

# Empleo de microorganismos eficientes como alternativa para el tratamiento de residuales.

## Revisión bibliográfica

Evelyn Faife-Pérez, Dianelis Roget-Guevara, Claudia A. Fandiño-Rodríguez, Indira Pérez-Bermúdez, Yohana de la Hoz-Izquierdo, Keyla Tortoló-Cabañas, Georgina Michelena-Álvarez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).

Via Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

\*evelyn.faife@icidca.azcuba.cu

---

### RESUMEN

El presente trabajo es resultado de la revisión bibliográfica realizada sobre el empleo de la tecnología de microorganismos eficientes (EM) como alternativa para el tratamiento de aguas domésticas e industriales así como de residuos sólidos generados en los procesos industriales, en las producciones agrícolas y en la basura. Como resultado de este estudio se concluye que los EM son bien aceptados en toda clase de unidades productivas, ya sean agrícolas, pecuarias o medioambientales. Su aplicación hace posible la transformación de los residuos orgánicos en abonos de excelente calidad utilizados en programas de producción limpia, reducen drásticamente los gases emitidos producto de los malos olores y la presencia de vectores, permite recuperar aguas residuales disminuyendo la producción de lodos, mejorando la calidad de la misma y minimizando diferentes impactos generados al medio ambiente, mejoran la biota y las propiedades del suelo disminuyendo los costos de la producción agrícola, aumentado la cantidad de cosechas y por lo tanto aumentado los ingresos del agricultor. Su empleo directo en los biodigestores o en una etapa previa de pretratamiento a la materia orgánica empleada, incrementa los niveles de producción de biogas.

**Palabras clave:** microorganismos eficientes, tratamiento, aguas residuales, biogas.

### ABSTRACT

This work is review carried out about the use of efficient microorganism (EM) technology as an alternative for the treatment of domestic and industrial waters as well as solid waste generated in industrial processes, agricultural production and waste. . As a result of this study it is concluded that MEs are well accepted in all kinds of productive units, whether agricultural, livestock or environmental, their application makes possible the transformation of organic waste into high quality fertilizers used in clean production programs, drastically reduce the gases emitted as a result of bad odors and the presence of vectors, allows wastewater to be recovered, decreasing sludge production, improving the quality thereof and minimizing different impacts generated to the environment, improving biota and reducing soil properties the costs of agricultural production, increased the quantity of crops and therefore increased the income of the farmer. Its direct use in biodigesters or in a previous stage of pretreatment to the organic matter used, increases the levels of biogas production.

**Key words:** efficient microorganisms, treatment, wastewaters, biogas.

---

### INTRODUCCIÓN

Durante siglos, uno de los problemas más constantes que el ser humano ha enfrentado es el dilema de cómo disponer de la basura que genera. Para el próximo siglo se espera el incremento de la población mundial en unos diez billones, por lo que nunca

antes en la historia el tema del depósito de la basura ha ejercido tanta presión.

La basura orgánica generada por la producción animal, agrícola, marina, industrial, así como la basura municipal, se ha convertido en la principal fuente de contaminación tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo (1). La contaminación de

las aguas es uno de los factores más importantes que rompen la armonía entre el hombre y su medio, no solo de forma inmediata sino también a mediano y largo plazo; por tanto, la prevención y lucha contra dicha contaminación constituye una necesidad de importancia prioritaria (2).

En la actualidad, las ciudades vierten aguas residuales parcialmente tratadas y no tratadas en las aguas superficiales y subterráneas de las inmediaciones. La carga contaminante aumenta con los vertimientos de procesos industriales, la infiltración de los residuos de fertilizantes y plaguicidas utilizados en la agricultura, los desechos domésticos, entre otros. Como resultado de estas actividades resulta que sólo alrededor de un tercio del recurso potencial, se puede aprovechar para las necesidades de las personas, proporción que va disminuyendo a medida que aumenta la contaminación (3). Por esto es necesario hacer una división de los procesos de limpieza, simplificándolos y estableciendo los objetivos que se persiguen con cada sistema utilizado, para poder medir su eficacia.

Esta versatilidad de desechos que se produce ha obligado a los ingenieros a buscar, encontrar y aplicar alternativas de tratamientos de depuraciones eficientes, autónomas y económicamente viables, desarrollándose así diversos sistemas de tratamiento para los desechos líquidos.

El tratamiento de las aguas residuales industriales ha tomado fuerza durante los últimos años, con el objetivo de que este recurso no renovable pueda ser aprovechado y a su vez cumpla con los requerimientos exigidos por la normatividad ambiental existente (4).

Los sistemas de tratamiento pueden reconocerse en base a su ubicación en el proceso de limpieza como: primarios, secundarios y avanzados y los procesos utilizados principalmente son físicos, químicos y biológicos. Hay una gran variedad de métodos para la descontaminación de aguas y aguas residuales (AR). Entre ellos se encuentran la utilización de microorganismos, denominados eficientes (EM) y su importancia resulta en que enriquecen la microflora balanceando los ecosistemas microbiales y suprimiendo microorganismos patógenos sin generar subproductos contaminantes (5).

Teniendo en cuenta estos elementos, el propósito de este trabajo es abordar aspectos importantes acerca del uso de microorganismos eficientes como una alternativa de tratamiento de materiales y corrientes de desecho o residuales.

## DESARROLLO

### Microorganismos eficientes (EM)

El término "microorganismos eficientes" (EM) o en inglés efficient microorganisms (EM) se emplea

para denotar cultivos mixtos específicos de microorganismos benéficos conocidos que son empleados efectivamente como inoculantes microbianos (6). La tecnología de los microorganismos eficientes fue desarrollada por Teruo Higa, profesor de horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón. A comienzos de los años sesenta, el profesor Higa comenzó la búsqueda de una alternativa que reemplazara los fertilizantes y plaguicidas sintéticos y en los últimos años ha incursionado en su uso en procesos de compostaje, tratamiento de aguas residuales, ganadería y para el uso en la limpieza del hogar. Estudiando las funciones individuales de diferentes microorganismos, Higa encontró que el éxito de su efecto potenciador estaba en su mezcla; por esto se ha planteado que los microorganismos eficientes (EM) trabajan en sinergia, ya que la suma de los tres tiene mayor efecto que cada uno por separado (7).

