

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas

Efficient microorganisms, functional properties and agricultural applications

Mariuxi Tanya Morocho¹, Michel Leiva-Mora^{2*}

¹ Facultad de Zootecnia, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Apartado Postal EC060155, Riobamba, Ecuador

² Laboratorio de Fitopatología, Facultad de Recursos Naturales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Apartado Postal EC060155, Riobamba, Ecuador

*autor para correspondencia: leivamoramichelcelin@gmail.com

RESUMEN

Las producciones agrícolas limpias constituyen una prioridad en los programas de desarrollo de varios países. Los microorganismos eficientes (ME) desde la década de los 80 gracias a las investigaciones del científico Teruo Higa, profesor de horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón han demostrado ser una alternativa eficiente y sostenible en la producción de alimentos. El presente trabajo pretende desarrollar y sintetizar parte de la información publicada en los últimos 10 años relacionada con los ME, sus propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. Los ME agrupan una gran diversidad microbiana entre la cual encontramos: bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas, levaduras, actinomicetes y hongos filamentosos con capacidad fermentativa. Desde el punto de vista agrícola los ME promueven la germinación de semillas, favorecen la floración, el crecimiento y desarrollo de los frutos y permiten una reproducción más exitosa en las plantas. Adicionalmente se ha demostrado que mejoran la estructura física de los suelos, incrementan la fertilidad química de los mismos y suprimen a varios agentes fitopatógenos causantes de enfermedades en numerosos cultivos. Desde el punto de vista fisiológico se ha determinado que los ME incrementan la capacidad fotosintética de los cultivos, así como su capacidad para absorber agua y nutrientes. Además, mejoran la calidad y reducen los tiempos de maduración de abonos orgánicos, en particular, el composteo. Todos estos aspectos explican el incremento del rendimiento agrícola y el amplio uso de los ME así como productos derivados de estos como los bioles.

Palabras clave: abono orgánico, agricultura sostenible, biodiversidad, nutrición, suelo

ABSTRACT

Clean agricultural production system currently is a priority in the agricultural development programs of several countries. The efficient microorganisms (EM) since the 80s thanks to

research of the scientist Teruo Higa, professor of horticulture at the University of Ryukyus in Okinawa, Japan. He proved EM is an efficient and sustainable alternative in the production of food. The aim of this work is to develop and summarize part of published information in the last 10 years related with EM, their functional properties and agricultura applications. EM is a group of great microbial diversity among which: lactic acid bacteria, photosynthetic bacteria, yeasts, actinomycetes and filamentous fungi with fermentative capacity are distinguished. From an agricultural point of view, EM promotes the germination of seeds, flowering, growth and development of fruits and allows a more successful reproduction in plants. Additionally, it has been shown that they improve the physical structure of soils, increase their chemical fertility and suppress several plant pathogenic agents that cause diseases in numerous crops. From a physiological point of view, it has been determined that EM increases the photosynthetic capacity of crops, as well as up take of water and nutrients. Application of EM improves quality and reduces the maturation times of organic fertilizers, particularly compost. All these aspects explain the increase in agricultural yield and the widespread use of EMs as well as products derived from them such as bioles.

Keywords: organic fertilizer, sustainable agricultura, biodiversisty, nutrition, soil

INTRODUCCIÓN

Los microorganismos eficientes o ME (del inglés *Efficient Microorganism*) consisten en productos formulados líquidos que contienen más de 80 especies de microorganismos, algunas especies son aeróbicas, anaeróbicas e incluso especies fotosintéticas cuyo logro principal es que pueden coexistir como comunidades microbianas e incluso pueden completarse (Hoyos *et al.*, 2008).

Los ME han mostrado efectos beneficiosos para el tratamiento de aguas negras, reducción de malos olores, en la producción de alimentos libres de agroquímicos, el manejo de desechos sólidos y líquidos generados por la producción agropecuaria, la industria de procesamiento de alimentos, fábricas de papel, mataderos y municipalidades, entre otros (Feijoo, 2016).

