residuos por unidad de volumen. Para los filtros percoladores el residuo tratado por unidad de volumen puede ser expresado como carga orgánica o hidráulica. La carga hidráulica se expresa como metro cúbicos de agua residual tratada por día por metro cubico de filtro.

Así pues, si se requiere la eliminación de amonio, el flujo y la carga orgánica deben ser reducidos ya que los organismos responsables de la nitrificación crecen lentamente.

El tiempo de retención del residuo en el tanque de aireación de un sistema de lodos activados se conoce como el tiempo de retención hidráulica (HRT), el cual en un sistema convencional será de al menos 5 horas.

Otro parámetro de relevancia es la aireación, y es que debido a que los lodos activados funcionan en un proceso aeróbico se ha realizado un esfuerzo considerable por maximizar el suministro de oxígeno para así asegurar el adecuado crecimiento bacteriano.

Uno de los métodos más utilizados para proporcionar el oxígeno es introducir aire en la base de los tanques a través de tubos de burbujeo o difusores porosos. Los difusores porosos proporcionan un flujo de burbujas pequeñas; en tanto que entre

más pequeñas sean las burbujas mejor será la aireación debido a que de esta forma se incrementa el área.

Si aun así se requiere de una mayor oxigenación, esta se puede otorgar con aireación mecánica superficial para lo cual existen una serie de diseños que incluyen paletas parcialmente sumergidas (cepillo de Kessener) o turbinas giratorias en la superficie (Simcar).

Es importante mencionar que si se proporciona aireación constante a lo largo del tanque no se cumplirá con los requerimientos de oxígeno debido a la disminución del sustrato a lo largo del tanque, para evitar esto se ha desarrollado la aireación graduada, disminuyendo el suministro de aire a lo largo del tanque, ya que las condiciones que favorecen un alto crecimiento y formación de lodos están ligados a una mayor aireación.

TIPO	DESCRIPCIÓN
Convencional	Aireación en la cual el flujo de oxígeno es constante y de la misma intensidad.
Aireación Graduada	En este se suministra más aire al principio del tanque, donde la carga orgánica es mayor.
Estabilización de Contacto	El lodo se mezcla con el agua residual y es aireado antes de retornar al proceso
Aireación Escalonada	El lodo y el agua residual se añaden a lo largo de la longitud del tanque, lo que deberá compensar el suministro de oxígeno
Adición Incrementada de Lodos	En este sistema el lodo reciclado se añade al tanque a lo largo de su longitud.

Tabla 19. Sistemas alternativos de aireación para el proceso de lodos activados²⁸

²⁸ Modificado del libro
Biotecnología Ambiental. Alan Scrag Ed Acribia, SA Zaragoza España 2002

3.1.4 Lecho fluido

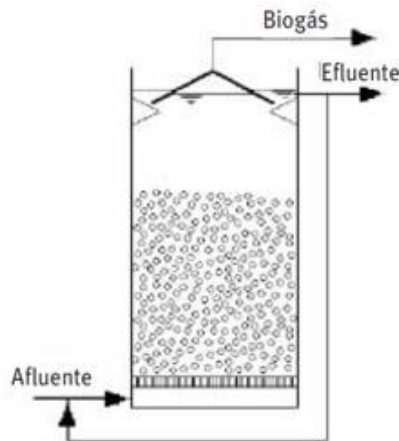


Figura 17. Reactor Biológico de Lecho Fluido²⁹

Un método de incrementar el área de soporte en un reactor de biofilm es la utilización de soportes más pequeños y robustos tales como la arena, sin embargo la arena recubierta con un biofilm en un reactor pronto se atasca, atrapa partículas y el reactor se vuelve anaeróbico. Para solventar este problema el lecho de arena puede ser fluidizado por el flujo del líquido hacia arriba.

Al aumentar la biomasa debido al aumento del área superficial donde esta se puede adherir, se aumentan los requerimientos de oxígeno, los cuales son suministrados cuando se hace la inyección de agua residual con el oxígeno puro antes de su entrada al reactor.

La acumulación de biomasa sobre las partículas de arena puede ser controlada ya que la arena recubierta se deja sedimentar para posteriormente ser extraída y una vez limpia puede ser devuelta al contenedor.

²⁹ Imagen tomada de la red
Tecnologías de producción de Biogás
<http://www.biodisol.com/que-es-el-biogas-digestion-anaerobia-caracteristicas-y-usos-del-biogas/tecnologias-de-produccion-de-biogas-digestion-anaerobia-biocombustibles/>

Los lechos fluidizados son ampliamente usados en residuos del tipo industrial, ya que tiene tiempos de retención muy cortos (20 min) lo que agiliza el proceso, pero son procesos caros debido al oxígeno puro otorgado aunado a los costes del bombeo.

3.1.5 Sistema de pozo profundo

Este sistema está diseñado en base al diseño del biorreactor neumático, el reactor neumático funciona al introducir aire por el fondo del recipiente. El aire introducido reduce la densidad del líquido y las burbujas de aire ascienden, estos factores combinados provocan un flujo de agua hacia arriba.

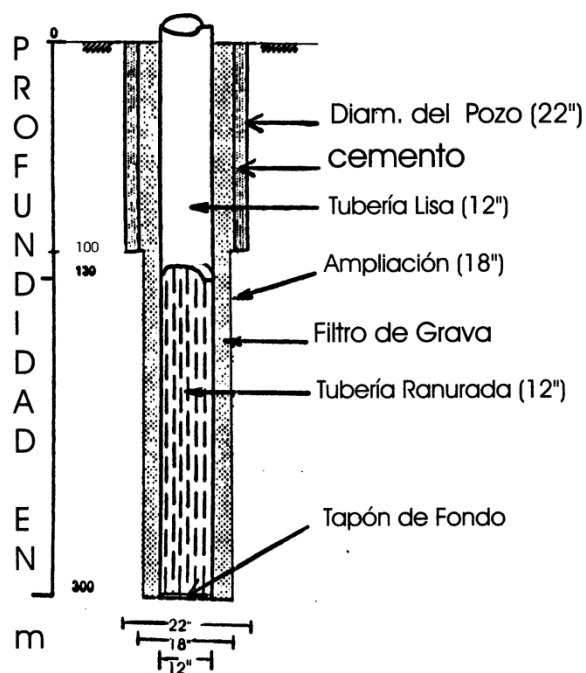


Figura 18. Esquema del sistema de Pozo Profundo³⁰

Si el flujo de agua es separado del resto del recipiente por una división, se generara un flujo circulante de tal modo que el aire introducido proporciona la mezcla y la aireación.

³⁰ Modificado del libro
Biotecnología Ambiental. Alan Scrag Ed Acribia, SA Zaragoza España 2002

El biorreactor neumático es una torre alta y estrecha, de forma que con una altura de 100 m o más se obtiene una presión en el fondo de 10 atmósferas, la alta presión hará que haya más oxígeno en solución, mejorando así la aireación. Con esto se favorece el tratamiento de residuos industriales.



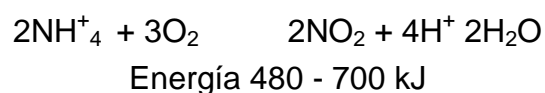
Nitrobacter sp.
Microorganismo utilizado para la oxidación del nitrito a nitrato

3.1.6 Nitrificación

El nivel de amonio en los residuos industriales llega hasta 5 g/L, cuando el nivel recomendado es de apenas 20 mg/L.

El amonio se oxida rápidamente a nitrato en el medio ambiente y en los sistemas de tratamiento de aguas se utiliza un proceso conocido como nitrificación. Dicha conversión está dada por dos grupos de bacterias quimioautótrofas que utilizan la oxidación del amonio como fuente de energía.

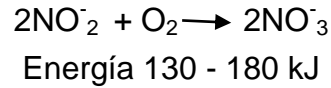
Los primeros pasos de la oxidación del amonio son llevados a cabo principalmente por los géneros *Nitrosomonas* y *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrocystis* y *Nitrosogloea*. La reacción es como se indica a continuación:



Nitrosococcus
Bacteria del suelo que oxida amoníaco a nitrato

La energía liberada se utiliza por los organismos para sintetizar componentes celulares a partir de fuentes inorgánicas. La liberación de iones hidrogeno puede causar una caída en el pH y es claro que se precisa un buen suministro de oxígeno, y se tiene que considerar que la tasa de crecimiento de las bacterias nitrificantes es muy lento.

El nitrito formado es convertido en nitrato por los géneros *Nitrobacter*, *Nitrocystis*, *Nitrosococcus* y *Nitrosocystis*, pero el primero género ha sido el más estudiado. La reacción es la siguiente:

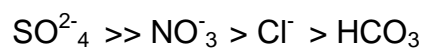


Debido a que la oxidación del nitrito a nitrato produce menos energía que la oxidación del amonio, el rendimiento celular de *Nitrobacter* es menor que el de *Nitrosomonas* y las tasas de crecimiento son también lentas. A continuación se enlistan algunas de las principales características que afectan el tratamiento de las aguas residuales debido a los organismos implicados en la nitrificación:

- La tasa de crecimiento es más lenta que la de los organismos heterótrofos, de modo que la carga orgánica debe ser adecuada a su menor tasa de crecimiento, de otra forma los organismos serán eliminados.
- Hay un bajo rendimiento celular por unidad de amonio oxidada.
- Los organismos requieren una significativa cantidad de oxígeno, 4.2 g por g de amonio convertido.
- El sistema puede necesitar algún regulador de pH debido a las condiciones ácidas producidas por los iones hidrógeno.

3.1.7. Desnitrificación

La eliminación de nitratos o desnitrificación puede ser llevada a cabo por intercambio iónico o por procesos biológicos. El intercambio iónico depende de la afinidad de la resina, que en una resina convencional de intercambio aniónico es:

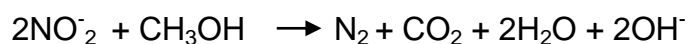
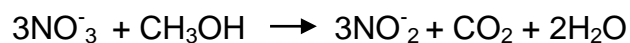


Cualquier sulfato en el residuo se unirá con preferencia al nitrato, pero una vez que esto ha ocurrido el nitrato se intercambiara con el cloruro. Una vez que la resina está agotada esta puede ser regenerada con un exceso de cloruro de sodio que da lugar a una solución conteniendo altas concentraciones de sulfato de sodio, nitrato de sodio y cloruro de sodio que requieren ser eliminados.

Biológicamente la conversión de nitrato a nitrito y nitrógeno posteriormente, ocurre en condiciones en las cuales el oxígeno se encuentra ausente o en muy bajas concentraciones.

El proceso de oxidación implica la pérdida de electrones y en condiciones normales el oxígeno funciona como un aceptor de electrones, pero cuando los niveles de oxígeno son bajos, iones inorgánicos tales como nitratos, fosfatos y sulfatos pueden actuar como aceptores de electrones.

Un numero de microorganismos heterótrofos facultativos que están presentes en las aguas residuales son capaces de metabolizar el nitrato en nitrógeno, siempre y cuando haya un donador de electrones. El donador de electrones es normalmente un compuesto orgánico y en algunos casos se ha utilizado metanol como suplemento, dando las siguientes reacciones:



Dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales los procesos de nitrificación y desnitrificación biológica pueden organizarse de varias maneras. En general el primer paso es la eliminación de amonio por nitrificación, que puede ser llevado a cabo en paralelo con la eliminación de la materia orgánica, siempre y cuando el tiempo de retención hidráulico no sea demasiado corto.

La desnitrificación por otra parte requiere de un cambio de condiciones de crecimiento de aeróbicas a anaeróbicas y una fuente de carbono orgánico. Estos procesos pueden realizarse en un mismo reactor solamente se requiere hacerlo en compartimientos separados o también se puede realizar en reactores independientes.

