



Seminario Nacional sobre la Aplicación Biológica y Ecológica para la Protección de los Ríos de Malasia

Lugar: Penang, Malasia

Estudio Técnico por Magna Vapro (M) Sdn Bhd en colaboración con Oakwell Engineering Limited.

BIORREMEDIACIÓN DE RÍOS, LAGUNAS Y LAGOS CONTAMINADOS – AL ESTILO MICROBE-LIFT®

¿Qué es la biorremediación?

El tratamiento biológico y la dependencia en bacterias no es nada nuevos ni novedosos. Estos han jugado un papel central en el tratamiento convencional de residuos a lo largo de la historia de la humanidad. Sin embargo, lo nuevo es nuestra creciente comprensión sobre los procesos naturales y cómo podemos utilizar las bacterias para aplicaciones industriales, agrícolas y residenciales en la descomposición de desechos orgánicos, por consiguiente, potenciando el proceso de biodegradación fundamental para el reciclaje y saneamiento natural.

La biorremediación consiste principalmente en bioestimulación, donde se agregan nutrientes u oxígeno al suelo o agua para estimular las bacterias nativas. La bioaumentación es cuando microorganismos selectos, ya sea cepas de origen natural o modificadas, son introducidos para potenciar el proceso de degradación.

El uso primordial de agentes biológicos ha sido para potenciar la remediación natural y el tratamiento de aguas residuales en sistemas de saneamiento para residenciales, municipalidades, lagos, ríos y estanques y lagunas de sistemas activados de aguas residuales industriales y agrícolas. Por lo general, la biorremediación puede realizarse in situ, sin la necesidad de modificar el sistema existente y ahorrando así costos de inversión en equipo de tratamiento de aguas residuales. La bioaumentación, es decir la inoculación deliberada con microorganismos externos a un sistema biológico para desarrollar una población suficiente de tipos de bacterias idóneas, mejora dramáticamente los resultados, en comparación con la bioestimulación que por sí sola ha demostrado ser inadecuada o inefectiva. Para entender el creciente uso y evolución de la biorremediación es necesario comprender en términos simples la función biológica de las bacterias (procariotas) y considerar el papel que juegan en el equilibrio ecológico de la naturaleza.

"Si hay alimento, algunos organismos se lo comerán. Si hay un lugar para vivir, algunos organismos lo habitarán. Toda especie tiene una gran capacidad para reproducirse y su población se propagará hasta que se agote el alimento o tiene que competir por alimento o debido a sus propios desechos u otros factores. Cambios en el clima o la introducción de especies nuevas de otros lados puede afectar profundamente el equilibrio ecológico existente".

Esta declaración sencilla resume las interacciones de todo ser vivo sobre la Tierra. Las bacterias son organismos unicelulares y la mayoría de ellas deben buscar alimento, tal como azúcares, proteínas y nutrientes vitamínicos para sobrevivir. Las diversas capacidades metabólicas de las bacterias son características claves que empleamos para agruparlas y clasificarlas según género o subespecie.

El ecosistema, terrestre como acuático, depende fuertemente de la actividad bacteriana. El trabajo incesante de las bacterias complementa el ciclo de nutrientes, tales como carbono, nitrógeno y azufre. El carbono orgánico, en forma de organismos muertos o en descomposición, agotaría con rapidez el dióxido de carbono en la atmósfera, si no fuera por la actividad de los organismos descomponedores.

Esto quizás no suene tan terrible para uno, pero hay que notar que, sin el dióxido de carbono, las plantas no harían fotosíntesis y por lo tanto no habría alimento. Cuando muere un organismo, el carbono contenido en sus tejidos no se encuentra disponible para la mayoría de los organismos vivos. La descomposición es la degradación de organismos muertos, liberando los nutrientes de regreso al ambiente y esta es una de las funciones más importantes de las bacterias.