Los EM proceden de cinco especies diferentes: bacterias fototróficas o fotosintéticas, bacterias ácido lácticas, levaduras, actinomicetos y hongos de fermentación. Estos microorganismos son muy conocidos, puesto que se llevan utilizando en medicina y en la producción de alimentos desde la antigüedad, siendo muy beneficiosos para los suelos, agua, plantas, animales y, por supuesto, para el ser humano. Los microorganismos que constituyen la fórmula de esta tecnología no han sido químicamente sintetizados ni alterados con ingeniería genética, no son nocivos, ni tóxicos, ni genéticamente modificados por el hombre; por el contrario son naturales, benéficos y altamente eficientes, simplemente han sido seleccionados de la misma naturaleza por sus cualidades beneficiosas y se han puesto a actuar juntos (8, 9).

### Composición de los microorganismos eficientes

Los microorganismos eficientes o EM, son un cultivo mixto de microorganismos benéficos (fundamentalmente bacterias fotosintéticas productoras de ácido láctico, levaduras, actinomicetos y hongos fermentadores) que pueden aplicarse como inoculante. Los diferentes tipos de microorganismos en el EM, toman sustancias generadas por otros organismos basando en ello su funcionamiento y desarrollo (10).

La base de la tecnología de EM es la mezcla de diferentes tipos de microorganismos, todos ellos benéficos, que poseen propiedades de fermentación, producción de sustancias bioactivas, competencia y antagonismo con patógenos, todo lo cual ayuda a mantener un equilibrio natural entre los microorganismos que conviven en el entorno, trayendo efectos positivos sobre la salud y bienestar del ecosistema (3). El descubrimiento del Dr. Higa consistió en hallar la forma de que estos grupos de microorganismos pudieran coexistir, realizando una combinación con efecto sinérgico, es decir que la tarea en equipo es superior a la suma de sus miembros individuales. *Bacterias fototróficas (Rhodospseudomonas sp.)*

Las bacterias fototrópicas son un grupo de microorganismos independientes y autosuficientes. Estas bacterias sintetizan sustancias útiles de secreciones de raíces, materia orgánica y/o gases dañinos como el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) con el uso de luz solar y calor del suelo como fuentes de energía. Estas sustancias útiles son aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, los cuales promueven el crecimiento y desarrollo de la planta.

Los metabolitos de estos microorganismos son absorbidos directamente por las plantas y actúan como sustratos para el incremento poblacional de microorganismos benéficos. Por ejemplo, en la rizósfera se incrementan las micorrizas vesicular arbuscular (VA) gracias a la disponibilidad de compuestos nitrogenados (aminoácidos) que son secretados por las bacterias fototrópicas. Las micorrizas VA en respuesta incrementan la solubilidad de fosfatos en el suelo y, por ello, otorgan fósforo que no estaba disponible a las plantas. Las micorrizas VA también pueden coexistir con *Azobacter* y *Rhizobium*, incrementando la capacidad de las plantas para fijar nitrógeno de la atmósfera (11).

Dentro del gremio de organismos fotosintéticos que forman parte del EM se encuentra *Rhodospseudomonas palustris*. Estas son bacterias fototróficas facultativas clasificadas dentro de las bacterias púrpura no del azufre, comprendiendo un grupo variado, tanto en morfología, filogenia y su tolerancia a diferentes concentraciones de azufre. Son microorganismos capaces de producir aminoácidos, ácidos orgánicos y sustancias bioactivas como hormonas, vitaminas y azúcares empleados por otros microorganismos, heterótrofos en general, como sustratos para incrementar sus poblaciones. La *Rhodospseudomonas palustris* es encontrada comúnmente en suelo y aguas y posee un metabolismo muy versátil al degradar y reciclar gran variedad de compuestos aromáticos, como bencénicos de varios tipos encontrados en el petróleo, lignina y sus compuestos constituyentes y por lo tanto está implicado en el manejo y reciclaje de compuestos carbonados. No sólo puede convertir dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en material celular, sino también nitrógeno ( $N_2$ ) en amonio y producir hidrógeno ( $H_2$ ) gaseoso.

Este microorganismo crece tanto en ausencia como en presencia de oxígeno. En ausencia de oxígeno, obtiene toda su energía de la luz por medio de la fotosíntesis, crece y aumenta su biomasa absorbiendo  $CO_2$ , pero también puede crecer degradando compuestos carbonados tóxicos y no tóxicos donde el oxígeno esté presente llevando a cabo la respiración (6).

Su crecimiento óptimo ocurre a una temperatura de 30-37 °C y pH 6.9 (rango 5.5-8.5). Debido a la gran variedad de rutas metabólicas que puede llegar a tomar este microorganismo según sus necesidades y condiciones ambientales, como parte del

mismo produce una serie de enzimas y coenzimas según sea el caso, dentro de las que se encuentran amilasas, hidrolasas y proteasas, así como ubiquinonas y la coenzima Q10, las cuales participan directamente en los procesos de remoción de sulfuro de hidrógeno, nitratos, sulfatos, sulfitos, hidrocarburos, halógenos y nitratos reduciendo de esta forma la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

Teniendo en cuenta las condiciones de crecimiento de esta bacteria fototrófica así como, los estudios reportados en el Manual de usos de microorganismos eficaces para agua residual (6), donde se optimiza el crecimiento de estos microorganismos bajo condiciones de anaerobiosis para el tratamiento de aguas residuales, se considera que las poblaciones de estos microorganismos pueden llegar a adaptarse de forma exitosa a las condiciones que presentan las aguas residuales domésticas.

#### *Bacterias ácido lácticas (Lactobacillus sp.)*

Dentro de los microorganismos que conforman el consorcio de los EM, los más abundantes son las bacterias ácido lácticas. Estos microorganismos producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos generados por bacterias fotosintéticas y levaduras, como parte de su metabolismo. El ácido láctico es un componente con propiedades bactericidas que puede suprimir a los microorganismos patógenos, mientras ayuda a la descomposición de la materia orgánica, incluso en el caso de compuestos recalcitrantes como la lignina o la celulosa, ayudando a evitar los efectos negativos de la materia orgánica que no puede ser descompuesta (12).

Las bacterias ácido lácticas tienen la habilidad de suprimir enfermedades incluyendo aquellas provocadas por algunos microorganismos como los del género *Fusarium*, que aparecen en programas de cultivos continuos. En circunstancias normales, algunas especies de *Fusarium* debilitan las plantas, exponiéndolos a enfermedades y poblaciones grandes de plagas como los nemátodos. El uso de bacterias ácido lácticas reducen las poblaciones de nemátodos y controla la propagación y dispersión de *Fusarium*, y gracias a ello induce un mejor ambiente para el crecimiento de los cultivos (13).