3.2 Tratamiento de los lodos residuales

Como hemos visto en varios procesos existe la generación de lodos de diferentes tipos, como los lodos de sedimentación o los lodos activados, a pesar de que una parte de los lodos son reutilizados (aproximadamente el 20%) el resto se elimina. El residuo de lodos es una mezcla de material orgánico y células microbianas que pueden ser degradados por otros microorganismos. Existe un número de métodos empleados para eliminar los excesos de lodos, estos son:

- Vertido en el mar
- Vertederos
- Incineración
- Riego por aspersión (eliminación agrícola)
- Secado
- Compostaje
- Digestión anaeróbica

3.2.1 Vertido en el mar

En esta práctica los desechos eran arrojados directamente al mar, esperando que los organismos, algas y peces degraden el lodo.

En 1990 durante la conferencia del mar del norte se acordó suspender progresivamente el vertido de los lodos de aguas residuales al mar, esta fue una medida para mejorar la calidad

de las aguas costeras, aunque no existía evidencia sustancial de daño ambiental, excepto la acumulación de cromo.

3.2.2 Vertederos

Este método es quizá el más antiguo de eliminación de residuos, el cual consiste en enterrarlos. Inicialmente la mayoría de los vertederos no estaban sellados, de forma que cualquier lixiviado derivado de la degradación de su contenido podía dispersarse en el suelo de los alrededores y en la práctica el lixiviado contaminaba a menudo las aguas subterráneas.

El principal problema de los vertederos es encontrar sitios adecuados en términos geológicos; se precisa un sustrato no poroso para prevenir la contaminación de las aguas subterráneas y así mismo lugares alejados de los núcleos poblacionales para evitar olores.

Según regulaciones el lugar más adecuado para un vertedero es una cantera abandonada o una explotación minera a cielo abierto, aunque también es posible hacer un vertedero sobre tierra haciendo paredes de retención.

El lugar deberá ser forrado con una barrera impermeable para evitar la contaminación de las aguas subterráneas. Los materiales empleados son la arcilla, plásticos como el polietileno, cloruro de polivinilo han sido utilizados.

Es importante que antes de colocar los desechos en estos vertederos sean compactados, ya que así se controla la transferencia de aire y agua, además se reduce el volumen y disminuye la posibilidad de combustión espontánea por reducción del oxígeno.

Una vez que el vertedero ha alcanzado su nivel de llenado, la parte superior se sellara con una capa de arcilla y un

recubrimiento hermético cubierto por una capa de drenaje y tierra.

Esta cubierta impide que la lluvia penetre reduciendo así la formación de lixiviados, una vez cubierto, el material orgánico se degradara anaeróticamente de un modo similar a un digestor anaeróbico, así pues producirá metano y un lixiviado.

En este caso la velocidad de degradación depende del contenido de humedad y como el vertedero ha sido cubierto es posible que haya que añadir agua.

El lixiviado tendrá un alto nivel de BOD debido a la limitada degradación del contenido orgánico además de que puede contener metales y productos químicos tóxicos, provenientes de desperdicios industriales en su mayoría.

Similar que en un digestor anaeróbico, este método produce gases, los cuales se pueden restringir debido a la cubierta que poseen estos vertederos, pero también podría instalarse una tubería de ventilación. La composición de dichos gases es variable, pero contiene metano, dióxido de carbono e hidrogeno y poseen un valor calorífico de aproximadamente el 50% del gas natural.

3.2.3 Incineración

La incineración a gran escala de los lodos de agua residual es cara, con altos costes, y es una opción de eliminación parcial ya que la ceniza formada deber ser también eliminada. Sin embargo el uso de la incineración autotérmica ha hecho este método más atractivo.

En la incineración autotérmica los lodos primarios y secundarios se mezclan y se elimina el agua mediante presión de tal forma que se produce una “torta” del 30% de sólidos capaz de someterse a este proceso de combustión.

Los sistemas avanzados de combustión tales como lechos fluidizados trabajando a temperaturas de 750 - 780°C crean más calor del requerido para calentar el aire entrante y eliminar el agua de los lodos. Esto significa que una vez que el proceso ha comenzado no se precisa combustible ya que los lodos generan el suficiente calor.

Las cenizas formadas pueden ser eliminadas por un precipitador electrostático y un depurador por vía húmeda, este método elimina el dióxido de azufre, el ácido fluorhídrico y el ácido clorhídrico. Las cenizas contienen metales pesados y representan el 30% de la masa seca original y estas cenizas se eliminan normalmente en vertederos.

Las ventajas de la incineración son la reducción del volumen, la capacidad de tratar materiales tóxicos y el hecho de que los incineradores pueden ser construidos en áreas donde la eliminación de residuos mediante vertederos no es posible.

Las desventajas de este método son que el proceso puede ser caro de manejar y de construir, no es una solución completa para la eliminación de residuos ya que la ceniza resultante debe ser eliminada en un vertedero y como se mencionó además puede tener altos niveles de metales. También la incineración produce gases de combustión, los cuales pueden contener ácido clorhídrico, óxido de azufre y óxido de nitrógeno que pueden ser eliminados vía húmeda.

También puede formarse monóxido de carbono debido a la combustión incompleta y dióxido de carbono, los cuales incrementan los niveles de los gases de efecto invernadero.

La incineración de compuestos clorados a bajas temperaturas puede dar lugar a la formación de dioxinas y furanos que son tóxicos y cancerígenos.

3.2.4 Riego por aspersión

Cualquier lodo que sea aplicado a una tierra agrícola debe sufrir algún tipo de tratamiento químico o biológico para reducir los niveles de patógenos, a menos que sea inyectado bajo la superficie. Entre los tratamientos se encuentran a continuación:

- Pasteurización, calentamiento a 70°C durante 30 min o mas
- Digestión anaeróbica a 35°C durante 12 días
- Digestión anaeróbica termofílica, 7 días a 55°C
- Compostaje
- Estabilización con bases, pH>12 durante 2 horas
- Almacenamiento líquido, 3 meses
- Secado y almacenamiento, 3 meses

Estos métodos reducen el contenido de patógenos de los lodos antes de ser aplicados a la tierra, pero hay restricciones en cuanto a que cosechas se pueden crecer al cabo de cuánto tiempo la tierra puede ser utilizada para ciertas cosechas.

Los lodos tratados pueden ser aplicados al suelo para el crecimiento de papas, pero la restricción del uso de estos lodos es que la tierra no puede ser usada para cultivar frutas o verduras hasta diez meses después de la aplicación.

Casi todos los lodos contienen metales pesados, ya que los microorganismos tienen la capacidad de acumular metales, por lo tanto la aplicación de los lodos al suelo conlleva el riesgo de producir altos niveles de metales, sin embargo hay límites establecidos para los metales en los lodos de las aguas residuales.

METAL	CONCENTRACIÓN EN LOS LODOS (MG/KG)	CONCENTRACIÓN EN LOS SUELOS (MG/KG)
Cadmio	20 - 40	1 - 3
Cobre	1000 - 1750	50 - 1540
Níquel	300 - 400	30 - 75
Plomo	750 - 1200	50 - 300
Cinc	2500 - 4000	150 - 300
Mercurio	16 - 25	1 - 1.5

Tabla 20. Límites de metales en los lodos activados y en los suelos tratados con lodos.

3.2.5 Compostaje

El compostaje es un método de eliminación y reutilización. El compostaje es definido como “la estabilización biológica de los residuos de origen biológico bajo condiciones aeróbicas controladas”. Al realizar el compostaje, los componentes orgánicos de los residuos urbanos son descompuestos por una mezcla de microorganismos en condiciones aeróbicas, húmedas y templadas.

En presencia de oxígeno los rápidos procesos metabólicos producen calor, no todo el calor puede ser disipado, por lo que el compost aumentara su temperatura a 50°C o más. Las altas temperaturas son las responsables de la inactivación de los patógenos, produciendo así un producto final muy aceptable. Tres días a 55°C son suficientes para inactivar a la mayoría de los patógenos y virus.

Una vez que el sistema de compostaje ha sido montado, los microorganismos aeróbicos mesofílicos comienzan la degradación, pero al aumentar la temperatura en el compost los organismos termófilos se hacen predominantes, posterior a este crecimiento se ha seguido la formación de dióxido de carbono.



Eichhornia crassipes
usada en la industria
alimenticia
principalmente

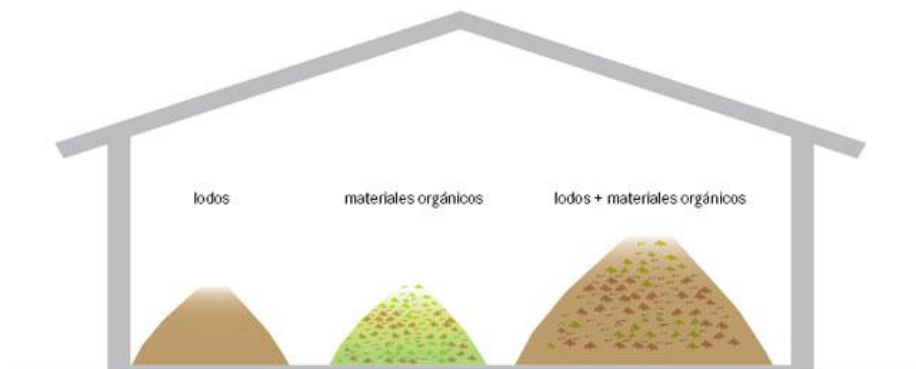


Figura 19. El Co-Compostaje es una degradación aeróbica controlada de los materiales orgánicos usando más de una fuente de entrada (lodos fecales y desechos sólidos orgánicos). Los lodos fecales tienen un alto contenido de humedad y de nitrógeno, mientras que los desechos sólidos biodegradables son altos en carbono orgánico y tienen buenas propiedades aglomerantes (p.ej. permiten que el aire fluya y circule). Al combinar ambos, los beneficios de cada uno se aprovechan para optimizar el proceso y el producto.³¹

3.2.6 Humedales Artificiales

Las plantas tienen la capacidad de absorber metales y de degradar materiales orgánicos y por lo tanto, todos los tipos de plantas pueden ser utilizados en el tratamiento de residuos, incluyendo las plantas terrestres, las plantas de zonas pantanosas, las plantas acuáticas y las algas.

En el hábitat de las zonas pantanosas las plantas tienen una gran población de microorganismos asociados con sus raíces y esta población microbiana es responsable del secuestro de los metales pesados y de la degradación de los compuestos orgánicos.

El sistema de zonas pantanosas artificiales más comúnmente utilizada es la caña común *Phragmites sp.* que puede crecer en

³¹ Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento:
<http://www.alianzaporel agua.org/Compendio/tecnologias/t6.html>

agua dulce o ligeramente salobre, estas cañas pueden llegar a crecer hasta 1.5 m de altura, tienen la capacidad de pasar el oxígeno de las hojas a las raíces, la transferencia de oxígeno favorece a la población aeróbica en las raíces de la planta, como resultado, las raíces funcionan como un gran reactor de film microbiano en que la población microbiana secuestra metales y degrada materia orgánica.

Las plantas acuáticas y las algas también han sido utilizadas en el tratamiento de diferentes tipos de residuos, siendo la planta acuática mejor conocida como “el jacinto de agua” o *Eichhornia crassipes*, la que concentra los metales, degrada los fenoles y se ha utilizado para tratar los residuos de industrias que producen curtidos y lácteos.



Phragmites sp
Principal planta implementada para la captación de contaminantes

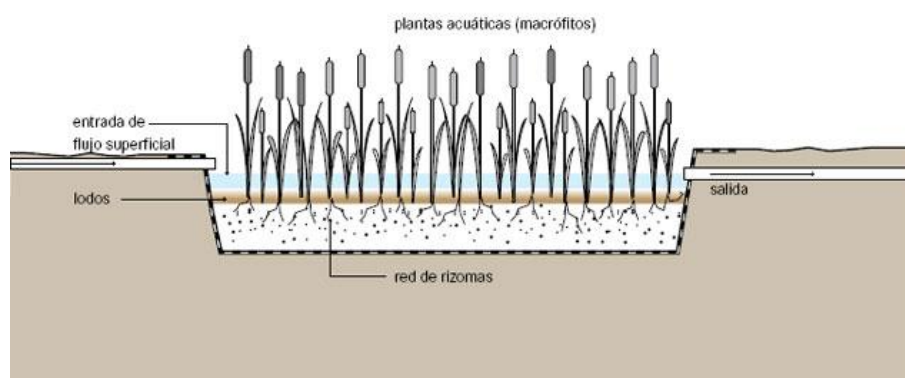


Figura 20. Humedales artificiales con plantas acuáticas³²

3.2.7 Digestión Anaerobia

Uno de los mejores métodos para la eliminación de los excesos de lodos es someterlos a una digestión anaeróbica.