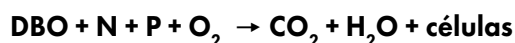
El ciclaje de nitrógeno es otra actividad importante de las bacterias. Las plantas dependen del nitrógeno del suelo para su salud y crecimiento y no pueden adquirirlo del nitrógeno gaseoso en la atmósfera. La principal forma de donde obtienen el nitrógeno es mediante bacterias fijadoras de nitrógeno. Estas bacterias convierten el nitrógeno gaseoso en nitratos o nitritos, como parte de su metabolismo, y los productos resultantes los liberan al ambiente. Algunas plantas, tales como las hepaticofitas, cicadofitas y legumbres han aprovechado este proceso especial al modificar sus estructuras para albergar estas bacterias en sus propios tejidos. Otras bacterias desnitrificantes metabolizan en dirección opuesta, convirtiendo los nitratos en gas nitrógeno u óxido nitroso. Cuando colonias de estas últimas bacterias existen en tierras de cultivo, estas pueden agotar los nutrientes del suelo dificultando el crecimiento de los cultivos.

Las bacterias también se utilizan en instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Después de separar la materia sólida de los residuos líquidos mediante filtros o trituradoras, a la materia sólida resultante se le agrega a un grupo de procariotas anaerobias. Estas bacterias descomponen el material y lo convierten en materia que puede utilizarse como relleno o fertilizante en tierra de cultivos.

También se utilizan las bacterias para solucionar problemas ambientales debido a su capacidad selectiva de consumir y degradar casi cualquier compuesto. Por ejemplo, ciertas bacterias cultivadas se están rociando sobre derrames de petróleo y lagunas en perforaciones petroleras, donde ellas se multiplican con rapidez y descomponen las moléculas del petróleo en compuestos menos tóxicos. De forma similar, las bacterias también pueden limpiar minas antiguas. El agua de minas antiguas está llena de metales pesados altamente ácidos que son sumamente tóxicos y es muy costo limpiarla. Sin embargo, se están utilizando cada vez más bacterias, en especial el género *Thiobacillus* que florecen en agua ácida como en este caso. Estas bacterias pueden extraer cobre del agua y otros metales valiosos, oxidando el azufre para acumular y extraer los metales. Estos solo son algunos ejemplos de las formas en que las bacterias pueden utilizarse de manera práctica para solucionar problemas ambientales, y con el tiempo se irán desarrollando muchas más aplicaciones mediante la crianza selectiva y producción mixta de varios cultivos de bacterias.

Los procesos básicos del tratamiento biológico están basados en las siguientes reacciones químicas:

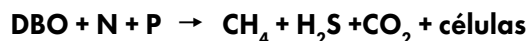
Aeróbico



Facultativo



Anaeróbico



Ciclos de Vida

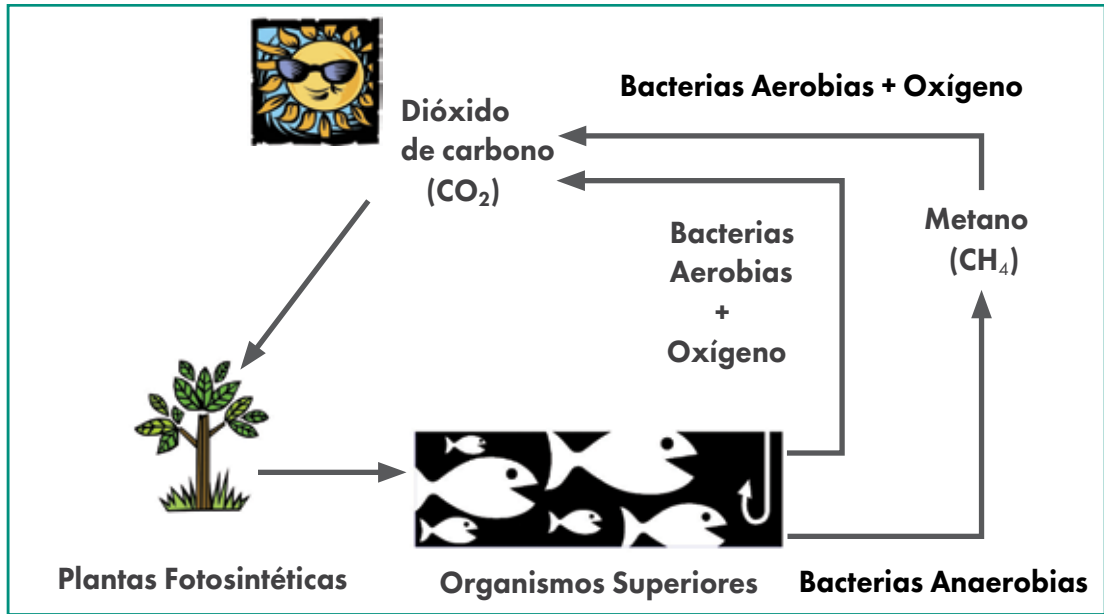


Figura 1: El Ciclo de Vida del Carbono.