No existe mucha información precisa acerca de la forma en la cual actúan las bacterias ácido lácticas en el tratamiento de las aguas contaminadas, pero teniendo en cuenta sus características, se plantea que al disminuir el pH se genera una inhibición de patógenos. Sin embargo, no sólo el ácido láctico es responsable de los efectos antimicrobianos generados por los lactobacilos (6).

En lo que se refiere a los requerimientos de crecimiento para el grupo de las bacterias ácido lácticas, se encuentran que generalmente estas son bacterias microaerófilas, razón por la que debe procurarse que la incubación se realice en una atmósfera con 5

% de CO<sub>2</sub>. Por lo general, para su crecimiento se emplea una incubación de 3 días, a 37 °C o hasta 5 días a 30 °C, puesto que son microorganismos de crecimiento relativamente lento y sus rendimientos metabólicos dependen de la temperatura directamente.

#### *Levaduras (Saccharomyces sp.)*

El tercer grupo dentro de los gremios de microorganismos presentes en EM son las levaduras. Todos los miembros de *Saccharomyces* emplean diversas fuentes de carbono y energía. En primer lugar se encuentran la glucosa y la sacarosa, aunque también pueden emplearse fructuosa, galactosa, maltosa y suero hidrolizado, pero no puede asimilar lactosa. También puede utilizarse etanol como fuente de carbono. El nitrógeno asimilable debe administrarse en forma de amoníaco, urea o sales de amonio, aunque también se pueden emplear mezclas de aminoácidos. El nitrato y el nitrito no pueden ser asimilados.

Aparte del carbono y el nitrógeno, los macroelementos indispensables para su desarrollo son el fósforo que se emplea comúnmente en forma de ácido fosfórico y el Mg<sup>2+</sup> como sulfato de magnesio, que también provee azufre. Finalmente también son necesarios el Ca<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> y Zn<sup>2+</sup>, como elementos menores. Un requerimiento esencial está constituido por las vitaminas del grupo B como biotina, ácido pantoténico, inositol, tiamina, piridoxina y niacina. Existen sin embargo, algunas diferencias entre las distintas cepas y casi la totalidad requiere la biotina.

Estos microorganismos sintetizan sustancias antimicrobianas a partir azúcares, y aminoácidos secretados por las bacterias fotosintéticas, también producen sustancias bioactivas como hormonas y enzimas que son sustancias empleadas por las bacterias ácidas presentes en el gremio de EM (10).

Como parte de su metabolismo fermentativo, las levaduras producen etanol en relativamente altas concentraciones, que es también reconocido como sustancia antimicrobiana. Se asume por lo tanto que al degradar los carbohidratos presentes en aguas residuales, se producirá etanol, el cual puede funcionar como sustancia antagónica frente a microorganismos patógenos.

Así mismo, para las poblaciones de levaduras, la temperatura óptima se ha establecido en 28.5 °C, dado que a mayores temperaturas disminuye el rendimiento, probablemente debido al aumento de energía de mantenimiento. El rendimiento celular puede también afectarse por la presencia de inhibidores como dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ácido aconítico y metales pesados o restos de herbicidas o bactericidas que pueden estar presentes en las mieles.

#### **Activación de los EM**

Los EM se encuentran en un estado latente, por lo que al utilizarlos el efecto de estos es un poco lento. Para evitar esto se puede activar el EM y el

subproducto es llamado EMa. El proceso para activar el EM es mezclar el producto con agua de buena calidad y miel de caña de azúcar. Se debe procesar en un recipiente cerrado para ofrecer un ambiente anaeróbico y la solución estará finalizada cuando alcance un pH de 3.5. El EMa nunca debe ser reactivado por dos razones: primero esto puede causar contaminación en la mezcla y segundo el balance microbiano es alterado y la eficacia del EM se pierde. Para activar los EM es necesaria la siguiente dosificación: 3:5 % de EM, 5 % de miel de caña de azúcar diluida en 90-92 % de agua (14).

El proceso de activación de EM sirve para la multiplicación de microorganismos, de esta forma se pueden reducir costos de aplicación, ya que luego de la activación el EMa se debe diluir en agua a diferentes porcentajes según su aplicación (15). Se utiliza miel como fuente de energía para la activación de EM, además también contiene proteínas y minerales útiles para los microorganismos, a diferencia del azúcar refinada que solo contiene sacarosa. La temperatura óptima de activación es entre 25 °C y 37 °C, ya que fuera de estos rangos la velocidad de reproducción de estos microorganismos se reduce considerablemente.

#### **Proceso químico de fermentación de los EM**

En el proceso de fermentación las bacterias ácido lácticas generan ácidos orgánicos como resultado de su metabolismo, utilizando como sustrato los derivados de la materia orgánica producida en la hidrólisis. Luego las bacterias fototrópicas se encargan de producir ácido sulfúrico para ser aprovechadas por las bacterias reductoras de sulfatos produciendo sacáridos. Estos sacáridos vuelven a ser reprocesadas junto con los demás derivados de la materia orgánica para repetir el ciclo.