Las ventajas de la digestión anaeróbica son que el proceso produce mucha menos biomasa o lodos, produce metano (biogás) y no requiere aireación además de que los aromas no deseados son muchos menos ya que el sistema se encuentra

³² Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento:
<http://www.alianzaporel agua.org/Compendio/tecnologias/t/t6.html>

cerrado. El metano puede ser utilizado como combustible en calderas o para generar electricidad con aproximadamente 1.16×10^7 KJ producidas por 100 toneladas de COD Eliminada.

Las desventajas de la digestión anaeróbica son que el proceso requiere un buen mezclado, una temperatura de alrededor de 37°C , un sustrato con una alta BOD y largos tiempos de retención de 30 - 60 días. El requerimiento de una alta BOD significa que este tipo de digestión es útil en los residuos del tipo industrial o agrícola, pero no para las aguas residuales normales.

El proceso de digestión anaeróbica es un proceso complejo que implica un considerable número de reacciones y tres grupos principales de organismos y puede ser dividida en cuatro etapas principales.

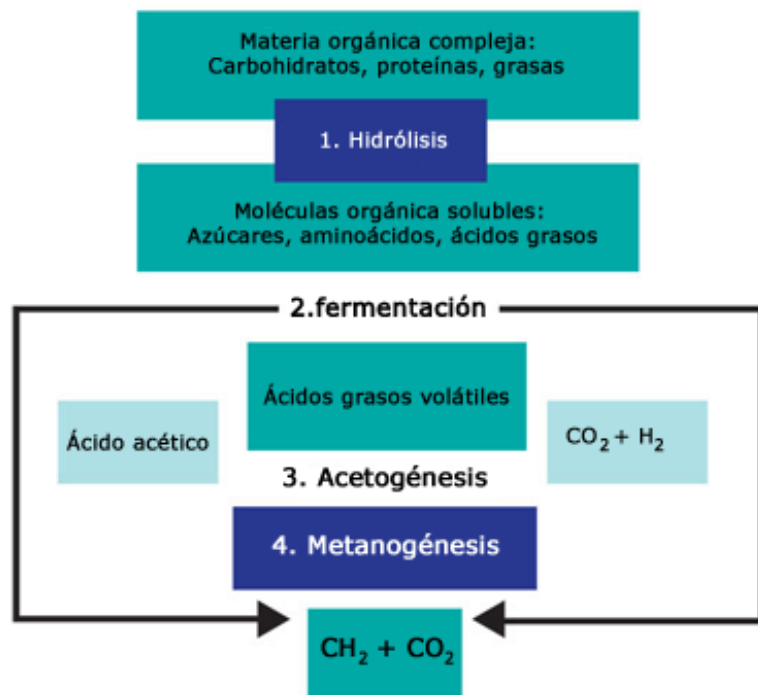


Figura 21. Etapas de la degradación anaeróbica de las aguas residuales a biomasa y biogás.³³

³³ Imagen tomada de la red Village Energy; <http://www.villageenergy.org/sp/tecnologias-de-digestion.html>

La primera etapa es la hidrólisis de las grasas, proteínas y carbohidratos que constituyen los principales componentes de las aguas residuales para dar lugar a ácidos grasos, alcoholes y cetonas por microorganismos hidrolíticos como: *Clostridium*, *Eubacterium* y *Bacterioides*.

En la segunda etapa, la fase acidificante, los ácidos grasos son convertidos en acetato, dióxido de carbono e hidrogeno. Otros aminoácidos y azúcares son convertidos también en acetato, hidrogeno y dióxido de carbono. Las reacciones de esta etapa son llevadas a cabo por bacterias tales como: *Peptococcus* y *Propionibacterium*. El acetato y el hidrogeno son compuestos que también pueden formarse a partir de los componentes primarios de los lodos.

En la tercera fase, la fase acetogénica, en esta los ácidos orgánicos son convertidos en acetato y dióxido de hidrogeno por bacterias tales como: *Syntrophobacter*, *Desulfovibrio* y *Syntrophomonas*.

La cuarta fase es la formación de metano por bacterias metanogénicas, *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus* y *Methanosarcina*, que son algunas de las bacterias más sensibles al oxígeno conocidas.

Se conocen alrededor de 20 especies de bacterias metanogénicas, dichas bacterias tienen una relación muy estrecha con las bacterias acetogénicas. Los microorganismos metanogénicos convierten el hidrogeno, dióxido de carbono y acetato en metano.

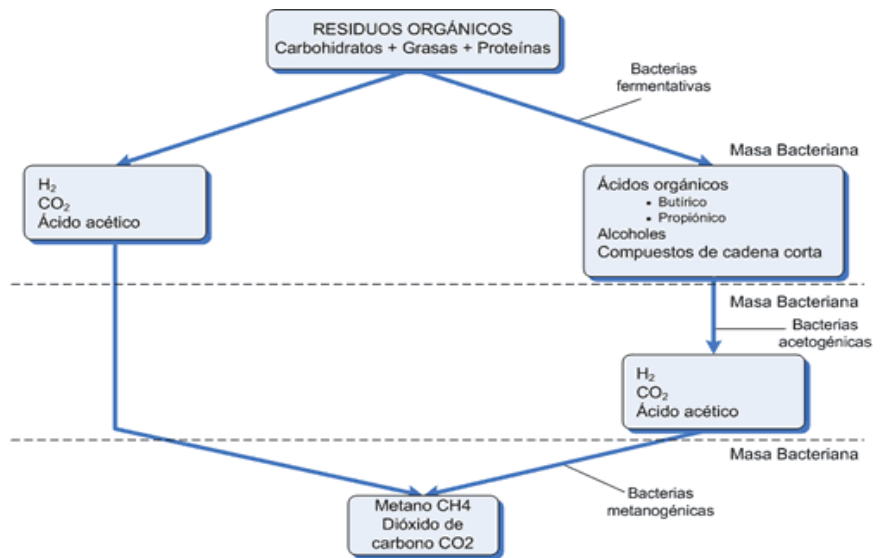


Figura 22. Visualización de la estrecha relación de las bacterias acetogénicas y metanogénicas.³⁴

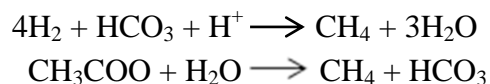


Figura 16. Reacciones de producción de metano

Físicamente se han diseñado reactores denominados digestores los cuales, en un principio eran simples contenedores cerrados en los cuales el contenido no era mezclado ni calentado a partir de ahí se han desarrollado diseños los cuales incluyen la manta de lodos de flujo ascendente, la película fija, el lecho fluidizado y el proceso en dos etapas.

El diseño más sencillo es el proceso de contacto en el que el residuo se mezcla con los lodos anaeróbicos reciclados y se retiene en un recipiente sellado a 30 - 37°C. Al cabo de 30 - 60 días la digestión es completa, la mezcla se separa y el líquido se descarga para su tratamiento posterior, devolviendo al tanque la mayor parte de la biomasa.

³⁴ Imagen tomada de la red Textos Científicos;
<http://www.textoscientificos.com/energia/fermentacion>

El problema de este sistema es que se somete a los microorganismos metanogénicos, que son anaeróbicos estrictos, a un ambiente aeróbico cuando se descarga el contenedor, e incluso si esta exposición dura solo un tiempo corto, afectara a su actividad. Para contrarrestar esto se han diseñado sistemas de flujo continuo.

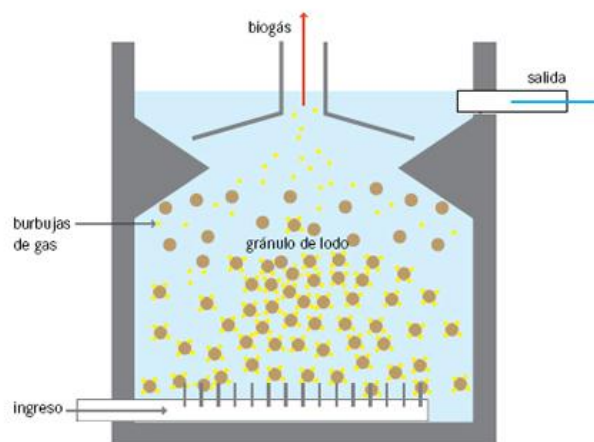


Figura 23. Manta de lodos anaeróbicos de flujo ascendente (UASB)³⁵

Durante el proceso de “manta de lodos de flujo ascendente” el residuo se introduce por el fondo del recipiente en el área donde los lodos se sedimentan, por lo tanto el residuo entra en contacto inmediatamente con los lodos, asegurando una velocidad de reacción más rápida. La mezcla se consigue por el flujo entrante del residuo y por el gas generado, y en la parte superior del recipiente la biomasa, el líquido y el gas son separados en una sección de sedimentación.

Para mantener un alto nivel de biomasa y un buen contacto con el residuo, se ha utilizado la película fija o inmovilización de la biomasa. Un material poroso como plástico y sólido como grava, arena o gránulos de vidrio se han utilizado para inmovilizar los microorganismos anaeróbicos. Este tipo de sistema puede funcionar en diferentes modos, bien con flujo

³⁵ Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento:
<http://www.alianzaporel agua.org/Compendio/tecnologias/t/t6.html>

ascendente o descendente, en este reactor el residuo pasa en dirección ascendente o descendente a través de las partículas cubiertas por la biomasa. La desventaja es que este sistema sufre taponamientos.

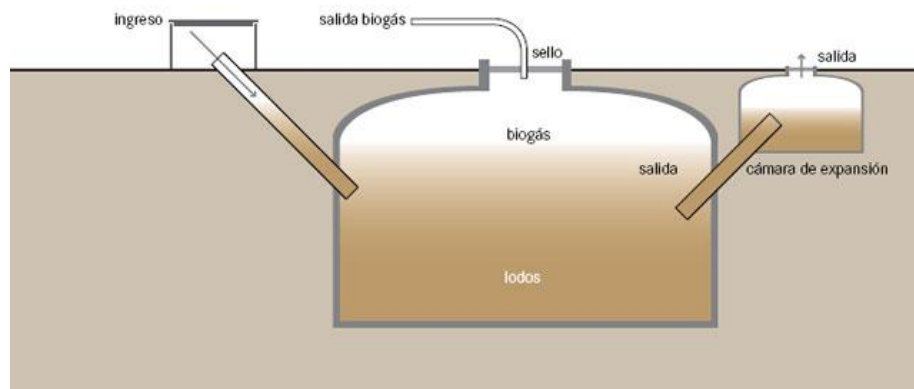


Figura 24. Reactor anaeróbico de lecho fijo³⁶

El método alternativo es el reactor de lecho fluido en el cual los microorganismos que están inmovilizadas sobre partículas de arena se ponen en movimiento en dirección al flujo ascendente del residuo y durante el movimiento se da su acción.

TIPO DE REACTOR	VELOCIDAD DE CARGA DE COD (KG / M ³ D)	ELIMINACIÓN DE COD (%)
Contacto	1 - 6	80 - 95
Filtro de flujo ascendente	1 - 10	80 - 95
Lecho fluidizado	1 - 20	80 - 87
Filtro de flujo descendente	5 - 15	75 - 88
Manta de lodos de flujo ascendente	5 - 30	85 - 95

Tabla 21. Comparación entre procesos anaeróbicos³⁷

³⁶ Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento: <http://www.alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t6.html>

³⁷ Modificado del libro Biotecnología. Jhon E Smith Ed Acribia SA Zaragoza España 2007

3.3 Biorremediación

La biorremediación es el tratamiento biológico y la eliminación de la contaminación del medioambiente. Por lo que la biorremediación puede definirse como la degradación natural o biológica dirigida de la contaminación medioambiental. La biorremediación se lleva a cabo normalmente por los microorganismos que se encuentran de manera natural en el medio ambiente y esta actividad de los microorganismos puede verse favorecida por la adición de nutrientes o incrementando así la población microbiana, este proceso se denomina bioincrementación.