Los ME surgen desde la década de los años 60, aunque los mayores avances comienzan con los estudios del profesor de horticultura Teruo Higa, de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa aproximadamente en 1970. Este investigador se motivó por la búsqueda de alternativas naturales en la producción agrícola, el mismo había sufrido efectos tóxicos de plaguicidas químicos en sus primeros años de ejercitar su profesión (Quispe y Chávez, 2017).

En sus ensayos y experimentos reunió a unas 2000 especies de microorganismos de los cuales 80 mostraron efectos eficaces. Por accidente el doctor colocó una mezcla de los ME en arbustos pequeños y al cabo del tiempo observó un estímulo importante en el crecimiento de los mismos. En el año 1982 el profesor presentó una formulación comercial conocida como ME para el acondicionamiento biológico de los suelos. Como tecnología los ME consisten en el cultivo microbiano mixto de especies de microorganismos seleccionadas los cuales coexisten en un pH aproximado de 3,5 (Camones y Noemi, 2015).

El presente trabajo pretende desarrollar y sintetizar parte de la información científica publicada en los últimos 10 años relacionada con los ME, sus propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se llevó a cabo una revisión de la literatura científica publicada en los últimos 10 años relacionada con los ME, haciendo énfasis en los grupos microbianos que los compone, principales características, propiedades funcionales que desempeñan y sus aplicaciones agrícolas. Se consultaron artículos científicos de revistas indexadas en la Web of

Science (SCI, SCOPUS), en las bases de datos especializadas de reconocimiento internacional Springer, Elsevier, Pascal, Medline, EBSCO, Biological Abstract, CAB Internacional, Scimago y en las bases de datos especializadas de reconocimiento regional tales como: Scielo, Redalyc y Latindex.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Grupos microbianos que componen los ME

Los ME se componen de cinco grupos microbianos generales: a-) bacterias ácido lácticas, b-) bacterias fotosintéticas, c-) levaduras, d-) actinomicetes, e-) hongos filamentosos con capacidad fermentativa.

Las bacterias ácido lácticas (BAL)

Son microorganismos que tienen diversas aplicaciones, siendo una de las principales la fermentación de alimentos como la leche, carne y vegetales para obtener productos como el yogur, quesos, encurtidos, embutidos, ensilados, bebidas y cervezas, entre otros (Torres *et al.*, 2015).

Son cocos o bacilos Gram positivos, no esporulados, no móviles, anaeróbicos, microaerófilos o aerotolerantes; oxidasa, catalasa y benzidina negativas, carecen de citocromos, no reducen el nitrato a nitrito y producen ácido láctico como el único o principal producto de la fermentación de carbohidratos (Soto *et al.*, 2017). Además, las BAL son ácido tolerante por lo que algunas pueden crecer a valores de pH tan bajos como 3, 2; otras a valores tan altos como 9,6; y la mayoría crece a pH entre 4 y 4,5. Estas características le permiten sobrevivir naturalmente en medios donde otras bacterias no lograrían sobrevivir (Souza *et al.*, 2015).

Este grupo de bacterias incluye géneros como *Lactobacillus* (*L. plantarum*, *L. casei*) *Bifidobacterium*, *Lactococcus*, *Streptococcus* (*S. lactis*) y *Pediococcus*, que pueden ser aisladas a partir de alimentos fermentados, masas ácidas, bebidas, plantas y los tractos respiratorio, intestinal y vaginal de animales homeotérmicos entre otros.

Las mismas pueden mostrar efecto antagónico frente a diferentes agentes fitopatógenos del suelo debido fundamentalmente a la disminución del pH, la producción de péptidos con actividad antimicrobiana como son bacteriosinas clase I y la nisina muy activa contra bacterias Gram positivas. Desde el punto de vista bioecológico estas bacterias son microaerófilas por ello se desarrollan bien en una atmósfera con un 5 % de CO₂. Son microorganismos de lento crecimiento muy dependiente de la temperatura, cuyo óptimo es de 30 °C (Londoño *et al.*, 2015).

Las bacterias fotosintéticas

Son un grupo de microorganismos representados fundamentalmente por las especies *Rhodospseudomonas palustris* y *Rhodobacter sphaeroides*, microorganismos autótrofos facultativos. Este grupo utiliza como fuente de carbono moléculas orgánicas producidas por los exudados de las raíces de las plantas y como fuente de energía utilizan la luz solar y la energía calórica del suelo (Su *et al.*, 2017).