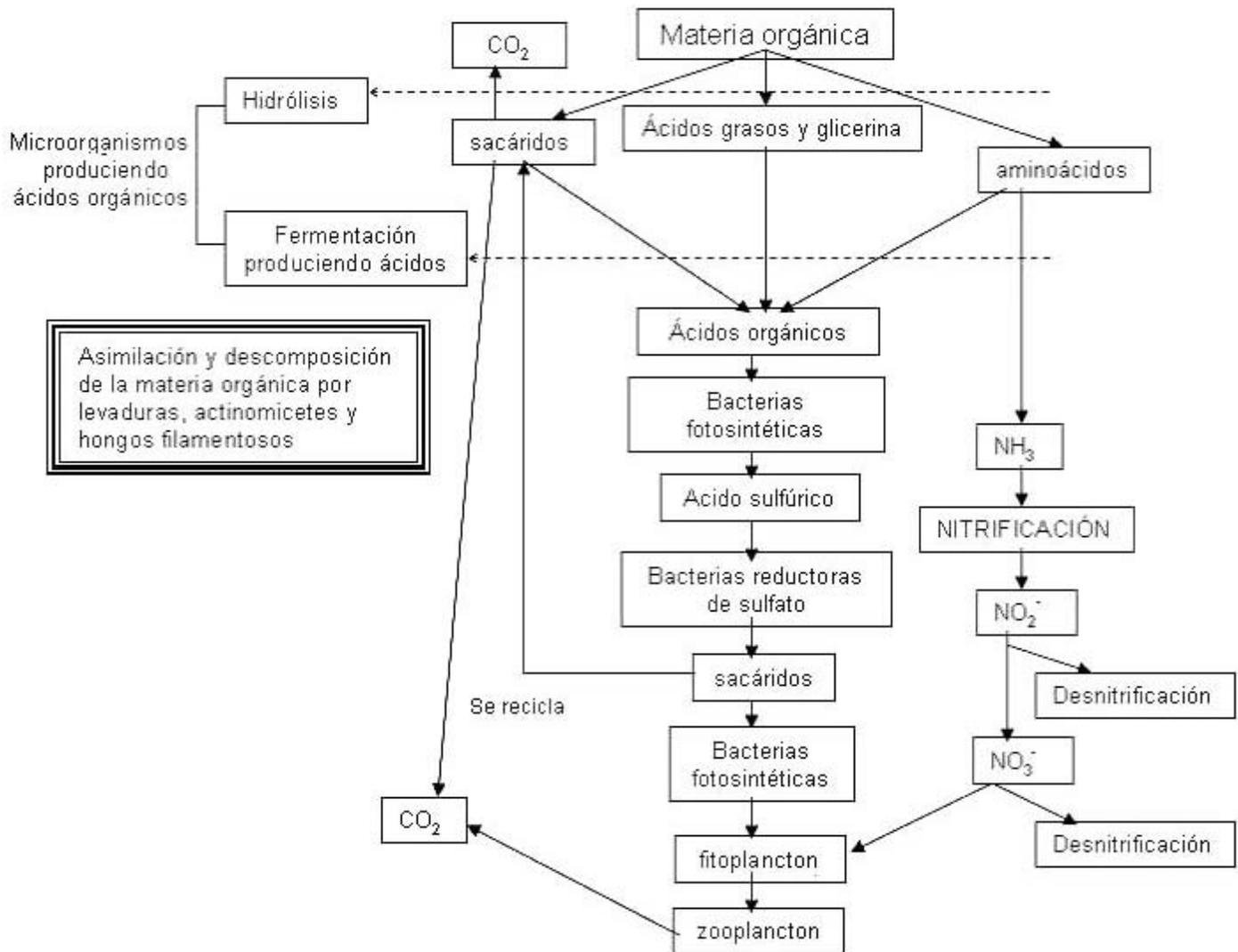
Las bacterias fototrópicas son el pivote central de la efectividad del EM que utilizan la luz solar y ácidos orgánicos para multiplicarse. La relación de cooperación del EM hace que los otros microorganismos provean de ácidos orgánicos a las bacterias fototrópicas, razón por la cual, el EM también funciona en ausencia de luz.

#### **Empleo de microorganismos eficientes en el tratamiento de residuales sólidos**

##### *Tratamiento de residuales domésticos (basura)*

La tecnología de EM es muy útil para el manejo de los rellenos sanitarios o botaderos. Actualmente alrededor del 40-60 % de la basura son compuestos orgánicos y causan la generación de malos olores, moscas, lixiviados y gas metano, etc. Su uso en rellenos sanitarios y botaderos (6) permite:

- Reducir los malos olores y moscas.
- Acelerar la descomposición de materias orgáni-



**Figura 1.** Proceso en el cual se fermenta la materia orgánica con el uso de EM.

cas y eso ayudará renovar la vida útil de relleno sanitario o botaderos.

- Mejorar la calidad de lixiviados.
- Reducción de gases ofensivos, como gas metano.

El producto es aplicado con aspersion a la basura en el momento de ser depositada y las bolsas plásticas deberán ser destruidas por un tractor, esto ayuda a que el EM alcance y contacte, en lo posible con materias orgánicas y luego se inicie la fermentación. También es empleado para lavar los camiones o recolectores de basuras para que no lleve malos olores.

#### Tratamiento de residuos lignocelulósicos

El procesamiento consolidado de biomasa celulósica junto a la utilización combinada de sustratos permite la obtención de un producto final con propiedades adecuadas y se convierte en una alternativa de aprovechamiento con alto potencial (16)

Existen numerosos estudios sobre la degrada-

ción de residuos vegetales mediante metodologías basadas en la aplicación de inóculos microbianos. La degradación de la celulosa puede ser llevada a cabo en sistemas de cultivos mixtos de bacterias celulolíticas, hongos productores de enzimas ligninolíticas e hidrolíticas y levaduras no celulolíticas (como los EM) en los cuales la *S. cerevisiae* utiliza azúcares reducidos derivados de la degradación de la celulosa y los convierte en etanol (17).

El uso de productos comerciales o inoculantes microbianos (EM) para acelerar el proceso de descomposición de residuos orgánicos es una estrategia actual y una de las mejores formas para generar subproductos de mejor calidad, sin embargo los resultados está en dependencia del tipo de residuo tratado (18–20). Los EM son formulaciones de microorganismos cuya ventaja radica en la posibilidad de hacer los procesos más rápidos, emplear poca energía no renovable y ser una metodología limpia o sea, no contamina el medio ambiente (21).

## Tratamiento de aguas

### *Tratamiento de aguas y lodos residuales domésticos*

El agua residual (AR), es aquella que ha sufrido una alteración en sus características físicas, químicas o biológicas por la introducción de contaminantes como residuos sólidos, biológicos, químicos, municipales, industriales, agrícolas etc., afectando así los ecosistemas acuáticos y su entorno.

La misma se divide en residuales de tipo ordinario y de tipo especial. Las de tipo ordinario son aquellas provenientes del uso doméstico (uso de inodoros, duchas, lavaderos, lavado de ropa, fregaderos) y contienen heces, orina, microorganismos y restos de productos de limpieza, mientras que las aguas de tipo especial son las que provienen de otros usos principalmente industriales (22).

La razón por la cual los EM han sido empleados para el tratamiento de aguas residuales es que los microorganismos que contiene secretan ácidos orgánicos, enzimas, antioxidantes y quelantes metálicos creando un ambiente antioxidante que ayuda al proceso de separación sólido/líquido, el cual es el fundamento de la limpieza del agua (6).

Los microorganismos del EM poseen varias características útiles en procesos de biorremediación, entre las cuales se encuentran la fermentación de la materia orgánica sin la liberación de malos olores y su capacidad de convertir los desechos tóxicos ( $H_2S$ ) en sustancias no tóxicas ( $SO_4$ ) (23).