Los factores que determinan la eficacia de la biorremediación son:

- I) Propiedades del contaminante: básicamente nos referimos a su biodegradabilidad. Por ejemplo, si nos referimos al petróleo, los hidrocarburos lineales se degradan más rápidamente que los ramificados. La presencia de dobles enlaces, anillos aromáticos y diversas sustituciones químicas hacen una molécula más resistente a su biodegradación
- II) Presencia de comunidades microbianas adecuadas: los microorganismos pueden ser autóctonos (biorremediación intrínseca, atenuación natural) o añadidos al sistema para mejorar la degradación (bioaumentación).
- III) Disponibilidad del contaminante: es un factor crítico, tan importante como la presencia de comunidades microbianas adecuadas. Depende de su solubilidad, estado de oxidación, adsorción a componentes del suelo.
- IV) Naturaleza del medio contaminado: puede afectar al crecimiento microbiano y al metabolismo del compuesto en cuestión. Por ejemplo, permeabilidad, temperatura, presencia o ausencia de nutrientes orgánicos, oxígeno u otros aceptores de electrones, pH, etc.

V) Toxicidad: la toxicidad de un compuesto afecta a la capacidad de organismo para asimilarlo.

La biorremediación es la rama de la biotecnología que busca resolver el problema de la contaminación, mediante técnicas modernas que incluyen el diseño de microorganismos capaces de degradar todo tipo de compuestos.

Los tipos de biorremediación atendiendo a la comunidad microbiana

I) Atenuación natural (biorremediación natural o intrínseca): es la llevada a cabo por los organismos autóctonos del medio afectado por lo que depende de las habilidades metabólicas de éstos. Básicamente se distinguen dos modelos: aeróbica y anaeróbica.

II) Bioestimulación: introducción de modificaciones en el medio ambiente (aporte de nutrientes, aireación, etc) para favorecer o potenciar la biorremediación intrínseca. En muchos casos será suficiente añadir aceptores de electrones (oxígeno, nitratos, etc) pero en otros hay que aportar nutrientes (como N y P), ajustar el pH, etc.

III) Bioaumentación: consiste en la adición de microorganismos especializados al medio con el fin de potenciar la remediación.

3.3.1 Residuos inorgánicos

Los metales y otros compuestos inorgánicos se vierten al medioambiente procedentes de una serie de actividades, incluyendo la minería, fundiciones, galvanizados y granjas.

RESIDUOS INORGÁNICOS	ORIGEN	EFEECTO
Arsénico	Fundiciones, refineras, pesticidas	Envenenamiento
Asbesto	Aislamiento	Asbestosis, efectos cancerígenos
Cadmio	Galvanización, producción de baterías	Enfermedades renales, dolor en las articulaciones
Plomo	Gasolina con plomo, baterías	Inactiva el sistema nervioso
Mercurio	Producción de bases cloradas, bactericidas anti - moho, fungicidas	Inactiva el sistema nervioso central, parálisis, muerte
Nitratos / Nitritos	Escorrentías agrícolas, conservación de la carne	Producción de nitrosaminas cancerígenas, metahemoglobinemia
Dióxido de azufre	Combustión	Irritante, formación de lluvia acida
Fosfatos	Agricultura	Eutrofización

Tabla 22. Principales tipos de residuos inorgánicos y su efecto en la salud humana

Muchos metales son requeridos por los organismos vivos para su normal funcionamiento pero a altas concentraciones pueden llegar a ser tóxicos. Un ejemplo es el cobre, que es un micronutriente esencial (elemento traza) para las plantas, pero un exceso de cobre puede causar inhibición de la fotosíntesis, de la síntesis de pigmentos y daño a las membranas plasmáticas.

El daño del cobre es causado por la generación de iones superóxido, peróxido de hidrógeno y radicales hidroxilo debido a la oxidación incompleta del oxígeno durante la respiración. Los radicales libres y el peróxido de hidrógeno atacan a los lípidos, proteínas y ADN causando mutaciones y muerte.

Los metales liberados por algunos procesos industriales a menudo exceden con mucho los niveles establecidos para el agua potable, pero estos residuos suelen estar altamente diluidos cuando son vertidos en las aguas fluviales o los sistemas de alcantarillado.

PARÁMETROS	USO EN RIEGO AGRÍCOLA	USO PÚBLICO URBANO	PROTECCIÓN DE VIDA ACUÁTICA	USO EN RIEGO AGRÍCOLA	USO PÚBLICO URBANO
Arsénico	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
Cadmio	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
Cianuro	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0
Cobre	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Cromo	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5
Mercurio	0,01	0,00 5	0,00 5	0,01	0,00 5
Níquel	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Plomo	0,5	0,2	0,2	0,5	0,2
Zinc	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0

Tabla 23. Promedio mensual de límites de metales pesados permitidos, las primeras 3 columnas corresponden a ríos, las últimas dos filas corresponden a embalses naturales y artificiales. NOM-001-SEMARNAT-1996

PARÁMETROS	EXPLOTACIÓN PESQUERA	RECREACIÓN	ESTUARIOS	USO EN RIEGO AGRÍCOLA	HUMEDALES NATURALES
Arsénico	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
Cadmio	0,1	0,2	0,1	0,05	0,1
Cianuro	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0
Cobre	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Cromo	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5
Mercurio	0,01	0,01	0,01	0,00 5	0,00 5
Níquel	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Plomo	0,2	0,5	0,2	5,0	0,2
Zinc	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0

Tabla 24. Promedio mensual de límites de metales pesados permitidos, las primeras 3 columnas corresponden a aguas costeras, las últimas dos corresponden al suelo.

NOM-001-SEMARNAT-1996

La biodisponibilidad del metal depende del estado de oxidación y éste depende de las condiciones físico-químicas. En función del estado de oxidación y los compuestos que esté formando, un microorganismo puede realizar distintas acciones:

- Movilización del metal (Biolixiviación)
- Inmovilización del metal (Biorremediación)
- Transformación en una especie volátil (Biorremediación)

El secuestro o acomplejamiento interno o externo de los metales significa que el material biológico puede unirse a altos niveles de metales, llegando incluso a almacenar hasta el 30 % de su peso seco.

El uso del material biológico para eliminar metales de los residuos puede hacerse de dos maneras; la primera es la detoxificación de las aguas residuales y la segunda la recuperación de metales valiosos como el oro.

La bioadsorción es un fenómeno ampliamente estudiado en la biorremediación de diversos metales pesados como el cadmio, cromo, plomo, níquel, zinc y cobre. Los metales se adsorben pasivamente sobre componentes de la pared celular polianiónica microbiana o sobre los exopolisacáridos (también cargados negativamente). Es un proceso rápido, que no se ve afectado por inhibidores del metabolismo pero sí por las condiciones físico-químicas (como el pH o la fuerza iónica). Es un proceso reversible y puede ocurrir con material vivo o muerto.

La adsorción de metales de las aguas residuales por organismos vivos puede ser activa, pasiva o ambas. La adsorción pasiva es independiente del metabolismo celular e implica la unión de los metales a la pared celular polianiónica o el intercambio de iones con los iones de la pared celular. Los polisacáridos extracelulares microbianos también pueden unirse a metales.

La adsorción pasiva es rápida, completándose en 5 - 10 min y no se ve afectada por los inhibidores del metabolismo, pero se afecta por las condiciones físicas, tales como el pH y la fuerza iónica. La unión pasiva es reversible y puede ocurrir con material vivo o muerto.

La adsorción activa de metales es más lenta que la adsorción pasiva, depende del metabolismo celular y se ve afectada por los inhibidores metabólicos, los desacopladores y la temperatura.

En el caso de la adsorción activa de metales, dichos metales se acomplejan con proteínas específicas, mejor conocidas como metalotioneínas, o bien son contenidos en la vacuola. La adsorción activa y pasiva puede ocurrir al mismo tiempo y son relativamente no específicas en términos del metal absorbido.

La bioadsorción se ha evaluado como un método para la eliminación de metales de las aguas residuales y en

tratamientos a pequeña escala de las aguas de minería. Se ha demostrado que la bioadsorción puede ser económicamente competitiva con las técnicas químicas particularmente cuando la biomasa empleada es barata tal como la biomasa residual de la industria de la fermentación, el exceso de lodos de las aguas residuales y las algas marinas fácilmente cosechables.

Microalgas muertas inmovilizadas en una matriz permeable se pueden obtener como un producto denominado AlgaSORB, este material tiene propiedades similares a las resinas de intercambio iónico y se han utilizado para eliminar cadmio, en otro caso un alga marina marrón, *Eklonia radiata*, ha sido utilizada para unir cobre.

Otra respuesta de los organismos a niveles altos de metales es la producción de proteínas que unen metales, tales como las metalotioneínas que unen el exceso de metal de las células. Se han realizado varios intentos de sobreexpresar metalotioneínas en bacterias para incrementar la unión a metales.

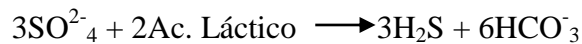
En un intento de incrementar la especificidad de la unión a metales del material biológico, se han expresado péptidos en la superficie de las bacterias que tienen la capacidad de unirse a metales formando una esfera alrededor del ion metálico. Células de *Escherichia coli* expresando una o dos agrupaciones de hexahistidina en la superficie son capaces de unir 11 veces más cadmio que las células no modificadas.

3.3.3 Precipitación extracelular

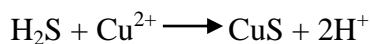
Un cierto número de efluentes industriales y de minería contienen no solo metales sino sulfatos, y se han desarrollado procesos para su eliminación, en presencia de sulfatos los metales pesados pueden ser eliminados por la acción de bacterias anaeróbicas reductoras de sulfatos tales como *Desulfovibrio* y *Desulfotomaculum*. Bajo condiciones anaeróbicas las bacterias utilizan fuentes de carbón sencillas

tales como el ácido láctico para generar ácido sulfhídrico a partir de sulfato:

Precipitación extracelular: los microorganismos son capaces de precipitar metales y radionucleidos en forma de carbonatos e hidróxidos, mediante un mecanismo de resistencia codificado en plásmidos.



El ácido sulfhídrico reacciona con los metales presentes formando sulfuros metálicos insolubles:



Este mecanismo aparece por el funcionamiento de una bomba que expulsa el metal tóxico presente en el citoplasma hacia el exterior celular en contracorriente a un flujo de H⁺ hacia el interior celular.

Esto produce una alcalinización localizada sobre la superficie celular externa y en consecuencia la precipitación del metal pesado. Otra forma de precipitar los metales es a través de la formación de sulfuros o fosfatos, como resultado de alguna actividad enzimática celular.

El bicarbonato formado en la primera reacción se descompone en dióxido de carbono y agua, incrementando el pH y favoreciendo la precipitación de sulfuros. En algunos casos el exceso de ácido sulfhídrico puede ser oxidado a azufre por oxígeno mediante bacterias sulfurosas incoloras, verdes o púrpuras.

Además también existen otros procesos de biorremediación de metales; los cuales son:

Secuestro intracelular: este mecanismo celular involucra un sistema de transporte de membrana que internaliza al metal pesado presente en el entorno celular con gasto de energía. Este consumo energético se genera a través del sistema H⁺-ATPasa. Una vez incorporado el metal pesado al citoplasma, éste es secuestrado por la presencia de proteínas ricas en grupos sulfhidrilos llamadas metalotioneínas (cuya expresión se potencia en presencia de metales pesados) o también puede ser compartimentalizado dentro de una vacuola, como ocurre en hongos.