Entre las bacterias fotosintéticas que forman parte de los ME, *R. palustris* es una bacteria fototrófica facultativa clasificada como una bacteria púrpura no de azufre. Esta especie es capaz de producir aminoácidos, ácidos orgánicos, hormonas, vitaminas y azúcares, donde todos ellos pueden ser utilizados por microorganismos heterótrofos para su crecimiento (Feijoo, 2016).

Por otra parte, *R. sphaeroides* es una bacteria fotosintética facultativa y Gram negativa. Las células de *R. sphaeroides* pueden vivir tanto en agua dulce como en agua de mar, y formar una película rosada en la superficie de los estanques. Además de la actividad fotosintética, *R. sphaeroides* muestra gran diversidad metabólica que incluyen litotrofismo, respiración aeróbica y anaeróbica, la fijación de nitrógeno y la síntesis de tetrapiroles, clorofilas, hemo y vitamina B12. Muchas cepas de *R. sphaeroides* poseen un flagelo ubicado en el costado del cuerpo celular, pero el flagelo es en

realidad peritróica.

Levaduras

Las levaduras son un grupo microbiano presente en la preparación de los ME capaces de utilizar diversas fuentes de carbono (glucosa, sacarosa, fructosa, galactosa, maltosa, suero hidrolizado y alcohol) y de energía. Varias especies del género *Saccharomyces* conforman esta comunidad microbiana, aunque prevalece las especies *Saccharomyces cerevisiae* y *Candida utilis*. Estos microorganismos requieren como fuente de nitrógeno el amoníaco, la urea o sales de amonio y mezcla de aminoácidos. No son capaces de asimilar nitratos ni nitritos (Fayemi y Ojokoh, 2014).

Otros nutrientes requeridos por estos microorganismos es el fósforo que se puede administrar en forma de ácido fosfórico, magnesio (sulfato de magnesio), el calcio, el hierro, el cobre, el zinc, vitaminas del complejo B. Las levaduras sintetizan sustancias antimicrobianas a partir de azúcares y de aminoácidos secretados por bacterias fotosintéticas. Producen hormonas y enzimas que pueden ser utilizadas por las BAL. Como parte de su metabolismo fermentativo producen etanol el cual en elevadas concentraciones puede tener actividad antifúngica (Meena y Meena, 2017).

S. cerevisiae es un eucariota unicelular, de forma globular y color verde amarillento. Es un microorganismo quimioorganótrofo, ya que requiere de compuestos orgánicos como fuente de energía y no requiere de luz solar para crecer. Esta levadura es capaz de utilizar diferentes azúcares, siendo la glucosa la fuente de carbono preferida. Esta especie es anaeróbica facultativa, ya que es capaz de crecer en condiciones de deficiencia de oxígeno. Durante esta condición ambiental, la glucosa es convertida en diferentes intermediarios como etanol, CO₂ y glicerol. Esto último se conoce como fermentación alcohólica. El crecimiento de la levadura no es eficiente, sin embargo, es el medio ampliamente utilizado por la industria para fermentar los

azúcares presentes en diferentes granos como trigo, cebada y maíz (GAO *et al.*, 2019).

Actinomicetes

Los actinomicetos son bacterias filamentosas con cierta similitud con los hongos. El crecimiento consiste en un micelio ramificado que tiende a fragmentarse en elementos bacterianos. Muchos actinomicetos son de vida libre, particularmente en el suelo. Se destacan por su papel principal en la solubilización de la pared celular o componentes de las plantas, hongos e insectos. Por ello tienen gran importancia en el compostaje y en la formación de suelos. Algunas especies de actinomicetes pueden ser endófitos en tejidos vegetales. Como componentes de ME *Streptomyces albus* y *Streptomyces griseus* son las principales especies de actinomicetes informadas (Vurukonda *et al.*, 2018).