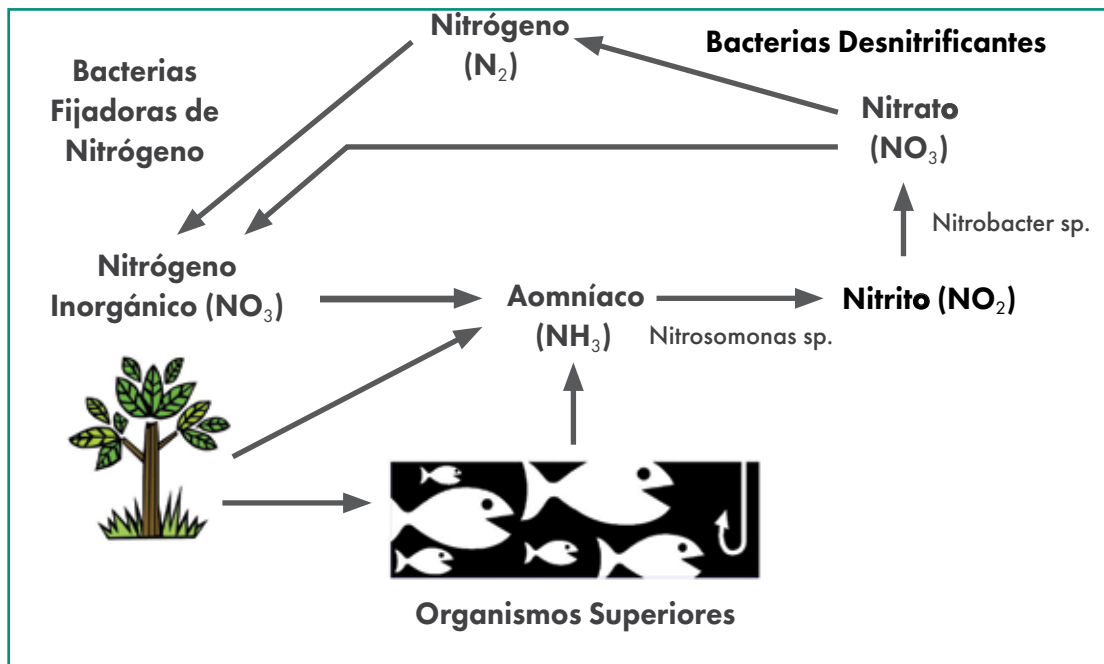


Figura 2: El Ciclo de Vida del Nitrógeno

Bioremediation Operates on the Simplified Kinetic Model Below:

$$S_e = \frac{S_i}{1 + X_c K_s \Psi h}$$

Where	S_e	-	concentraciones de substratos del efluente
	S_i	-	concentraciones de substrato del afluente
	X_c	-	masa celular en gm/L
	K_s	-	coeficiente específico, gms/L*
	día Ψh	-	tiempo de residencia hidráulica, días

Figura 3: Modelo Cinético Simplificado

Por consiguiente, una biorremediación exitosa requiere de una concentración adecuada y equilibrada de microorganismos en el agua residual con pH y temperatura apropiados para ser trata durante un período de tiempo suficiente para que las bacterias puedan multiplicarse.

Química de Aumentación versus Química Estoiquimétrica

Muchos ingenieros y operadores están acostumbrados a tener información precisa sobre aplicaciones cuando utilizan productos químicos en sistemas de procesos químicos. Por lo general, este no es el caso con los sistemas biológicos y productos biológicos utilizados en un proceso de biorremediación.

La razón tras esto es muy simple. Los químicos son objetos inanimados y actúan en relaciones estequiométricas predecibles en base a interacciones de molécula por molécula. Un buen ejemplo es el pH, el cual es la medida de iones $[H^+]$ o radicales $[OH^-]$ en una solución. Para neutralizar una solución, ya sea muy ácida o muy alcalina, requiere que se agreguen los iones o radicales recíprocos que se combinan en una relación directa uno a uno para formar agua. Por ejemplo, si se añade una solución de ácido clorhídrico, HCl, a una solución alcalina de hidróxido de sodio, NaOH, los iones $[H^+]$ y radicales $[OH^-]$ reaccionarán para formar agua y con los iones residuales para formar sal (NaCl) en una reacción predecible y cuantificable.