La limpieza y depuración de las aguas residuales, implica operaciones unitarias como son la sedimentación y la filtración, pero los procesos biológicos y/o de lodos activados que se llevan a cabo en el proceso de tratamiento son los de mayor importancia ya que son los microorganismos los que realizan el proceso de depuración. Un aspecto significativo del proceso de tratamiento de aguas mediante lodos activados, es la formación de flóculos biológicos en los mismos, los cuales contienen partículas orgánicas, inorgánicas y bacterias. El tamaño de las partículas varía entre 1  $\mu m$  y 100  $\mu m$  y las células vivas del flóculo representan entre el 5 y el 20 % del total de bacterias (24).

Fioravanti, *et al.* (25) realizaron estudios empleando EM para el tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando un sistema de lodos activados. Los resultados mostraron que el consumo de oxígeno en el sistema de tratamiento y en la estabilización de lodos sépticos disminuyó, al igual que la producción de lodos, la DQO, los malos olores, el pH y los coliformes. De igual forma, evaluaron la efectividad del uso de EM, para reducir olores y disminuir la cantidad de lodos generados en los tratamientos de AR, presentando mejoras significativas en los parámetros: pH, conductividad, sólidos totales (ST), sólidos solubles (SS) y SD, en los mismos.

Crites y Tchobanoglous (26) aplicaron los mi-

croorganismos eficientes (EM) en las aguas residuales de la granja porcina de Zamorano en Honduras y se obtuvo que la adición de los mismos redujo la cantidad de DBO, DQO y sólidos totales (ST) a los 60 días después de su aplicación. En su estudio sugieren evaluar una dosis más alta de EM y adicionarlos a 113 L de aguas residuales de la granja porcina, esperando únicamente un mes de acción de los EM para observar si existe mayor efecto en la reducción de estos parámetros así como, hacer un ensayo en la laguna de oxidación probando los EM, para validar su efecto en la descomposición de la materia orgánica, colocando aireadores en los contenedores para facilitar la producción de oxígeno.

En Costa Rica, Reyes (27) estudió la estabilización de los lodos sépticos que provienen de una comunidad pequeña con EM y los resultados fueron positivos en su uso como estabilizador de biosólidos crudos. Después de 9 días los coliformes totales y fecales habían sido eliminados y hubo una reducción en la turbidez, sólidos totales, DBO, DQO, y en la materia orgánica en los lodos sépticos. No obstante aunque la reducción de sólidos totales y DQO en los tratamientos con EM fue significativa, este descenso no llegó a los límites permisibles de estos parámetros (<1000 mg/L y <2000 mg/L, respectivamente). En base a los resultados, la concentración más baja de EM y el tiempo menor para que ocurra una estabilización efectiva de los lodos sépticos, fueron el tratamiento con 2.5 % de EM activado y un tiempo no mayor que 5 días.

Las aguas procedentes de una vivienda o ciudades y de fábricas de alimentos industriales pueden ser tratadas utilizando EM de una manera que asegure que su retorno al medio ambiente sea seguro y además pueda restaurar el balance ecológico del área. Algunas aguas contienen materiales orgánicos que cuando son utilizadas por microorganismos putrefactivos son contaminantes del medio ambiente con compuestos tóxicos.

Los efectos de la aplicación del EM en el tratamiento de aguas contaminadas en lugares cerrados (lago, laguna, tanques sépticos, etc.) son:

1. Reducir los malos olores como el amoníaco, el sulfuro y el metilmercaptano, entre otros.
2. Reducción de lodos (sedimentos) y microorganismos patógenos como coliformes y bacterias sulfitorreductoras.
3. Mejoramientos de la calidad del agua desde el punto de vista químico, físico y microbiológico, disminuyendo parámetros como DBO, DQO, turbidez, sólidos suspendidos, pH y oxígeno disuelto.
4. Reutilización de agua como riego y sólido como abono con alta calidad.

Estudios realizados por Cardona *et al.* (28), evaluaron el efecto de los EM sobre la calidad de un agua residual doméstica en Bogotá, Colombia y observaron que no hay diferencias significativas en las

concentraciones de ningún parámetro con respecto a los tiempos, entre el control y los tratamientos. Por lo cual se concluyó que no existió un efecto de la profundidad de la aplicación de EM, bajo las condiciones del estudio.

#### *Tratamiento de aguas residuales industriales*

La utilización de los EM puede revertir situaciones donde los efluentes tengan una alta concentración de materia orgánica y coliformes. Los EM mediante un proceso de fermentación aceleran la descomposición natural de los compuestos orgánicos, eliminando los microorganismos patógenos que promueven la putrefacción y la producción de gases nocivos que contaminan el agua y producen malos olores.

Dentro de los efectos de la aplicación de microorganismos eficientes para el tratamiento de aguas residuales están, la reducción de olores ofensivos, el mejoramiento de la capacidad de digestión biológica de los lodos, mejora de la calidad del agua, la reutilización de lodos, entre otros (29).

La aplicación de los microorganismos eficaces, depende de factores ambientales (temperatura, precipitación, humedad relativa y radiación solar) y de la composición de las aguas residuales crudas o afluentes (DBO, DQO, pH). (6). Es por esto que antes de la aplicación de EM-1® en lagunas de oxidación se necesitan los siguientes datos que son requisitos para calcular la dosis (30):

- Volumen de agua usado por día o volumen de caudal de la laguna.
- Demanda biológica y química de oxígeno (DBO y DQO) del caudal inicial y la salida final.
- Capacidad total de la laguna.

En la tabla 1 se muestran las formas de aplicación del producto EM-1® para el tratamiento de aguas industriales.

El cambio de la calidad de agua, aparecerá por lo menos un mes después de la primera aplicación de EM-1®, es decir que hay que dar el tiempo para que se establezcan los microorganismos benéficos en la laguna porque a partir de ese momento comienza la purificación del efluente.

Teóricamente 1 L de EM-1® reduce 1.5 mg/día de DBO lo quiere decir que 1000 L de la aplicación de EM-1®, puede reducir 1.5 g/día de materia orgánica. Sin embargo, a mayores volúmenes de uso de EM, más rápido será la aparición de resultados (según

condición de agua residuales y el sistema de laguna).

La empresa AMBIEM.ltda de Brasil emplea diferentes dosis y tiempos de aplicación dependiendo del uso de los EM. Por ejemplo para la recuperación de lagos y reservorios de agua emplean 1 L EM-1®/1000 L de agua tratada y luego esperan un mes para ver si se obtuvieron resultados. Posteriormente realizan aplicaciones de mantenimiento una vez al mes con dosis de 1 L EM-1®/ 10 000 L agua.