Varias especies de actinomicetos, principalmente las que pertenecen al género *Streptomyces*, son excelentes agentes de control biológico debido a su amplio repertorio para producir compuestos antifúngicos que inhiben el crecimiento micelial de varios hongos fitopatógenos. La actividad antagonista de *Streptomyces* contra hongos patógenos generalmente está relacionada con la producción de compuestos antifúngicos como: enzimas hidrolíticas extracelulares (quitinasas y β -1,3-glucanasa), se consideran enzimas hidrolíticas importantes en la lisis de las paredes celulares de *Fusarium oxysporum* Schltdl., *Sclerotinia minor* Jagger y *Sclerotium rolfsii* Sacc. (Chaurasia *et al.*, 2018).

Hongos fermentadores

Los hongos contribuyen con los procesos de mineralización del carbono orgánico del suelo; además una gran cantidad de los hongos son antagónicos de especies fitopatógenas. Por otro lado, los hongos poseen la capacidad de reproducirse tanto sexual como asexualmente, en donde la segunda les permite multiplicarse de forma rápida bajo condiciones favorables (sustratos ácidos y ricos en carbono) y la sexual (esporas) es más común bajo condiciones

desfavorables. Los hongos poseen requerimientos relativamente bajos de nitrógeno, lo cual les brinda una ventaja competitiva en la descomposición de materiales como la paja y la madera (Yang *et al.*, 2017).

Dentro de los principales representantes de estos hongos encontramos a las siguientes especies: *Aspergillus oryzae* (Ahlburg) Cohn, *Penicillium* sp, *Trichoderma* sp y *Mucor hiemalis* Wehmer. *A. oryzae* es un hongo microscópico, aeróbico y filamentoso. Esta especie ha sido utilizada milenariamente en la cocina china, japonesa y de otros países de Asia Oriental especialmente para fermentar soja y arroz, aunque también se refiere actividad celulolítica. Varias especies del género *Penicillium* son excelentes degradadores de lignina y celulosa, muy comunes en los ecosistemas tropicales por su capacidad de secretar enzimas extracelulares, su adaptación a ambientes ácidos, y al estrés hídrico, su rápido crecimiento (EL-Gendy *et al.*, 2017).

Las especies pertenecientes al género *Trichoderma* sp. se caracterizan por ser hongos saprófitos, que sobreviven en suelos con diferentes cantidades de materia orgánica, los cuales son capaces de descomponerla y en determinadas condiciones pueden ser anaerobios facultativos, lo que les permite mostrar una mayor plasticidad ecológica. Las especies de *Trichoderma* se encuentran presentes en todas las latitudes, desde las zonas polares hasta la ecuatorial. Esta distribución tan amplia y su plasticidad ecológica están estrechamente relacionadas con la alta capacidad enzimática que poseen para degradar sustratos, un metabolismo versátil y resistencia a inhibidores microbianos. Las especies de *Trichoderma* pueden ejercer diferentes mecanismos biocontroladores como: competencia por espacio y nutrientes, el micoparasitismo, la antibiosis y la inducción de resistencia (Horwath, 2017).

Propiedades funcionales que desempeñan los ME y sus aplicaciones agrícolas

Fijación del nitrógeno atmosférico. Por fijación de nitrógeno se entiende la

combinación de nitrógeno molecular o dinitrógeno con oxígeno o hidrógeno para dar óxidos o amonio que pueden incorporarse a la biosfera. La reducción de nitrógeno a amonio llevada a cabo por bacterias de vida libre o en simbiosis con algunas especies vegetales (leguminosas y algunas leñosas no leguminosas), se conoce como fijación biológica de nitrógeno (FBN). Dentro de este consorcio de microorganismos fijadores de nitrógenos encontramos a dos grandes grupos: el primero representados por bacterias simbióticas y el segundo por bacterias de vida libre. Las principales especies del género *Rhizobium*, bacterias simbióticas que producen nódulos en diferentes especies de leguminosas, se encuentran: *Rhizobium meliloti*, *Rhizobium fredii*, *Rhizobium leguminosarum*, *Rhizobium tropici*, *Rhizobium etli*, *Rhizobium galegae*, *Rhizobium loti*, *Rhizobium huakuii*, *Bradyrhizobium japonicum*, *Bradyrhizobium elkanii* y *Azorhizobium caulinodans* (García-Velázquez y Gallardo, 2017).