En sistemas biológicos, las dinámicas son bioquímicas en lugar de químicas, y los agentes activos son organismos vivos. Donde hay que incrementar la cantidad de químico de forma proporcional para tratar con una carga alta de reactivo. En un sistema biológico, el aditivo biológico puede crecer para ayudar a compensar cargas incrementadas. Una carga incrementada puede requerir pequeños incrementos en la dosis y no requiere de incrementos proporcionales. Los organismos crecen como respuesta a cargas altas, por tanto, el beneficio se multiplica haciendo de los aditivos biológicos mucho más rentables que los aditivos químicos. Esto también da la impresión que los programas de dosificación no compensan correctamente los cambios en cargas, sin embargo, las bacterias poseen una capacidad inherente para ajustarse a los cambios en las cargas.

Los programas de dosis de bioaumentación, por lo general, siguen un programa de aplicación decreciente para acomodar el hecho multiplicador del aditivo biológico. En general, estos programas involucran una dosis de "purga" o "inoculación" para establecer con rapidez la población bacteriana requerida.

La "purga" o "inoculación" está seguida por una dosis intermedia de mantenimiento para apoyar el desarrollo de la población requerida. Finalmente, se utiliza una dosis regular de mantenimiento para mantener la población necesaria y mantener así las mejoras bioquímicas que resultaron de las dosis de "inoculación" y "intermedia de mantenimiento".

En ocasiones, donde el sistema biológico experimenta cargas de choque, ya sea hidráulicas u orgánicas, puede ser necesario regresar a la dosis "intermedia de mantenimiento" durante una o dos semanas para fortificar y estabilizar la población bacteriana.

Técnica **MICROBE-LIFT®** de Remedación

La tecnología **MICROBE-LIFT®** ha demostrado ser uno de los bioproductos más exitosos para la bioaumentación de una amplia gama de cuerpos de agua contaminados y varios sistemas de tratamiento de residuos. La tecnología **MICROBE-LIFT®** es la combinación de más de 30 especies de bacterias vivas naturales suspendidas en un medio líquido que se utiliza para el tratamiento de aguas residuales industriales, agrícolas y residenciales, cuya contaminación es orgánica. Es un producto con una masa celular y un coeficiente específico altos.

La tecnología **MICROBE-LIFT®** la desarrolló Ecological Laboratories en 1976 en Estados Unidos. Con casi tres décadas de experiencia en selección de cultivos bacterianos y formulaciones de bioproductos, Ecological Laboratories se ha convertido en uno de los proveedores líderes a nivel mundial de formulas con bacterias vivas para el manejo de aguas residuales. A lo largo de los años, su intervención directa en el desarrollo y planificación de tratamientos bacterianos ha llevado al desarrollo de exitosos programas de aplicación para una amplia gama de problemas con aguas residuales industriales, municipales y residenciales.