Para el caso del tratamiento de efluentes y aguas negras, la dosis depende del DBO del mismo. Para valores de 1000 a 2000 mg/l se emplean dosis de 1 L EM-1®/ 500 L del volumen total de las lagunas o tanques de tratamiento y por debajo de 1000 mg/l se usan 1 L EM-1®/ 1000 L del volumen total. Estas aplicaciones se realizan tres veces a la semana durante el primer mes y si no hay cambios significativos se repite el procedimiento 1 mes más (31).

El uso de esta tecnología para el manejo del sistema de tratamiento de las aguas residuales de Belize Suga rIndustry (32) fue un mecanismo de ahorro efectivo para el ingenio azucarero, cuando después de 4.5 a 6 meses se obtuvieron ahorros del 37 a 50 %. Con la DQO también obtuvieron resultados alentadores con una reducción desde 13.57 g/l a 2.04 g/l durante el mismo período. En el estudio realizado se apreció que en solo 6 meses el sistema de manejo con EM fue más eficiente en su habilidad de disminuir la DQO (83 % de purificación) en comparación con el 75 % obtenido con el sistema de inyección de oxígeno instalado en la planta. Adicionalmente refieren que el olor fue completamente controlado, se redujo significativamente la población de moscas y hubo un aumento visible de aves en la zona.

#### **Tratamiento de desechos para la producción de biogás**

En la actualidad los sistemas de producción, específicamente los sistemas agropecuarios, están diseñados de tal forma que no encajan con el ritmo y características del medio ambiente en el cual se encuentran establecidos. Por ejemplo, en los monocultivos intensivos y la ganadería extensiva se desaprovecha el potencial natural del medio, puesto que en lugar de interactuar con él y beneficiarse de su sostenibilidad natural, se basan en productos químicos e insumos ajenos al sistema biológico, volviéndose un círculo vicioso en el cual cada vez son necesarios más insumos externos para mantener la

**Tabla 1.** Aplicación de M-1® en aguas industriales

<b>Tratamiento</b>	<b>Dosis</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Lugar de aplicación</b>
De choque	1 L EM-1®/ 1000 L agua de laguna	Trimestral	Primera laguna o todas las lagunas
De mantenimiento	1 L EM-1®/ 1000 L caudal de agua	Diaria	Entrada de agua al sistema

producción o el rendimiento del sistema. Lo anterior se debe al poco interés en los sistemas de producción orgánica y la ignorancia de la existencia y la forma de uso de productos alternativos amigables con el ambiente (8).

Como resultado del desequilibrio que provocan los sistemas de producción humanos obtenemos métodos o sistemas de producción agropecuarios subdesarrollados y altamente contaminantes que liberan al ambiente materiales que no son contaminantes en forma directa, pero en altas cantidades producen desequilibrios traducidos a problemas medio ambientales de gran envergadura. Claro ejemplo es el caso de los gases CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, principales responsables del aumento en el efecto invernadero y por ende del calentamiento global, que tanto preocupa actualmente a las naciones del mundo.

El uso de tecnologías alternativas y amigables con el medioambiente, como los EM pueden ayudar a reducir el problema de las emisiones de estos gases. Según los resultados del Dr. Higa, el uso de EM puede o efectivamente reduce las emisiones de CH<sub>4</sub> (7). Pero, existe el problema de que no se conoce específicamente el efecto sobre estos sistemas biológicos desde el punto de vista de la magnitud de la reducción de dichos gases.

El biogás es un compuesto de gases que principalmente se compone de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> que se produce de la descomposición anaeróbica de materia orgánica realizado por microorganismos, los cuales pueden ser desechos animales, desechos vegetales, desechos de procesos industriales, entre otros (33). Este proceso engloba una serie de reacciones bioquímicas donde se pueden identificar dos fases

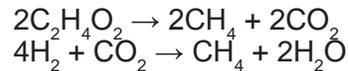
principales (figura 2):

1. Fase acidogénica donde la materia orgánica se convierte en su mayoría en acetatos.
2. Fase metanogénica donde se produce CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>.

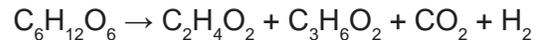
La fase acidogénica es el punto clave de la producción de biogás, ya que el acetato que es producido en esta fase es el sustrato principal para la producción de CH<sub>4</sub>. Los productos finales de la fase ácida son acetatos, ácidos grasos superiores, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>. La formación de estos productos se realiza por una cadena complicada de reacciones enzimáticas.

En la fase metanogénica, los productos intermedios de la fase ácida se convierten en CH<sub>4</sub>. Los principales sustratos para la metanogénesis son el ácido acético y H<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub>, siendo el primero el más importante.

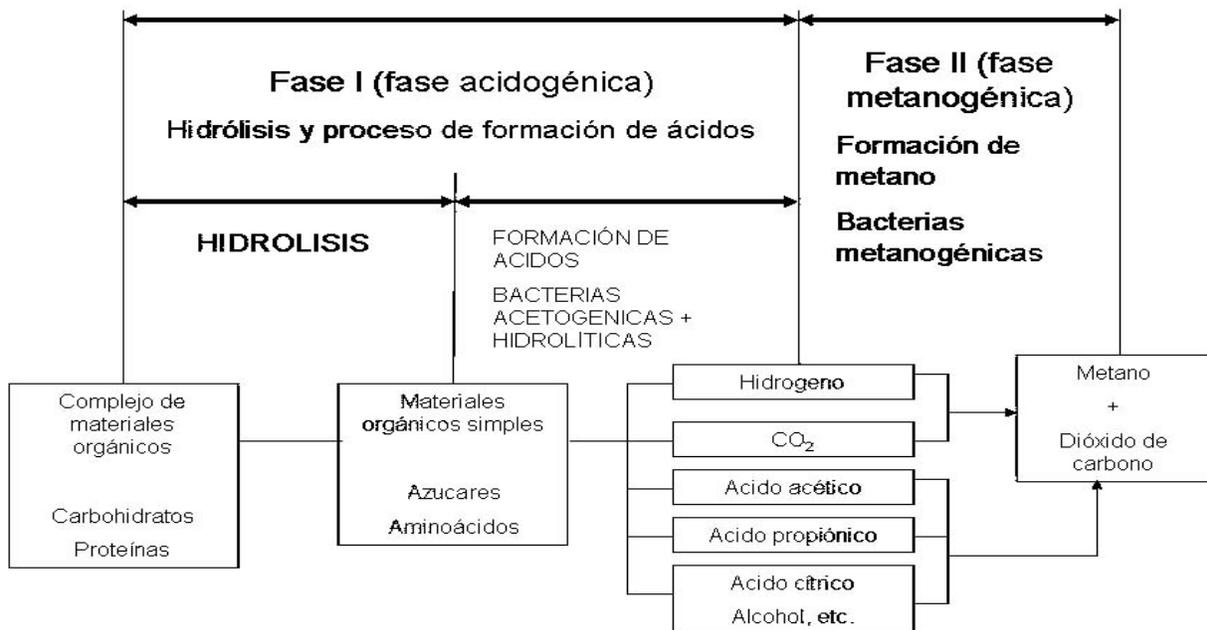
El proceso por el cual se produce CH<sub>4</sub> es el siguiente:



Si las bacterias metanogénicas crecen junto a las bacterias fermentadoras de azúcares, entonces se induce a formar más de este compuesto en vez de una mezcla de ácido acético y ácido propiónico:



Lo que se produce sería ácido acético:



**Figura 2.** Proceso de la digestión difásica en la producción de metano (CH<sub>4</sub>).

El hidrógeno formado en la etapa inicial del rompimiento de la glucosa a ácido pirúvico libera  $H_2$  y más de este compuesto sería liberado en el proceso de ácido acético. El  $4H_2$  se combinaría luego con  $CO_2$  para formar  $CH_4$ . En un modo similar, la producción de etanol, ácido láctico y otras reacciones que se mostraron anteriormente, serían convertidos a favor del ácido acético y producción de  $H_2$ .

#### *Microorganismos que intervienen en el proceso de producción de biogás*

Para la producción de biogás se requiere de la simbiosis de varias bacterias anaeróbicas. Al menos cuatro diferentes tipos de bacterias han sido reconocidos para la fermentación de la materia orgánica y su metabolismo genera biogás como producto final:

1. Bacterias hidrolíticas: fermentan moléculas orgánicas complejas como polisacáridos, lípidos y proteínas en varios compuestos más simples (ácido acético,  $H_2$ ,  $CO_2$ , compuestos de un solo carbono, ácidos orgánicos más grandes que el ácido acético y compuestos neutrales más grandes que el metanol).
2. Bacterias acetogénicas: convierten ácidos orgánicos como los butiratos y propionatos, y compuestos neutrales como el etanol y propanol a  $H_2$  y acetatos.
3. Bacterias homoacetogénicas: pueden fermentar un alto espectro de compuestos de uno solo o varios carbonos ácidos acéticos.
4. Bacterias metanogénicas: son las que fermentan el  $H_2$ ,  $CO_2$ , compuestos de un solo carbono y acetatos a  $CH_4$ . Las bacterias metanogénicas identificadas son: *Methanococcus*, *Metanobacterium*, *Methanosarcina*, *Methanospirillum* y *Methanobacillus*.

Según estudios realizados, la aplicación de EM en biodigestores demostró tener una tendencia a la disminución en la cantidad de sólidos totales remanentes en el sistema, aumentó la cantidad de  $CH_4$  generado, al igual que aumentó la emisión de  $CO_2$  y produjo valores de pH mayores a mayor dosis de los EM aplicados. Todos estos factores contribuyeron al aumento de la producción de biogás ( $CH_4$  y  $CO_2$ ).

Estos investigadores sugieren comparar el efecto de los EM, aplicándolo en el material orgánico previo a ser introducido al biodigestor como un pre-tratamiento contra la aplicación directa de los mismos en el biodigestor.

#### **Uso de EM en el control de los gases de efecto invernadero**

Según Higa, con la tecnología EM se pueden controlar los gases de efecto invernadero (GEI) porque los hidrocarburos, sulfuros y óxidos son tratados por estos microorganismos, convirtiendo estas sus-

tancias en aminoácidos, oxígeno orgánico y azúcares que fertilizan el suelo, proveen nutrientes a las plantas y plancton para animales acuáticos pero los EM no son capaces de convertirlos en ningún tipo de gas. En un reciente estudio, Higa determinó que la tecnología EM mostró tener un efecto de supresión en la generación de  $CH_4$  en campos de arroz inundado de hasta un 59 % (7).

#### **Mejoramiento de suelos**

Se han obtenido resultados satisfactorios en la aplicación de EM para eliminar las dificultades para ejecutar limpiezas manuales y fertilizaciones, provocadas por los residuos generados durante la cosecha mecanizada de caña de azúcar y su permanencia en el campo por largo tiempo. Estos desechos también son causantes de enfermedades fúngicas, ayuda a la proliferación de plagas y reduce el rendimiento de la mano de obra para otras labores de cultivo, aumenta la posibilidad de que los trabajadores sean atacados por insectos y serpientes. Además aumentan la probabilidad de quemas accidentales en los rebrotes de la caña. Las aplicaciones de los EM al suelo pueden ayudar a definir la estructura y el establecimiento de ecosistemas naturales (12).