Por otro lado, dentro de las principales bacterias de vida libre que son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico, encontramos a los géneros: *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Azoarcus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Bacillus* (Grajo *et al.*, 2017; Kakraliya y Singh, 2018).

Descomposición de residuos orgánicos. El proceso de compostaje se basa en la actividad de microorganismos que habitan en el entorno natural. Ellos son quienes descomponen la materia orgánica. Para que estos microorganismos puedan desarrollar una óptima actividad de descomposición se requieren (52 ° - 65 °C, contenido de humedad entre el 30 - 45 %). El compost tiene su origen a partir de residuos vegetales y animales (Villegas-Cornelio y Laines, 2017).

Un ejemplo notable es el abono tipo Bocashi, el cual es un abono orgánico fermentado resultado de un proceso de semi-descomposición aeróbica de residuos orgánicos por medio de poblaciones de microorganismos que existen en los propios residuos, en condiciones controladas, que producen un

material parcialmente estable de lenta descomposición, capaz de fertilizar a las plantas y al mismo tiempo nutrir al suelo.

Supresión de agentes fitopatógenos del suelo. La utilización de consorcios microbianos ha demostrado ser eficiente en el control de fitonemátodos del suelo. Los microorganismos asociados con la rizosfera de las plantas facilitan el crecimiento, desarrollo y funcionamiento de procesos vitales como la promoción del crecimiento de las plantas y protegen las plantas de los agentes fitoparasíticos. Los microorganismos eficientes pueden ocupar diferentes nichos en la zona de raíz y con ello pueden competir por espacio y nutrientes, limitando el desarrollo de especies fitopatógenas. Asimismo, la actividad supresiva de los microorganismos eficientes puede ejercerse mediante la producción de compuestos con actividad antimicrobiana (antibióticos y compuestos antifúngicos), la producción de sideróforos, la inducción de resistencia, producción de metabolitos, antibiosis, activación de sistemas antioxidantes en plantas, activación de genes de resistencia en plantas (Schlatter *et al.*, 2017).

Los microorganismos eficientes a su vez pueden promover el reciclaje de nutrientes en el suelo, así como incrementar la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Por otra parte, estos microorganismos son capaces de degradar agentes tóxicos como pesticidas, producir moléculas orgánicas simples que pueden ser tomadas por las plantas, formación de complejos con metales pesados lo cual limita la toma de estos por la planta.

Solubilización de fuentes de nutrientes poco solubles. Los compuestos del P presentes en el suelo se pueden clasificar en tres categorías: (i) compuestos inorgánicos, (ii) compuestos orgánicos del humus y (iii) compuestos orgánicos e inorgánicos de P asociado a las células de la materia viva. Los compuestos minerales de P usualmente contienen aluminio (Al), hierro (Fe), manganeso (Mn) y calcio (Ca) y varían (Satyaprakash *et al.*, 2017).

En muchos suelos agrícolas se encuentran grandes reservas de fósforo de forma insoluble,

debido a la fijación de los fertilizantes fosforados aplicados, de este modo este importante nutriente no puede ser asimilados por la planta. Los microorganismos solubilizadores de fosfato usan diferentes mecanismos de solubilización como: la producción de ácidos orgánicos, que solubilizan dichos fosfatos insolubles en la zona rizosférica de las plantas fundamentalmente. Los fosfatos solubles son absorbidos por la planta, lo cual mejora su crecimiento y productividad. Al utilizar esas reservas de fosfato presentes en los suelos, se disminuye la aplicación de fertilizantes químicos (Satyaprakash *et al.*, 2017).

Los microorganismos solubilizadores de fosfato pueden desempeñar un papel fundamental y práctico en la mejora de la reserva de P del suelo sin perturbar negativamente la microflora del suelo y los procesos mediados por ellos. Dado que la mayoría de los inoculantes microbianos desarrollados hasta ahora se utilizan para mejorar la producción de leguminosas, cereales, hortalizas y frutales con una demanda creciente. Actualmente para la formulación de los bioinoculantes solubilizadores de P se trata que posean otras actividades funcionales como la promoción del crecimiento vegetal (Satyaprakash *et al.*, 2017).