Transformación intracelular del metal: este proceso involucra un cambio químico sobre el metal pesado, como por ejemplo en el estado de oxidación o metilación. Esta transformación biológica de los metales pesados que resultan tóxicos mediada por enzimas microbianas puede dar como resultado compuestos poco solubles en agua o bien compuestos volátiles. El ejemplo más claro es el ciclo del Hg

en la naturaleza, donde la bacteria *Pseudomonas aeruginosa* puede reducir el catión Hg^{2+} a Hg^0 .

3.3.4 Otros residuos inorgánicos

Además de los metales, otros contaminantes inorgánicos son los nitratos, nitritos, fosfatos, sulfatos, cianuros y arsénico. Los fosfatos y nitratos se derivan principalmente del tratamiento de aguas residuales y de las escorrentías de la agricultura y la industria y si se diluyen bien pueden causar pocos problemas.

Sin embargo si se acumulan altos niveles en los lagos pueden causar lo que es llamado eutrofización, la cual es definida como el enriquecimiento en nutrientes de las aguas que da lugar a la estimulación de una serie de cambios sintomáticos entre los cuales está un aumento en la producción de algas y macrofitos, deterioración de la calidad del agua entre otros.

Uno de los grandes descubrimientos es la bacteria *Klebsiella oxytoca*, que puede tolerar altos niveles de nitrato, hasta una concentración 1M. Otro sistema que puede eliminar el nitrato y el fosfato ha sido la cianobacteria fotosintética *Phormidium bohneri*, en estos casos la ventaja de utilizar una bacteria fotosintética es que el medio es simple y la energía se obtiene de la luz solar, evitando la adición de carbono y la necesidad de una fuente energética. Se han utilizado *Chlamydomonas reinhartii* inmovilizada en perlas de alginato para eliminar nitratos del agua y *Chlorella vulgaris* inmovilizada también para eliminar nitratos y fosfatos.

3.3.5 Residuos procedentes del petróleo

El petróleo crudo es una mezcla extremadamente compleja y variable de compuestos orgánicos. La mayoría de los compuestos en el crudo son hidrocarburos que varían en peso molecular desde el gas metano hasta los altos pesos moleculares de alquitranes.

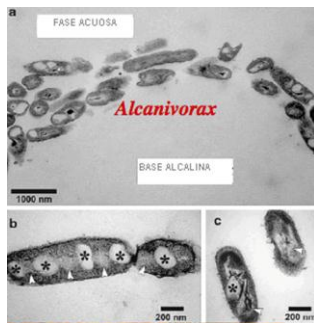
Estos hidrocarburos pueden presentarse en un amplio rango de estructuras moleculares; ya sean cadenas lineales o ramificadas, anillos sencillos, condensados o aromáticos. Los dos principales grupos de hidrocarburos aromáticos son los monocíclicos, el benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX) y los hidrocarburos policíclicos (PAHs) tales como el naftaleno, antraceno y fenantreno.

Además de los hidrocarburos, los crudos contienen hasta un 3% de compuestos heterocíclicos que también contienen azufre, nitrógeno y oxígeno además de algunos metales pesados. El crudo de refina después de su extracción en un número de procesos que convierten la mayoría de los hidrocarburos poliaromáticos en compuestos aromáticos monocíclicos. El crudo refinado puede dividirse en gasolina, gasóleo, gasóleo de calefacción y muchos otros productos.

Las pérdidas de gasolina son de particular interés ya que la gasolina contiene hasta un 20% de BTEX, y estos aunque no son compatibles con agua son móviles y pueden contaminar aguas subterráneas. Los componentes volátiles pueden perderse en la atmósfera si la pérdida ocurre en la superficie pero la pérdida ocurre bajo el nivel del suelo los componentes móviles pueden migrar a través del suelo hacia el nivel freático y a las aguas subterráneas.

Cuando se vierte crudo en el mar, este no se mezcla con el agua marina y flota en la superficie, permitiendo la evaporación de los componentes volátiles, aquellos de 12 carbonos o menos, el crudo flotante, si no alcanza la costa se dispersara debido a la acción de las olas, la dispersión permitirá que organismos presentes de forma natural capaces de degradar los hidrocarburos puedan degradar el crudo vertido.

La descomposición del crudo vertido ocurrirá en la interfase, entre el mismo y el agua, por lo tanto cuanto mejor sea la



Son verdaderos especialistas en degradar hidrocarburos (no metabolizan ni azúcares, ni aminoácidos ni otras fuentes de C habituales).

Destacan los géneros *Alcanivorax* (especializados en degradar alcanos) y *Cycloclasticus* (asimila sólo hidrocarburos aromáticos).

En ambos casos se trata de bacterias marinas que están presentes en pequeñas proporciones en el agua de mar pero que llegan a ser predominantes en aguas contaminadas con petróleo. Se piensa que en aguas no contaminadas se nutren de los hidrocarburos producidos por algas y otros organismos marinos

dispersión del crudo y mayor el área, más rápida será la degradación.

El crudo es un producto natural y por lo tanto se considera biodegradable, por ello quizá no es una sorpresa que los microorganismos que pueden degradar los hidrocarburos se encuentren distribuidos ampliamente en la naturaleza.

La primera etapa en la recuperación y limpieza de un vertido petrolífero es detener la liberación y contener el vertido. Una vez que se ha hecho esto, la superficie del crudo puede ser eliminada mecánicamente con succionadores.

Los dispersantes químicos pueden usarse tanto en el petróleo que flota como sobre aquel que ha alcanzado una costa rocosa pero al implementarlos se deben tener bajo consideración ya que estos pueden ser dañinos para el medio ambiente.

Aunque tanto los métodos físicos como los químicos son eficientes, no todo el crudo puede ser eliminado y son los compuestos de alto peso molecular que quedan los que deben ser eliminados por algún tipo de biorremediación.

Los microorganismos capaces de utilizar hidrocarburos como fuente de carbono y energía se encuentran altamente distribuidos en la naturaleza, sin embargo se cree que el suministro de compuestos utilizables que contengan fósforo y nitrógeno es limitante en la mayoría de los ambientes marinos, así que para favorecer la degradación del crudo es necesario añadir fertilizantes con una razón nitrógeno a petróleo de 1:100.

Los suelos contienen un gran número de microorganismos que puede incluir un número de bacterias y hongos capaces de utilizar hidrocarburos, además se han encontrado algas y cianobacterias capaces de degradar hidrocarburos también.

Sin embargo existe una variedad de factores que afectan el crecimiento de los microorganismos y otro tanto de factores que afectan la metabolización del crudo. Los siguientes factores son los que afectan el crecimiento:

- Presencia de otro material orgánico biodegradable
- Presencia de compuestos inorgánicos que contienen nitrógeno y fósforo
- Niveles de oxígeno
- Temperatura
- pH
- Presencia de agua, humedad del suelo
- Número y tipos de microorganismos presentes
- Presencia de metales pesados

Los siguientes son los factores que afectan la degradación del compuesto:

- Metabolismo y crecimiento bacteriano
- Estructura química de los compuestos orgánicos
- Disponibilidad y/o solubilidad
- Fotoquímica

La biodegradación de los hidrocarburos está asociada con el metabolismo y crecimiento microbiano y por lo tanto cualquiera de los factores que afectan el crecimiento microbiano puede influenciar a la degradación.

Si los microorganismos no pueden utilizar los hidrocarburos como su sola fuente de energía, se precisara alguna otra fuente de sustrato de crecimiento, en algunos casos si se encuentra presente algún otro sustrato el microorganismo puede utilizar este de manera preferencial antes de degradar los hidrocarburos.

Los gases derivados de la combustión de productos tales como el gasóleo o la gasolina son conocidos como gases de efecto invernadero, estos gases afectan al clima global, ya que la radiación solar de onda corta puede atravesar la atmósfera y aunque una parte es reflejada, la mayor parte es absorbida por la superficie terrestre, calentando la atmósfera. La radiación de onda larga emitida por la superficie caliente de la tierra y en general la radiación emitida hacia el exterior equilibra la radiación solar incidente, sin embargo parte de la radiación emitida es absorbida por estos gases de efecto invernadero en la atmósfera que radian la energía de vuelta a la superficie terrestre, como consecuencia la superficie terrestre se calienta más de lo que haría por el calentamiento directo.

Además como se ha mencionado anteriormente los microorganismos también pueden requerir suplementación con compuestos que contengan nitrógeno y fósforo.

También la degradación aeróbica de los hidrocarburos es más rápida que el proceso anaeróbico, de modo que el suministro de oxígeno será preciso para mantener las condiciones si se requiere una degradación rápida.

Un suelo con una estructura abierta favorecerá la transferencia de oxígeno y un suelo anegado de agua tendrá el efecto contrario. La temperatura afecta el crecimiento microbiano, así que a bajas temperaturas la degradación será más lenta, la adición de nutrientes a los suelos a temperaturas entre 4 - 10°C ha demostrado tener un bajo efecto ya que reduce el crecimiento microbiano.

El pH del suelo afectará el crecimiento y a la solubilidad del compuesto que debe ser degradado.

La presencia de gran número de microorganismos que degradan los hidrocarburos en el suelo será claramente una ventaja al principio, pero como la mayoría de los suelos contiene este tipo de organismos el crecimiento pronto se incrementará de modo que la adición específica de organismos que degradan los hidrocarburos probablemente no sea necesaria.

La contaminación por hidrocarburos también puede estar asociada con altos niveles de metales pesados que pueden inhibir el crecimiento microbiano dependiendo de la concentración y tipo de metales.

La velocidad de degradación de los hidrocarburos también dependerá de la estructura de los compuestos. Los compuestos más simples alifáticos y aromáticos monocíclicos se degradarán rápidamente, pero estructuras más complejas

tales como los PHAs no se degradan tan fácilmente y pueden persistir durante algún tiempo.

Otro factor importante es la accesibilidad del compuesto para su degradación en el interior del suelo, la accesibilidad se verá afectada por la estructura del suelo, su porosidad y composición y por la solubilidad del compuesto mismo.

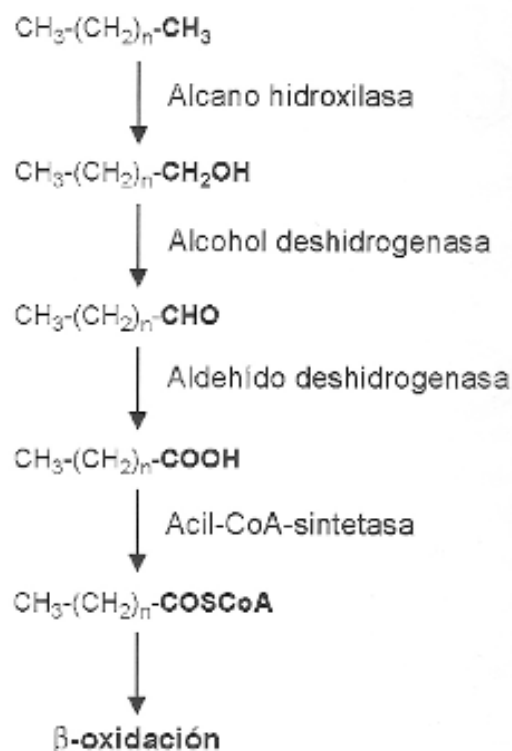


Figura 26. Ruta de degradación de alcanos más frecuente en bacterias³⁹

El grupo CH_3 que es oxidado secuencialmente por las enzimas indicadas se representa con la letra negrita, el ácido graso formado, tras unirse a CoA-SH , entra en el ciclo de B-oxidación de ácidos grasos, en el que se van liberando moléculas de acetil-CoA que entran directamente en el ciclo de los ácidos tricarbónicos (TCA)

³⁹ Tomado del libro
Biotecnología Ambiental. Alan Scrag Ed Acribia, SA Zaragoza España 2002

La Degradación de alcanos: en la inmensa mayoría de los casos, los microorganismos metabolizan los alcanos transformándolos en ácidos grasos mediante la oxidación progresiva de uno de los grupos metilo terminal. Realmente la enzima clave es la primera, la alcano hidroxilasa, que mete un grupo alcohol en dicho carbono. Es una monooxigenasa (a partir de O₂, mete un átomo de oxígeno en dicho átomo de C, y el otro átomo de O es reducido a agua). Las demás enzimas que participan son más habituales.