#### **CONCLUSIONES**

- Los microorganismos eficientes, al ser un producto orgánico sin manipulación genética son bien aceptados en toda clase de unidades productivas, ya sean agrícolas, pecuarias o medioambientales.
- Con la aplicación de la tecnología EM se hace posible la transformación de los residuos orgánicos en abonos de excelente calidad utilizados en programas de producción limpia.
- El empleo de microorganismos eficientes en las instalaciones reduce drásticamente los gases emitidos producto de los malos olores y la presencia de vectores.
- La tecnología EM aplicada en el tratamiento de aguas residuales permite recuperar este tipo de aguas disminuyendo la producción de lodos, mejorando la calidad física, química y microbiológica del efluente, lo cual minimiza diferentes impactos generados al medio ambiente e incluso permite darle un nuevo uso.
- El EM mejora la biota del suelo y las propiedades físicas del mismo, disminuyendo los costos de la producción, aumentando la cantidad de cosechas y por lo tanto aumentando los ingresos del agricultor.
- El empleo directo de EM en los biodigestores o en una etapa previa de pretratamiento a la materia orgánica empleada, incrementa los niveles de producción de biogás.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cruz, N. Aprovechamiento y manejo de desechos orgánicos de cocina utilizando microorganismos eficientes de montaña (mem) aislados de dos bosques secundarios de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Biología. Cartago. p.11. enero 2010.
2. Rodie, B. E. y Hardenb, E.R.G. Ingeniería Sanitaria. Ed. Continental S.A. de C.V. México D.F. 1987.
3. Romero, L. ; Vargas, T.J; Dabiel, M. Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas. Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae). Habana. Septiembre – diciembre. 2017, p. 89.
4. Bejarano, E.; Escobar, M. Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual. Programa de ingeniería ambiental y sanitaria. Bogotá D.C. 2015.
5. López, M.V. Tratamiento biológico de aguas residuales en perspectiva de la biotecnología en México. Editorial CONACYT, México. pp. 259-284. 1981.
6. EM Research Organization – EMRO. EM-Agua Manual de usos de microorganismos eficaces para agua residual. Bogotá, Colombia. 2014.
7. Higa, T. A preliminary study of the suppressing effect of EM on methane emissions in paddy fields. An earth saving revolution II. Sunmark Publishing 1998. 364 p. ISBN 4-7631-9214-0. Okinawa (JP).
8. Miyashiro, G. y Meggs, J.C. Proyecto de grado: Medición del efecto de la aplicación de microorganismos eficaces (ME) en la generación del gas metano (CH<sub>4</sub>) en los sistemas de biodigestores a escala. Universidad EARTH, Costa Rica. 2007.
9. Ibáñez, J.J. Microorganismos eficientes o efectivos (EM) y rehabilitación de suelos. En: MIOD, Un lugar para la ciencia y la tecnología. Marzo 2 de 2011. [on line] <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/03/02/137556>
10. Arias, A. Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente. Journal de Ciencia e Ingeniería. Vol. 2, No. 2, agosto, 2010. p 42–45.
11. Fujisawa, A.; et al. Kyusei nature farming and the technology of effective microorganisms: guidelines for practical use.
12. Higa, T. y Parr, J.F. Microorganismos en los suelos. Departamento de agricultura de EE.UU. Beltsville. Maryland, EE.UU. 2014. <http://www.iespana.es/em/Manuales/manuales.html>.
13. Higa, T. Effective microorganisms and their role in kyusei nature farming and sustainable agriculture. An earth saving revolution II. Sunmark Publishing 1998. 364 p. ISBN 4-7631-9214-0. Japón.
14. Rosales, L. (2009). Evaluación de microorganismos eficientes para la biodegradación de mieles de beneficiado húmedo de café (*Coffea arabica* L.) en Cobán, Alata Verapaz. Trabajo de graduación, Univ., de San Carlos de Guatemala, pp.12-15.
15. Mau, F. EM microorganismos efectivos. 1ª ed. München (DE): Goldman / Arkanna Verlag, 2002. 237 p. ISBN 84-7871-741-2.
16. Lynd, L.R.; van Zyl, W.H.; McBride, J.E.; Laser, M. Consolidated bioprocessing of cellulosic biomass: an update. Curr Opin Biotechnol. 2005;16(5):577–583. doi: 10.1016/j.copbio.2005.08.009. [PubMed] [Cross-Ref] [Google Scholar].
17. Pratima, G.; Kalpana, S. and Sahu, A. Isolation of Cellulose-Degrading Bacteria and Determination of Their Cellulolytic Potential. International Journal of Microbiology Volume 2012, Article ID 578925, 5 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/578925>
18. Recalde, C.G.; et al. Descomposición de Materia Orgánica con Microorganismos Benéficos Magnetizados Información Tecnológica Vol. 24(6), 9-16(2013)doi: 10.4067/S0718-07642013000600003.
19. Medina, M.S.; et al. Generación de un inoculante acelerador del compostaje. Revista Argentina de Microbiología. Volumen 50, No. 2, abril-junio 2018, pp. 206-210.
20. Gaitan, D. y Perez, L. (2007). Aislamiento y evaluación de microorganismos celulolíticos a partir de residuos vegetales frescos y en compost generados en un cultivo de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*). Pontificia Universidad Javeriana. Colombia.
21. Peng, L.; et al. (2010). Intracellular ethanol accumulation in yeast cells during aerobic fermentation: a Raman spectroscopic exploration. Lett Appl Microbiol 51(6):632-8.

22. Valdez, A. Grado aplicación de microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la localidad de Chucuito. Tesis de diploma. Puno, Perú. p. 25-26. 2016.
  23. Vargas, P. Efecto de los microorganismos N eficaces (EM) en el tratamiento de aguas servidas del C.P Huaripampa Olleros. Tesis de maestría. Huaraz, Perú-PE. 2006.
  24. Gemic. Tratamiento de aguas residuales. Abril. 2008. [http://www.unavarra.es/genmic/curso%20microbiologia%20general/40 tratamiento%20aguas%20residuales.htm](http://www.unavarra.es/genmic/curso%20microbiologia%20general/40%20tratamiento%20aguas%20residuales.htm).
  25. Fioravanti, V.; Hernández, C.; Okunoto, S.; Yeomans, N. Eficiencia de los microorganismos eficaces (EM) en la estabilización de lodos sépticos para uso agrícola. *Tierra tropical*. 1 (1): 69 -76. 2005.
  26. Crites, R.; Tchobanoglous, G. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Bogotá, Colombia: Mcgraw-Hill Interamericana S.A. 2000. 776 p.
  27. Reyes, B. Estabilización de los lodos sépticos que provienen de una comunidad pequeña con microorganismos eficaces (EM). Costa Rica-CR. 2004.
  28. Cardona, G. J. y García G. L. A. (2008). Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces (ME) sobre la calidad de un agua residual doméstica. Tesis en opción a la carrera de Microbiología Industrial. Facultad de Ciencias. Bogotá, D. C. 159 pp. <http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis204.pdf> en agosto de 2017.
  29. Quiroga, L. Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Journal of Technology*. 2008. pp. 21 – 28.
  30. Guía de la tecnología de EM. EM producción y tecnología S.A (EMPROTEC). Mayo, 2013.
  31. AMBIEM. Ltda. Brasil. Portal oficial de la tecnología EMTM en América Latina. 2018. <https://www.em-la.com>.
  32. Usher, W.; Santiago, J. El uso de la tecnología microorganismos eficaces™ (EM) en el tratamiento de aguas residuales del ingenio azucarero Belize Sugar Industries Ltda. Belize Agro-enterprise Ltd (BAEL).
  33. TATA ENERGY RESEARCH INSTITUTE. Biogas technology: an information package.
-