Efectos de los ME sobre la fisiología de la planta

Efectos sobre la nutrición y adquisición del agua. Es conocido el efecto positivo que tiene la aplicación de ME sobre la estimulación del desarrollo de las raíces y de la mejora en la nutrición debido a una mejora en la adquisición de nutrientes. Es sabido que existen varios microorganismos que son responsable de la solubilización de nutrientes como P y K, otros son capaces de fijar el N₂ atmosférico convirtiéndolos en formas asimilables para las plantas. Asimismo, el incremento en profundidad y superficie del sistema radical permite una mejor adquisición del agua (Aung *et al.*, 2018).

Efectos sobre la tolerancia a factores estresantes. Existen varias especies de *Pseudomonas* que al colonizar las raíces de las plantas o el interior del tejido pueden aliviar los efectos del estrés ambiental en la planta al ayudar a la adquisición de nutrientes por la planta, a modular los niveles de hormonas de la planta, inducir la acumulación de osmolitos y antioxidantes, también permiten regular o disminuir la expresión de los genes relacionados con el crecimiento de las plantas (Vacheron *et al.*, 2013).

Efectos sobre la fotosíntesis. Las rizobacterias son capaces de mejorar la tasa fotosintética de las plantas debido al aumento en conductancia estomática y una mayor eficiencia fotoquímica particularmente bajo condiciones de estrés abiótico. Algunas mejoran la asimilación del CO₂, incrementan la eficiencia de carboxilación, aumentan el contenido de clorofila y la tasa aparente de transporte de electrones. Asimismo, se ha informado que las rizobacterias protegen la integridad fotoquímica de los fotosistemas, al evitar una presión energética excesiva sobre centros de reacción particularmente del fotosistema II (Olanrewaju *et al.*, 2017).

Aplicaciones agrícolas de los Microorganismos Eficientes

Para que la acción de los microorganismos sea eficiente se debe conocer los requerimientos ambientales, entre ellos se consideran la humedad, temperatura y pH. Existe mayor diversidad de microorganismos en ambientes de pH neutro entre valores de 6 a 8 y con temperaturas entre 15 y 45 °C. La reproducción o inoculación de ME se realiza bajo fermentación anaeróbica.

Varios autores han propuesto la implementación de tecnologías limpias a través del uso de microorganismos con efectos benéficos.

El uso de los microorganismos eficientes en la agricultura está en función de la zona, la calidad del suelo, el clima, los métodos de cultivo y la irrigación, entre otros factores; con

la aplicación de microorganismos benéficos el suelo retiene más agua, lo que implica una mejora de los cultivos que incrementan su resistencia al estrés hídrico en épocas de sequía o en suelos más arenosos; dicha mejora viene dada tanto por el incremento de materia orgánica en el suelo, reduciendo la porosidad, como consecuencia de la actividad microbiana, como por el equilibrio iónico, favoreciendo así la interacción de las cargas superficiales de la estructura física del suelo con las cargas iónicas del agua (Toalombo, 2012).

Uso en semilleros: existe un aumento de la velocidad y porcentaje de germinación de las semillas, por su efecto hormonal, similar al del ácido giberélico, aumento del vigor y crecimiento del tallo y raíces, desde la germinación hasta la emergencia de las plántulas, por su efecto como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Incremento de las probabilidades de supervivencia de las plántulas.

Uso en las plantas: inducen mecanismos de eliminación de insectos y enfermedades en las plantas, puesto que pueden inducir la resistencia sistémica de los cultivos a enfermedades, consume los exudados de raíces, hojas, flores y frutos, evitando la propagación de organismos patógenos y desarrollo de enfermedades, incrementa el crecimiento, calidad y productividad de los cultivos, y promueven la floración, fructificación y maduración por sus efectos hormonales en zonas meristemáticas. Incrementa la capacidad de fotosíntesis a través de un mayor desarrollo foliar (Haney *et al.*, 2015).