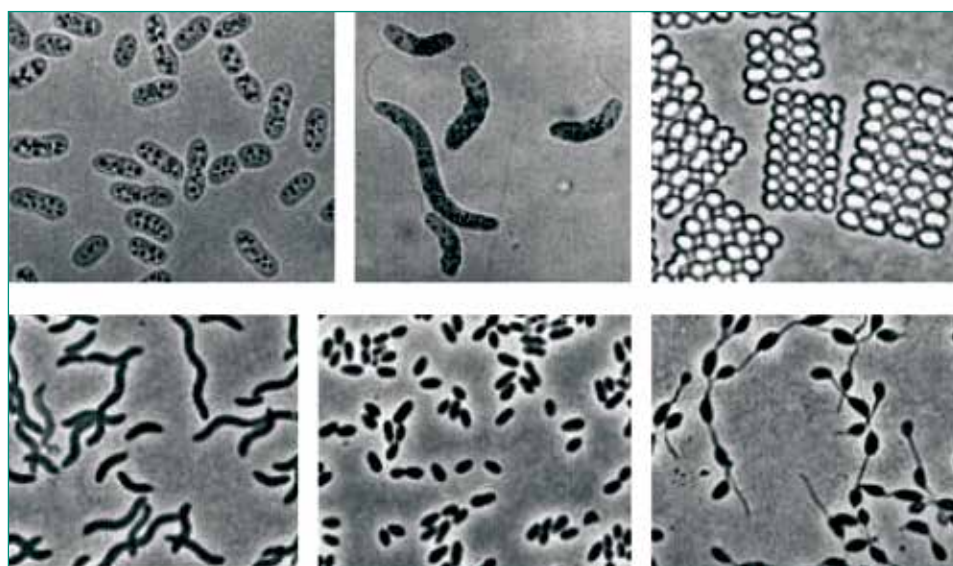


Figura 3: Tipos de bacterias de la tecnología **MICROBE-LIFT®**

Los cultivos bacterianos **MICROBE-LIFT®** contienen especies aerobias y anaerobias, así como también cepas quimio y fotosintéticas. Los microorganismos en la tecnología **MICROBE-LIFT®** ocurren de forma natural, no son tóxicos ni son patógenos. Son bacterias vivas en un estado de animación suspendida en un medio líquido. Las fórmulas de los productos no son dañinas para humanos, animales, plantas ni cualquier tipo de acuicultura. Cuando se agrega **MICROBE-LIFT®** a un área contaminada, las bacterias reviven de inmediato y comienzan a alimentarse, reproducirse y atacar los desechos orgánicos

Áreas de aplicación

A continuación, aparecen imágenes del "antes" y "después" de los programas de tratamiento con **MICROBE-LIFT®** alrededor del mundo. Con solo verlas, surge el deseo saber más sobre cómo el método **MICROBE-LIFT®** puede ayudara individuos como como a sus comunidades.



Laguna residual de una granja porcina antes del tratamiento



La misma laguna después de 5 semanas de tratamiento con la tecnología **MICROBE-LIFT®**



Laguna de aguas residuales domésticas en Uruguay antes del tratamiento



La misma laguna en Uruguay, 72 días después del tratamiento con la tecnología **MICROBE-LIFT®**



La bella laguna ornamental del Sheraton Tower en Singapur tenía agua turbia con olor a pescado.



Al cabo de 6 meses, el agua de la laguna del Hotel Sheraton Tower en Singapur está transparente tras usar la Tecnología **MICROBE-LIFT®**



Laguna de trampa de grasas en Panamá - 2002. Toda la laguna esta cubierta por aceite, grasas y sólidos.



Estanque de trampa de grasas en Panamá - 72 días después del tratamiento con **MICROBE-LIFT®**

La Tecnología MICROBE-LIFT® ha demostrado ser excelente en una amplia gama de aplicaciones, utilizando bioaumentación y remediación:

1. Ha logrado el equilibrio ecológico de cuerpos de agua naturales, tales como lagos y lagunas contaminadas, a la vez de reducir la población de insectos.
2. Un tratamiento económico para aguas residuales agrícolas, utilizando lagunas de oxidación simple para granjas porcinas, avícolas y lecheras. Se ha comprobado que el efluente tratado mejora el valor del fertilizante como beneficio adicional.
3. Ha mejorado la efectividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales; aumentando la eficiencia y capacidad de la operación al reducir DQO, DBO, TSS, lodo residual y malos olores. La recompensa económica: reduce costos de mantenimiento, menos gasto de capital y multas.
4. Ha mejorado la calidad del agua en estanques camaroneros y de cultivo piscícola comerciales, reduciendo la tasa de mortalidad y aumentando el rendimiento y la calidad.
5. Tratamiento a trampas de grasas comerciales de restaurantes y hoteles, reduciendo drásticamente los costos de limpieza de grasas y eliminación de los malos olores.
6. Rehabilitación de campos de drenajes y tanques sépticos deteriorados, reduciendo la necesidad costosa de quitar y reemplazar los sistemas; a la vez, eliminando malos olores.
7. Mejora de la calidad de agua de estanques ornamentales y reducción significativa de la necesidad de limpiar y mantener los filtros.
8. Descomposición rápida de la contaminación por hidrocarburos en derrames de petróleo y lagunas de producción, así como la limpieza del sulfuro de hidrógeno, ayudando así a prevenir la corrosión de tanques.