En cuanto a los compuestos petroquímicos PHAs y BTEX son degradados por los microorganismos del suelo que los utilizan como fuente de energía y de compuestos carbonados para la síntesis celular, los hidrocarburos son compuestos reducidos estables y por lo tanto la degradación normalmente ocurre mediante oxidación bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas.

La degradación microbiana de los hidrocarburos aromáticos monocíclicos y policíclicos ha sido estudiada de forma extensiva, donde se muestra que los hidrocarburos alifáticos se convierten en alcoholes y después son oxidados secuencialmente a ácidos carboxílicos que son B-oxidados o bien entran al TCA.

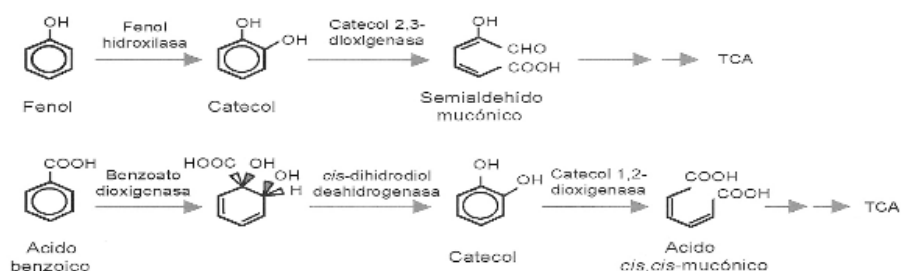


Figura 27. Rutas de degradación de fenol y ácido benzoico⁴⁰

Los compuestos aromáticos monocíclicos, como es el caso del benceno, son primero hidroxilados por una enzima dioxigenasa que posteriormente es convertido a catecol, el metabolismo

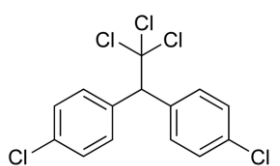
⁴⁰ Tomado del libro Biotecnología Ambiental. Alan Scrag Ed Acribia, SA Zaragoza España 2002

3.3.6 Compuestos sintéticos orgánicos

Además de los productos petroquímicos, el medioambiente esta también abierto a la contaminación por otros diversos compuestos orgánicos, a diferencia de los productos derivados del petróleo, muchos de estos compuestos orgánicos no son naturales.

Estos compuestos orgánicos, esencialmente nuevos, son a menudo denominados como xenobióticos, algunos de los productos más comúnmente utilizados son los pesticidas (biocidas), herbicidas y conservantes.

La mayoría de los biocidas y herbicidas son liberados al medioambiente a través del uso directo, otros tales como los policlorobifenilos (PCBs) que se utilizan como fluidos hidráulicos, plastificantes, adhesivos, lubricantes, retardantes de ignición y fluidos dialécticos en transformadores, se liberan al medioambiente durante su producción, como consecuencia de vertidos y su eliminación.



Dicloro Difeníl
Tricloroetano
DDT

Otro grupo de compuestos que contaminan frecuentemente las aguas subterráneas son los solventes clorados como el tricloroetano, tetracloruro de carbono y tetracloroetano.

PESTICIDAS	VIDA MEDIA APROXIMADA
Cloro	2 - 4 años
DDT	3 - 10 años
Dieldrina	1 - 7 años
Heptacloro	7 - 12 años
Toxafeno	10 años

Tabla 25. Persistencia de algunos pesticidas halogenados

Muchos de los compuestos xenobióticos liberados al medioambiente pueden ser degradados por microorganismos, pero solo son eliminados lentamente, tan lentamente que en la práctica resultan permanentes.

Las tasas de degradación tan bajas hacen que los organismos tiendan a acumular los compuestos en un proceso conocido como “biomagnificación”, en este caso el primer organismo puede ser la presa del otro y como consecuencia la concentración del compuesto se incrementara en el segundo microorganismo.



Phanerochaete chrysosporium
Organismo capaz de degradar PCP

La persistencia de los xenobióticos en el medioambiente está influenciada por la estructura y propiedades de las moléculas, su toxicidad para los microorganismos y las condiciones ambientales. La toxicidad y persistencia de los compuestos organohalogenados está influenciada por el número de moléculas de halógeno, su posición y el tipo de halógeno.

Se han encontrado organismos capaces de degradar xenobióticos en suelos y sedimentos, particularmente en lugares contaminados, e incluyen bacterias, hongos y algas.

Las rutas de degradación para algunos compuestos cloroaromáticos han sido estudiadas bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas. Los cloroaromáticos pueden ser degradados por monooxigenasas y dioxygenasa.

Se ha aislado un número de microorganismos que pueden degradar pentaclorofenol (PCP) en condiciones de aerobiosis o anaerobiosis, incluyendo *Flavobacterium*, *Arthrobacter*, *Rhodococcus*, también el hongo blanco *Phanerochaete chrysosporium*.

De igual manera existen algunos tipos de enzimas que ayudan a la degradación de este tipo de compuestos, así como la presencia de plásmidos en algunos microorganismos que por

ejemplo en el caso de la atrazina codifican las enzimas que la convierten en ácido cianúrico.

3.3.7 Fitorremediación

La fitorremediación es la utilización de plantas para la eliminación de contaminantes y metales del suelo. La fitorremediación puede cubrir los siguientes procesos:

Nombre	Nombre	Proceso	Tipo contaminante	Aplicación
Fitodegradación	Fitodegradación	Biodegradación o transformación del contaminante e incorporación al tejido de la planta	Compuestos orgánicos complejos	Suelos y aguas
	Rizodegradación	Sistema integrado planta-microorganismo La rizosfera estimula la acción de los microorganismos		
Fitoextracción		Absorción, translocación y acumulación del metal Posterior recolección	Metales y radionucleidos	Suelos
Fitofiltración	Rizofiltración	Adsorción, precipitación o absorción del metal en las raíces	Metales	Aguas
	Blastofiltración	Adsorción, precipitación o absorción del metal en plántulas		
Fitoestabilización		Inmovilización y reducción de la biodisponibilidad del metal por adsorción y precipitación en el suelo y las raíces	Metales y radionucleidos	Suelos
Fitovolatilización		Absorción y devolución del contaminante a la atmósfera	Se, Hg y As	Suelos y aguas



Alyssum lesbiacum Planta que es capaz de captar Níquel

Figura 29. Términos que engloba el término fitorremediación

La fitoextracción es posible debido a la capacidad de ciertas plantas de captar metales y acumularlos a altos niveles en hojas y tallos, este tipo de plantas se conoce como fitoacumuladores y pueden acumular de 50 a 100 veces más metal que las plantas normales, ejemplos de estas plantas son:

TIPO DE PLANTA	ELEMENTO CAPTURADO
<i>Thaspi caerulescens</i>	Cinc, Cadmio
<i>Cardaminopsis halleri</i>	Cinc, Cadmio
<i>Alyssum lesbiacum</i>	Níquel

Tabla 26. Ejemplos de plantas fitorremediadoras

Las propiedades de las plantas acumuladoras deben ser las siguientes; las plantas deben ser capaces de tolerar altos niveles de metales en sus raíces y brotes, esto es posible mediante la concentración del metal en la vacuola o por quelación del metal.

Capítulo 4. Aprovechamiento de Residuos por Métodos Biotecnológicos

“Da tu primer paso ahora. No es necesario que veas el camino completo, pero da tu primer paso. El resto irá apareciendo a medida que camines”

Martin Luther, Jr.

Más tarde o más temprano, el petróleo se agotara, nuevas fuentes alternas de energía resultaran del conocimiento sobre los mecanismos celulares.

La reserva total mundial económicamente recuperable de los tres principales combustibles fósiles, que son el carbón, el gas natural y el petróleo son; menos de 1000 años, 35 años y 16 años respectivamente.

El agotamiento progresivo de la energía fósil ha generado una necesidad en continuo aumento de buscar fuentes alternativas de energía, incluyendo la fuerza hídrica (mareas, olas y viento), la energía solar y geotérmica, además de la energía nuclear.

Existió una crisis energética en los años setenta, en la que se puso de manifiesto la forma irracional en que la colectividad, sobre todo en países industrializados, usa la energía, en particular la proveniente del petróleo y del carbón, los cuales constituyen una fuente no renovable que por su abundancia, durante décadas se utilizó como si nunca fuera a agotarse.

Hoy cuando el desabasto es previsible en un plazo capaz de afectar a generaciones que ya viven hoy resulta urgente un cambio de actitud ante la producción y el uso de la energía.

A diferencia del petróleo y el carbón, la biomasa tiene carácter renovable, pues en tiempos relativamente cortos es posible reciclarla, ya que a través de la fotosíntesis se vuelve a capturar el CO₂ producido por combustión para generar energía.

También existen hoy otras formas de energía que se pueden obtener con gran facilidad de los procesos biológicos, tal es el caso del alcohol etílico o etanol, producido por procesos de fermentación con microorganismos a partir de la sacarosa de la caña o almidón del maíz. Miles de litros se producen de esta forma en Brasil y EUA y son usados como sustituyente o como

aditivo de la gasolina de los autos, de tal forma que, después de oxidarla para producir energía, el ciclo se cierra vía fotosíntesis y fermentación.

Algo similar podría decirse del llamado biodiesel, que se emplea como carburante de motores en Europa y proviene de la esterificación dada entre el metanol y los ácidos grasos del aceite de soya o colza.

Algunos microorganismos también son capaces de producir hidrogeno, combustible que no contamina. el hidrogeno o como es también llamado, la “pila biológica” son ejemplos que se explicaran más adelante y que son alternativas que pueden proveer de energía en el futuro.

También hoy en día se han realizado estudios en los cuales se ha demostrado la capacidad de los microorganismos de hacer más eficiente la industria petrolera mediante la producción de gomas y agentes tensoactivos (detergentes) que facilitan la extracción del petróleo en pozos próximos a agotarse o bien útiles a través de la oxidación biológica, para eliminar el azufre, elemento asociado al petróleo de baja calidad.

Actualmente hay una creciente valoración de los sistemas de energía biológica y que los avances en esta área puedan pronto ofrecer una realidad económica a algunos procesos seleccionados.

La biomasa como los residuos del bosque, de la agricultura y de los animales y los desechos orgánicos industriales puedan ahora ser convertidos mediante procesos físico - químicos y de fermentación para producir combustibles y sustitutos petroquímicos.

Como las fuentes de combustible fósil están agotadas y cada vez son más caras, la conversión de residuos orgánicos en

combustibles líquidos adquiere una consideración económica más atractiva.

Una de las principales ventajas de poner nuestras miradas hacia la generación de energía a partir del material biológico es que esta a diferencia de los típicos combustibles, que dan lugar a la producción de un número de productos de combustión (CO, CO₂, SO₂, SO₃, NO, NO₂, N₂O, HCl, HF, Hg, entre otros), es más limpia, ya que no genera este tipo de gases secundarios, además de que es inagotable y renovable.

La energía es entonces producida a partir del material biológico o biomasa.

4.1 Fuentes de biomasa

Biomasa es el término para la materia orgánica viva o muerta, tal como árboles, cosechas, hierbas y residuos domésticos e industriales, los tipos de biomasa son por lo tanto muy diversos y actualmente se está investigando un número de métodos para extraer energía de la biomasa. La conversión de la biomasa en calor o energía puede realizarse de diferentes formas; combustión directa, gasificación y pirólisis. La combustión directa de la biomasa en forma de madera se ha utilizado durante miles de años como fuente de calor, pero para producir otros tipos de energía tales como electricidad de necesita su combustión en quemadores para producir vapor que pueda mover turbinas, pero este sistema se ha debilitado debido a que los árboles no están siendo repuestos a la misma velocidad que se cosechan. La gasificación es un proceso en que la biomasa reacciona con vapor y oxígeno para producir combustible gaseoso, el gas resultante es una mezcla de monóxido de carbono, hidrógeno, metano, dióxido de carbono y nitrógeno. Bajo ciertas condiciones la gasificación puede producir gas de síntesis que es una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno y que puede ser utilizado para sintetizar hidrocarburos. La pirólisis es el calentamiento de la biomasa en

ausencia de aire a temperaturas de 300 - 500°C, bajo estas condiciones los sólidos que quedan son carbón vegetal y sustancias volátiles que pueden ser usadas como aceite combustible

La biomasa puede ser considerada como una fuente de energía renovable y puede convertirse en energía directa o en compuestos transportadores de energía que la liberen mediante combustión como ya se explicó, en sistemas de digestión anaeróbica, destilación destructiva, hidrólisis química e hidrólisis bioquímica.