Enfoque Sistémico del Programa

Nosotros ofrecemos soluciones totales y apoyo técnico para solucionar problemas de aguas contaminadas y tratamiento de aguas residuales mediante el desarrollo de:

Planes Innovadores de Tratamiento

Identificación de problemas, determinación de objetivos y definición de criterios para alcanzar el éxito: nosotros trabajamos junto con el cliente para analizar sus necesidades mediante un proceso sistemático.

Solución Natural Sostenible

Brindamos soluciones ecológicas de tratamiento para alcanzar un sistema ecológico equilibrado, mediante tecnología de remediación y bioaumentación bacteriana natural. Mantenemos el apoyo técnico cercano para analizar resultados y realizar ajustes para continuar con el rendimiento sostenible a largo plazo.

Rentable y Eficaz

Soluciones naturales que en la mayoría de los casos son mucho más efectivas y eficaces que cualquier método químico y mecánico, por lo general, reduciendo la necesidad de la inversión de capital en equipo.

Seguro para el Medio Ambiente

La tecnología MICROBE-LIFT® solo utiliza bacterias que ocurren de forma natural, no tóxicas ni patogénicas en productos que son seguros para humanos, animales y vida acuática. Nuestros productos están formulados y producidos en nuestro laboratorio de última generación bajo controles de calidad estrictos en un ambiente libre de contaminación.

Casos de Estudio de aplicaciones típicas incluyen:

1) Río Xiba, Proyecto de la Prueba Experimental de Kunming

El proyecto del Río Xiba fue un estudio de remediación muy interesante en un curso de agua. Tradicionalmente, este tipo de problema ha sido extremadamente difícil de tratar con efectividad y muchos esfuerzos han fracasado. Esta prueba experimental requirió que desarrolláramos un sistema de aplicación novedoso y único, siempre utilizando los principios básicos de biorremediación y al final pudimos brindar una solución muy rentable.

El Río Xiba es un río extremadamente contaminado que cursa por 4 km a lo largo de Kunming, China. El caudal promedio del río es de 26,000 m³ por día. El agua está gravemente contaminada por residuos industriales, comerciales y domésticos. Su color es grisáceo, con turbidez alta, mal olor y el efecto tóxico había prácticamente eliminado toda señal de vida acuática.

El Estudio Piloto utilizando la tecnología **MICROBE-LIFT®** se realizó en los últimos 1.5 kilómetros del río, tratando esta sección del río como un reactor de flujo de pistón. La prueba se llevó a cabo de noviembre del 2004 a marzo del 2005, en colaboración con la Universidad Técnica de Kunming. El Proyecto demostró con éxito la eficacia de la bioaumentación con **MICROBE-LIFT®** en un río activo.

Con las diferentes mediciones de los parámetros de la calidad del agua a lo largo del cauce del río antes y después del tratamiento, los estudiantes de posgrado en estudios ambientales monitorearon los efectos de la tecnología **MICROBE-LIFT®** durante la prueba experimental. El Proyecto demostró conclusivamente la capacidad de la tecnología **MICROBE-LIFT®** para restaurar el río contaminado a una ecología equilibrada. La vida acuática regresó al río, lo cual también demostró que la tecnología **MICROBE-LIFT®** no es tóxica para la vida acuática; eliminó el malo olor; mejoró la claridad del agua; y restauró la salud general del curso de agua. La tecnología **MICROBE-LIFT®** demostró ser un método de rehabilitación rentable, ecológico y natural.

Los diferentes parámetros que se midieron (tales como DQO, DBO, TSS, Nitrógeno Total y Fosfato Total) fueron reducidos en un 50% en la estación de monitoreo ubicada a 1.4 km río abajo del punto de inoculación. El tiempo promedio de remediación (retención efectiva) para una longitud de 1.4 km fue de 7 horas. La Universidad Técnica de Kunming quedó convencida que es posible alcanzar una tasa de degradación mucho más alta a partir del tratamiento del río completo, dado que incrementaría significativamente el tiempo de retención para el tratamiento de **MICROBE-LIFT®**. El Modelo Cinético básico para la biorremediación depende de la tasa efectiva de bacterias selectas para degradar contaminantes específicos, el número de bacterias disponibles y el tiempo permitido para que las bacterias actúen sobre los contaminantes. Aunque el pH, temperatura, luz solar y otros factores limitantes pueden afectar los resultados, el Modelo Cinético básico es el enfoque principal para el tratamiento.