Hay tres direcciones principales que pueden seguirse para obtener provisiones de biomasa:

- I. Cultivo de las llamadas cosechas energéticas
- II. Cosecha de vegetación natural
- III. utilización de desechos de la agricultura y otros desechos orgánicos

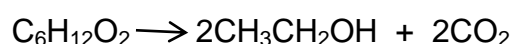
La conversión de biomasa en combustible utilizables puede conseguirse por medios biológicos o químicos o por la combinación de ambos, los dos productos finales principales son el metano y el etanol, aunque se pueden generar otros productos dependiendo de la biomasa inicial y el proceso utilizado, por ejemplo, combustibles sólidos, hidrogeno, gases con baja energía, metanol e hidrocarburos de cadena larga.

Una forma de obtener la biomasa es como se mencionó en el párrafo anterior es mediante un medio biológico el cual podría ser el cultivo de biomasa específicamente como fuente de energía esto se basa en el hecho de que se consiguen mayores cantidades de carbón fijado a partir de métodos de plantación bien diseñados que de la cosecha de vegetación natural o de la recolección de desechos de la agricultura o industriales.

La fermentación alcohólica para obtener etanol y la digestión anaeróbica a metano, así como la reducción química a aceites hidrocarbonados es posible. Los materiales con baja humedad como la madera, la paja y el bagazo pueden ser quemados para dar calor o para producir vapor para la generación de electricidad; sometidos a procesos termoquímicos como la gasificación y la pirólisis para producir compuestos ricos en energía como el gasóleo, carbón y eventualmente metanol y amonio.

4.2 Etanol a partir de biomasa

La producción de alcohol por fermentación de azúcares y almidón es un arte antiguo y se considera a menudo uno de los primeros procesos microbiológicos usados por el hombre:



Además de que los beneficios del etanol como combustible son considerables ya que es una energía eficiente, no produce monóxido de carbono tóxico durante la combustión porque es mucho menos contaminante que los combustibles convencionales, es todavía más barato producir etanol a partir del petróleo químicamente que por procesos como la fermentación.

El gas obtenido a partir de un digestor anaeróbico, es de alrededor de 10 kg de estiércol de ganado por m³ por día, produciendo gas a 0,15m³ por día por metro cubico de volumen del tanque.

Mientras que hay obvias reducciones en sus contribuciones al calentamiento global, la adición de anhídrido de etanol a la gasolina elimina la necesidad de tetra etil plomo para aumentar el octanaje, además hay estudios que han demostrado que los motores de etanol producen un 57% menos monóxido de carbono, un 64% menos de hidrocarburos y un 13% menos de óxido nítrico que los vehículos con motor de gasolina.

Para conseguir disponibilidad de los azúcares fermentables necesarios la mayoría de las materias primas requieren algún tipo de pretratamiento, dependiendo de su composición

Para que el etanol sea usado como combustible debe ser de una pureza superior del 96% por lo que es concentrado normalmente mediante destilación, cuando es requerido etanol anhidro se realiza una segunda destilación en la cual se mezcla benceno con etanol.

química, con la caña de azúcar este tratamiento es mínimo y consiste fundamentalmente en la operación normal de moler, mientras que las raíces de mandioca requieren la acción de un agente hidrolítico apropiado; bien para hidrólisis acida o bien enzimática.

La biotecnología está teniendo un efecto considerable mediante desarrollos novedosos y numerosos de programas de investigación en esta área, como por ejemplo la generación de microorganismos más eficientes mediante ingeniería genética (fermentación alcohólica mejorada, resistencia a altas temperaturas y a altos niveles de alcohol, velocidad de fermentación y mejores rendimientos entre otros) mediante mejora de la tecnología de reactores con enzimas inmovilizadas y por diseño de mejoras en el proceso.

Y hablando de microorganismos el principal microorganismo fermentador es *Saccharomyces cerevisiae* que aunque es efectivo en la producción de etanol está limitado en cuanto a los sustratos que puede utilizar , por lo cual si no se van a otorgar algún tipo de sustrato que no pueda degradar se necesitara de un pre- tratamiento.

Por ejemplo; *Sacharomyces spp.* no puede utilizar el almidón o la celulosa, por lo que el pre- tratamiento consistiría en una etapa en la que se aumenta la temperatura hasta 170°C para gelatinizar los gránulos de almidón y a continuación se agrega una amilasa para producir una hidrólisis, la enzima se inactiva por la temperatura pero esta activa durante el proceso de calentamiento, posteriormente se disminuye la temperatura a 90°C, se añade mas amilasa y se incuba durante 30- 60 min mas, esta es la etapa de licuefacción en la que el almidón se convierte en dextrinas de cadena larga, las dextrinas se convierten en glucosa mediante la adición de amiloglucosidasa a 50 - 60°C por 1- 2 horas, esta mezcla se enfría y se agrega la levadura para comenzar la fermentación.

MICROORGANISMO	SUSTRATO
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> *	Glucosa, fructosa, galactosa, maltosa, maltotriosa, xilulosa
<i>S. carlsbergensis</i> *	Glucosa, fructosa, galactosa, maltosa, maltotriosa, xilulosa
<i>Kluyveromyces fragilis</i> *	Glucosa, galactosa, lactosa
<i>Candida tropicalis</i> *	Glucosa, xilosa, xilulosa
<i>Zymomonas mobilis</i> **	Glucosa, fructosa, sacarosa
<i>Clostridium thermocellum</i> **	Glucosa, celobiosa, celulosa

Tabla 27. Microorganismos productores de etanol

Los motores de gasolina funcionan con mezclas que contienen hasta un 20% de etanol sin grandes modificaciones, el octanaje del etanol es más alto que la gasolina así como el calor latente de evaporación.

El octanaje es una medida de la resistencia del combustible a la pre-ignición cuando es comprimido en el cilindro del motor

La introducción de mejoras tales como la fermentación al vacío parcial y el reciclaje de las células de levaduras fermentadores aumentan la productividad de los procesos convencionales de fermentación y dicho aumento (10 o 12 veces más) reduce los costos y los requerimientos energéticos para la operación del fermentador.

Recientemente ha habido un interés creciente en el uso del aceite de semillas de colza como sustituto del diesel; biodiesel. El biodiesel se obtiene de las semillas de colza como resultado de la reacción entre el aceite y el metanol en presencia de un catalizador (como el hidróxido de sodio a 50°C) produciendo un éster y glicerol.

Se deja que el glicerol repose y el biodiesel se purifica y se usa como combustible, el biodiesel purificado tiene propiedades físicas y químicas similares a las del combustible diesel o del fuel oil para calefacción. El uso de biodiesel no requiere modificaciones específicas a los motores.



Semillas de Colza
ampliamente empleadas
para obtener biodiesel

Las principales ventajas del biodiesel son; en primer lugar la energía almacenada es considerablemente superior que la consumida durante su producción y aumentara con la mejora (mediante ingeniería genética), en segundo lugar no es tóxico y biodegradable en más del 98% y su contribución al efecto invernadero es de 3 a 5 veces inferior a la de diesel, y es renovable.

4.3 Metano a partir de la biomasa

El gas metano puede ser usado para la generación de energía mecánica, eléctrica y calorífica y es ampliamente utilizado en la actualidad como fuente de combustible para usos domésticos e industriales o puede ser convertido a metanol y usados como combustible para máquinas de combustión interna. Estas fuentes de gas natural se generaron originalmente a partir de la biomasa hace muchos años atrás.

El gas metano también existe en la atmósfera y se produce principalmente a partir de la acción de microorganismos sobre tierras húmedas naturales y arrozales y en la fermentación entérica de los animales.

La microbiología de la producción del metano es compleja implicando mezclas de microorganismos anaeróbicos, en principio la fermentación anaeróbica de mezclas orgánicas complejas se cree que se produce a través de tres fases bioquímicas principales, cada una de las cuales requiere parámetros microbiológicos específicos:

La fase inicial requiere de la solubilización de moléculas complejas como la celulosa, grasas y proteínas que se producen a partir de la materia orgánica natural, los productos resultantes de esta fase, son solubles de bajo peso molecular los cuales entran directamente a la segunda fase donde son convertidos en ácidos orgánicos. En la fase final de esta

actividad microbiana los ácidos son descompuestos por bacterias metanogénicas dando lugar a metano y CO₂.

El más eficiente y complejo sistema de producción de metano en la naturaleza es en el estómago de los rumiantes, este sistema anaeróbico aún no se ha podido reproducir integralmente fuera de la vaca y se sabe que consiste en una compleja interacción entre un alto número de bacterias, protozoos y hongos.

Existen varias formas por las que el metano se puede producir en una economía organizada; a partir de la materia orgánica líquida, de los desechos de la agricultura y urbanos y en reactores de biogás.

La economía global de la producción de metano tiene que reconocer los valiosos productos colaterales generados durante el proceso, como son el desecho líquido y el residuo rico en amonio, fosfatos y células microbianas, que pueden ser utilizadas como fertilizantes, abonos e incluso para los animales, además de que el proceso puede convertir desechos patógenos y malolientes en materiales inocuos y útiles.

Cuando el metano se produce mediante fermentación del estiércol de los animales, los productos gaseosos son generalmente denominados "biogás", el biogás es una mezcla inflamable de 50 - 80% de metano, 14 - 45% de dióxido de carbono, 5% agua y algunas trazas de otros gases.

El metano se produce mediante biometanación y es de hecho un proceso simbiótico microbiano con autorregulación que opera en condiciones anaeróbicas y funciona mejor a temperaturas de 30°C, se hayan microorganismos implicados de forma natural en el excremento de los rumiantes. En estos sistemas el estiércol del animal se mezcla con agua y se deja que fermente en condiciones casi anaeróbicas.

Bajo condiciones ideales, 10 Kg de materia orgánica seca puede producir 3 m³ de biogás, que puede servir con el equipo adecuado para cocinar 3 h, dar luz 3 h o tener refrigeración durante 24 h.

4.4 Producción de Hidrogeno



La cianobacteria verde azulada *Anabaena cylindrica* es capaz de producir hidrogeno *in vivo*.

La producción de hidrogeno se puede conseguir con las bacterias fotosintéticas, mediante biofotólisis del agua y por fermentación, en los dos primeros sistemas, se puede conseguir una producción alentadora de hidrogeno, pero se necesita investigar más para determinar la importancia de estos métodos a nivel aplicado.

Aunque se puede generar hidrogeno a partir de la glucosa por la acción de las bacterias, la tasa de producción es demasiado baja para conseguir que la producción del hidrogeno microbiano sea costeable.

4.5 Recuperación de petróleo mediante microorganismos

Los procesos de recuperación de petróleo implican el uso de polímeros tales como la goma de xantana, producidos por fermentación a gran escala por bacterias específicas.

Tales gomas tienen una excelente viscosidad y características reológicas y pueden pasar a través de espacio de pequeño poro liberando más petróleo atrapado.

Otra posible aproximación es el uso de microorganismos *in situ* para obtener petróleo mediante la formación de gas o incluso alterando la viscosidad del petróleo esto con la ayuda de la degradación parcial microbiana.

Conclusiones

“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad”.
Albert Einstein

En el mundo, se ha ido tomando cada vez más importancia en el aspecto ambiental, dado que es el ambiente en el que no solo las especies animales conviven, sino que estamos hablando del hábitat del hombre, no como especie superior sino como un habitante más que forma parte de un ecosistema el cual poco a poco hemos ido desgastando hasta llegar en algunos casos a cifras alarmantes, como es en el caso del agua la cual la sabemos cómo un recurso finito, que es de gran importancia para la vida y que en algunos casos y gracias a la actividad humana se ha vuelto un recurso no renovable.

El agua cubre alrededor del 75% de la superficie terrestre, de este porcentaje el 97% corresponde al agua de mares y solo el 3% equivale al agua dulce o de consumo humano (la cual se encuentra en ríos, lagos, glaciares, etc.).

El agua es un recurso de suma importancia para la vida, ya que los organismos, plantas y animales la necesitan para su supervivencia, por lo cual es de enorme importancia cuidarla, como seres razonables la principal acción que podemos tomar a nivel individual es fomentar la educación ambiental, donde se haga énfasis en las consecuencias de su desperdicio, pero también la educación es una herramienta útil en materia de tratamiento de aguas residuales, donde tomando los conocimientos de varias materias se puede hacer algo para remediar lo que hemos hecho.

Alrededor del mundo se han tomado acciones para colaborar a su preservación, y en particular en México existen no solo organismos no gubernamentales sino también hay normas oficiales que indican como es la forma adecuada de clasificar y dar el correcto tratamiento así como los estudios aplicables a estas aguas para asegurar que su descarga contenga las concentraciones más bajas de contaminantes.

Como se mencionó, es importante también el manejo adecuado del conocimiento para entonces poder dar

soluciones adecuadas a cada situación, ya que si podemos hacer esto de manera correcta podremos incluso obtener beneficios de lo que estaba considerado como desperdicio, esto nos lleva a aprovechar recursos que antes no se tenían en mente.

Los microorganismos juegan un papel importante en el tratamiento de las aguas residuales, ya que ellos son los principales captosres de la materia orgánica y en algunos casos de la inorgánica, son generadores además de subproductos de degradación de dicha materia, generando en algunos casos gas metano e incluso hidrogeno.

Dichos microorganismos pueden estar acoplados a enormes tanques o campos de tratamiento donde realizan su función al lado de otro tipo de organismos como gusanos u hongos, o bien pueden ser liberados al ambiente donde se enfrentan al problema al lado de los demás organismos que se encuentran habitualmente en el ambiente de la zona.

Mucho se puede mencionar acerca de los microorganismos que se pueden emplear para ayudar a captar los contaminantes del ambiente, y actualmente se trabaja en mejorar a estos organismos mediante ingeniería genética, aunque esto podría ser la solución a muchos problemas ambientales también se tiene que tener en cuenta que no se cuentan con registros acerca de las adversidades o riesgos potenciales que podrían generar dichos microorganismos al liberarlos al ambiente, ya que se piensa estos organismos genéticamente modificados podrían desplazar a la población natural o bien tener interacciones ecológicas y en un peor escenario la transferencia de características genéticas no deseadas.

Como vemos aún existe un largo camino que recorrer con respecto al tratamiento de aguas, cada día se obtienen nuevos descubrimientos, donde los investigadores siguen aportando

propuestas biotecnológicas para la solución de problemas, donde la solución debe ser mas sustentable y de esta manera poder ayudar al ambiente, teniendo en cuenta que con esto ayudaremos a preservar las generaciones venideras.

PERSPECTIVAS.

- Continuar con la identificación de microorganismos especializados para así adquirir la mayor cantidad de contaminantes en las zonas afectadas.
- Realizar estudios de riesgo donde se haga hincapié en lo que pasa con los organismos liberados (practica que actualmente se realiza) y con la flora normal del ambiente, para así asegurar que no hay efectos colaterales al liberar estos microorganismos.
- Sugerir el compostaje como una alternativa de reciclaje a las empresas o grandes generadores de residuos ya que es una actividad que tiene una buena eficacia aunado a que tiene un bajo costo.
- Sugerir de nuevo a los grandes generadores o a las instituciones encargadas de los residuos otorgar información acerca del uso de plantas como herramienta para la descontaminación del agua.
- Aumentar la investigación sustentable con la ayuda de plantas y microorganismos.
- Descontinuar aquellos procesos que pretenden ayudar al medioambiente pero que solo son nocivos, es decir que a largo plazo en lugar de beneficiar terminaran perjudicando al ambiente.
- Regular los vertederos ya que de estos se puede obtener beneficios (gas Metano, hidrogeno).

GLOSARIO

ADSORCIÓN: El fenómeno de adsorción es el proceso por el cual átomos o moléculas de una sustancia que se encuentra en determinada fase, son retenidas en la superficie de otra sustancia, que se encuentra en otra fase. Como resultado de este proceso, se forma una capa de líquido o gas en la superficie de una sustancia sólida o líquida

BIOACUMULACIÓN: describe el incremento de un compuesto en un organismo comparado con el nivel en el entorno.

BIOADSORCIÓN: tipo de adsorción dado por microorganismos

BIOCONCENTRACIÓN: se refiere a la concentración de un contaminante del agua, a menudo los contaminantes que se acumulan son lipofílicos y como consecuencia son almacenados o se acumulan en las grasas y aceites. La bioconcentración puede tener un valor numérico, denominado factor BCF.

BIOCOMBUSTIBLE: combustible sólido, líquido o gaseoso obtenido a partir de materiales biológicos.

BIOGAS: gas producido mediante la digestión anaeróbica que es una mezcla de metano y dióxido de carbono con trazas de hidrogeno y de ácido sulfúrico.

BIOLIXIVIACIÓN: utilización de microorganismos para la recuperación de metales.

BIOMARCADOR: organismo natural o genéticamente modificado que tiene una propiedad específica que permite su seguimiento en el medio ambiente, es un método para valorar la contaminación medioambiental.

BIOMAGNIFICACIÓN: proceso de bioacumulación de una sustancia tóxica debido a la persistencia o baja tasa de degradación del organismo que obtuvo dicha sustancia.

BIOMASA: en microbiología, masa celular o peso total de material vivo y en estudios medioambientales, la cantidad de materia viva y/o muerta en un ecosistema.

BIORREACTOR: recipiente utilizado para llevar a cabo una reacción biológica que implica el crecimiento de microorganismos o el uso de enzimas.

BIORREMEDIACIÓN: utilización de microorganismos o plantas para limpieza de la contaminación ambiental.

BOD (Demanda Bioquímica de Oxígeno): se define como la cantidad de oxígeno disuelto requerido para que los microorganismos aeróbicos estabilicen la materia orgánica en el agua de desecho o residuos líquidos

CITOMETRÍA DE FLUJO: máquina automática que puede separar y analizar células individuales de poblaciones mixtas.

COD (Carbono Orgánico Disuelto): Es el carbono orgánico remanente en una muestra después de filtrar la misma, típicamente usando un filtro de 0,45 micrómetros

ESTERIFICACIÓN: reacción en la cual se produce un éster, a partir de un ácido carboxílico y un alcohol.

SALES CAOTRÓPICAS: las sales caotrópicas atraen las moléculas de agua y eliminan la capa hidratante que recubre las diferentes biomoléculas, lo cual permite que dichas moléculas interactúen por medio de diferentes mecanismos y así logren su separación.

TOC (carbono orgánico total): medida del contenido de carbono de una muestra. El valor puede obtenerse por pirólisis eléctrica seguida de análisis infrarrojo del dióxido de carbono liberado. Se utiliza como indicador del contenido orgánico de una muestra.

TOD (demanda total de oxígeno): medida de oxígeno requerido en la combustión de todo el carbono orgánico de una muestra.

TREN DE TRATAMIENTO: serie de operaciones que se deben seguir en cierto orden para obtener el agua con la calidad deseada.

XENOBIÓTICO: compuesto químico que no se encuentra normalmente en la naturaleza, sino que es sintetizado químicamente.

BIBLIOGRAFIA

- Basic Biotechnology. Third Edition Colin Ratledge University of Hull UK. Bjorn Kristiansen EU. Biotech Consulting Norway Cambridge University 2009
- Biotecnología Ambiental. Alan Scrag Ed Acribia, SA Zaragoza España 2002
- Biotecnología. Jhon E Smith Ed Acribia SA Zaragoza España 2007
- Essentials of Biotechnology. Suparna S. Pachauni 5a Edition 2009
- Los Transgenicos en Mexico. Empresas, Marcas y Productos. Gustavo Castro y Rian Zinn 2010
- SEMARNAT. CONAGUA. Estadísticas del Agua en México, 2011 México, D.F., 2011
- SEMARNAT. CONAGUA. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (varios años). México, D.F., 2009

Paginas disponible al día 21/03/2012:

- Manejo de Sólidos residuales o biosólidos. Ingeniería de tratamiento de aguas residuales. <http://www.oocities.org/edrochac/residuales/biosolidos9.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI): <http://www.inegi.org.mx/Sistemas/temasV2/Default.aspx?s=est&c=21385>
- Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento: <http://www.alianzaporelaqua.org/Compendio/tecnologias/t/t6.html>
- PROFEPA: Procuraduria Federas de Proteccion al Ambiente: <http://www.profepa.gob.mx/>
- SEMARNAT: Secretaria de Medio Ambiente y de Recursos Naturales <http://www.semarnat.gob.mx/Pages/Inicio.aspx>
- CONAGUA: Comision Nacional del Agua <http://www.cna.gob.mx/>

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
<http://www.epa.gov/espanol/>
- Blacksmith Institute: Solving Pollution Problems, Saving Lives
<http://www.blacksmithinstitute.org/projects/pollutants/hm>
- SENER: Secretaria de Energia
<http://www.sener.gob.mx/portal/bioenergeticos.html>
- Organización No Gubernamental; Organización Mexicana para la Conversación del Medio Ambiente:
<http://www.ecoportel.net/content/view/full/91593>
- GREENPEACE México:
<http://www.greenpeace.org/mexico/es/>
- Organismos Modificados Genéticamente (OMGs):
www.monsanto.co.uk
- Extracción y Purificación de los Acidos Nucleicos
http://www.divulgacion.ccg.unam.mx/files/pdfs/como/Purificacion_extraccion_DNA-RNA.pdf
- Tecnologías de producción de Biogas
<http://www.biodisol.com/que-es-el-biogas-digestion-anaerobia-caracteristicas-y-usos-del-biogas/tecnologias-de-produccion-de-biogas-digestion-anaerobia-biocombustibles/>

Normas Mexicanas Revisadas:

- NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los limites máximos permisibles de contaminantes en las aguas de descarga en aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-002-ECOL-1996, Que establece los limites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
- NOM-003-ECOL-1997, Que establece los limites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicio al publico.
- Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo 1. Diario Oficial de la Nación Presidencia de la república.

Documentos Revisados:

- Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático.
- Programa de Introducción de Etanol Anhidro. SENER (Secretaria de Energía).
- UNICEF (United Nations Childrens Fund) Handobook of Water Quality, New York 2008
- Water Quality for Ecosystem and Human Health 2nd Edition, Prepared and published by the United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring Sistem (GEMS) 2008
- Clearing the Waters: A focus on water quality solutions. Meena Palaniappan, Peter H. Gleick, Lucy Allen, Michael J. Cohen, Juliet Christian-Smith Courtney Smith Editor: Nancy Ross 2010
- Sick Water: The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development. Corcoran, E., C. Nellemann, E. Baker, R. Bos, D. Osborn, H. Savelli (eds). 2010.
- Calidad del Agua. Guia de Lectura. Oficina de Naciones de apoyo al decenio internacional para la accion "Agua Fuente de Vida" 2005-2015. ONU
- Water Quality. UNEP - GEMS Water Programme. National Water Research Institute Ontario Canada 2009
- Review on Bioremediation of Polluted Environment: A Management Tool. Kumar.A1, Bisht.B.S1, Joshi.V.D2, Dhewa.T3. Department of Zoology/Entomology, HNBGU (A Central University), Campus Badshahithaul Tehri-249199 (UK) INDIA. Department of Zoology, Government PG College, Kotdwara Garhwal-246149 (UK) 3- Department of Microbiology, Dolphin Institute of Biomedical and Natural Sciences Dehradun-248007 (UK) INDIA. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES 2010