El Río Xiba supuso un conjunto de problemas muy desafiantes para solucionar, siendo el tiempo de retención el más difícil. No obstante, al desarrollar un medio biológico de cultivo novedoso y económico, fue posible incrementar el área superficial y proporcionar el tratamiento deseado.

2) Estudio piloto en el tratamiento de residuos porcinos en la granja porcina Poh Huat, Sarawak, Malasia.

Debido a la búsqueda de un método efectivo y ecológico para el tratamiento de las aguas residual agropecuarias, surgió un proyecto piloto comisionado en colaboración con la Junta Nacional de Recursos y Medio Ambiente (NREB) de Sarawak en marzo del 2004 en la granja porcina Poh Huat. El objetivo del proyecto fue evaluar y confirmar los resultados del tratamiento **MICROBE-LIFT®** en reducir los niveles de DBO y DQO en residuos porcinos. Esta es un área donde la tecnología **MICROBE-LIFT®** ha demostrado ser muy exitosa según estudios similares en los EE.UU., Corea y el norte de Europa.

Los resultados de este proyecto piloto confirmaron que la tecnología **MICROBE-LIFT®** produciría los mismos resultados exitosos en Malasia. En términos específicos, la biorremediación **MICROBE-LIFT®** eliminó los malos olores al cabo de una semana de tratamiento, con una reducción significativa de los niveles de DQO y DBO. En las siguientes tres semanas, cuando las bacterias comenzaron a descomponer el lodo residual al fondo de la laguna, una vez más, la tecnología **MICROBE-LIFT®** demostró su efectividad en degradar la acumulación de lodo orgánico solidificado con los años en una laguna residual abierta. Una vez degradado el lodo orgánico, la laguna alcanzará su equilibrio ecológico y ayudará a mantener un ambiente limpio.



Figura 5: La condición de la laguna antes y después del tratamiento en el proyecto piloto de tratamiento de residuos de la granja porcina Poh Huat.

3) Tratamiento **MICROBE-LIFT®** de la laguna ornamental del Sheraton Tower, en Singapur.

El Sheraton Tower Hotel en Singapur tiene una bella laguna ornamental de 100 m³ para exhibir capas koi. La laguna tenía dos pequeños filtros de arena y ningún filtro biológico. El agua era turbia y con altos niveles de DQO y DBO, así como un mal olor a pescado. Se introdujo el método de remediación **MICROBE-LIFT®** para obtener y mantener el equilibrio ecológico y la limpieza de la laguna sin la necesidad de un filtro biológico elaborado y costoso..



4) Evaluación del larvicida de mosquitos por Insect Control & Research Inc., Baltimore, EE.UU.

Se evaluó la tecnología **MICROBE-LIFT®** por su potencial como agente exterminador en varios estadios acuáticos de *Aedes aegypti* criados en laboratorio. Se evaluó la eficacia del producto bacteriano sobre los estadios de huevo, larva, pupa y aparición de los adultos.

La tecnología **MICROBE-LIFT®** fue efectiva en el estadio de huevo, aumentando la mortalidad de 36.9% (testigo sin tratamiento) a 87.9% (tratamiento).

5) Uso de la tecnología **MICROBE-LIFT®** en camaronera de agua dulce, Mississippi

La Universidad Comunitaria de la Costa del Golfo de Mississippi en el sudeste de Estados Unidos evaluó el efecto de **MICROBE-LIFT®** en la producción de *Macrobrachium rosenbergii* (camarón de agua dulce) en el 2001.

El estudio señala que la tecnología **MICROBE-LIFT®** aumenta el total de producción y el tamaño promedio del camarón, a la vez de mejorar la conversión alimenticia y reducir el costo de producción.

Beneficios de **MICROBE-LIFT®**

- Producción Total de Camarón: +17.4%
- Consumo de Alimento Total: -14.4%
- Peso Total por Camarón: +22.4%

[Para mayor información, referirse al informe completo en el Caso de Estudio 12104]

Más detalles sobre biorremediación y tecnología **MICROBE-LIFT®** en el sitio Web www.EcologicalLabs.com.

Preparado por
Goh Kwang Beng
29 de octubre del 2005

Para mayor información sobre la Tecnología **MICROBE-LIFT®**
contactar **Ecological Laboratories, Inc.**
www.EcologicalLabs.com

CS17204