Producción de bioles con microorganismos eficientes

El biol es una fuente de fitorreguladores producto de la descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos que se puede obtener por dos métodos: a) Como lixiviado líquido resultante de la descomposición anaeróbica o biodigestión de materia orgánica, que aparece como residuo líquido resultante de la fermentación metanogénica de los desechos

orgánicos, generalmente en un biodigestor que tiene como objetivo principal la producción de biogás, b-) Preparación artesanal para la obtención del abono líquido, bioestimulante, rico en nutrientes y se le puede obtener mediante la filtración al separar la parte líquida de la sólida. (Villegas-Espinoza *et al.*, 2018).

En el presente trabajo se abordarán aspectos relacionados con los microorganismos eficientes, sus propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. Asimismo, indicaremos como los bioles son productos que se elaboran a partir de la fermentación semicontrolada de insumos naturales de fácil obtención, como los estiércoles, residuos vegetales, melaza y cierto inóculo microbiano.

El biol es un fitoestimulante orgánico con contenido de fitoreguladores, que resulta de la descomposición anaeróbica (sin oxígeno), de los desechos orgánicos que se obtiene por medio de filtración o decantación del bioabono. Pueden ser preparados a partir de estiércol fresco, disuelto en agua y enriquecidos con leche, melaza y ceniza, el cual se deja fermentar por varios días en túneles o tanques de plástico en anaerobiosis (Lagler, 2017).

Los bioles son una fuente de fitoreguladores que, a pesar de encontrarse en pequeñas concentraciones, su efecto fisiológico puede ser notable en las plantas como mejora en el enraizamiento, incremento de calidad de follaje, inducción de la floración y una mejora en la germinación de semillas.

Efecto de los ME sobre enraizamiento

El mecanismo mediante el cual algunos ME favorecen el enraizamiento se explica por la capacidad de algunos microorganismos de producir cambios en el balance fitohormonal principalmente en la producción de ácido indol acético, así como en la habilidad para solubilizar minerales del suelo como los fosfatos haciéndolos más disponibles (Farah *et al.*, 2008).

Similarmente existen numerosos hongos y bacterias capaces de solubilizar minerales que contienen potasio mediante la producción de ácidos orgánicos e inorgánicos y la producción

de polisacáridos. El incremento de la toma de potasio por la planta estimula el crecimiento y desarrollo (Sindhu *et al.*, 2016).

Efecto sobre el incremento de biomasa

Dentro de los ME algunas bacterias pueden promover el crecimiento vegetal y con ello la calidad de biomasa, la cual puede ser utilizada como alimento directo, producción de biocombustible o en la fabricación de piensos (Nele *et al.*, 2009).

En particular las bacterias endofíticas pueden colonizar los tejidos internos de órganos en la planta y con ello contribuir crecimiento en biomasa. Se considera que las bacterias endofíticas pueden al igual que las rizobacterias contribuir a una mejor adquisición de nutrientes y otros recursos que favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas (Santoyo *et al.*, 2016).

Efecto sobre la inducción de la floración

Algunos investigadores han trabajado con la porción cultivable del microbioma de *A. thaliana* en plantas que retienen el efecto de floración temprana y han demostrado que los microorganismos pueden modificar múltiples rasgos de las plantas incluyendo el desarrollo del follaje y la floración (Panke-Buisse *et al.*, 2017).

Asimismo, al inocular mezclas de microorganismos en el cultivo de fresa se logró reducir las demandas de productos químicos, y se incrementó el número de flores el número de frutos y la calidad de los mismos (mayor cantidad de azúcares solubles, ácidos orgánicos, vitaminas (ácido ascórbico y ácido fólico) (Bisen *et al.*, 2015).

Efecto sobre la germinación de semillas

En la actualidad existe un enfoque popular para el tratamiento de semillas que incluye la inoculación de estas con microorganismos benéficos (aspecto biológico) y la hidratación de semillas (aspecto fisiológico) para protegerlas de varias enfermedades transmitidas por semillas y por el suelo conocido como biopriming y osmopriming.

Este tratamiento es capaz de activar cambios en las características de las plantas y facilitar la germinación y el crecimiento uniformes de las semillas asociados con la inoculación de microorganismos. Se utilizan comúnmente en muchos cultivos hortícolas para favorecer el crecimiento y la uniformidad de la germinación. Sin embargo, se puede usar solo o en combinación con agentes de control biológico para incrementar la tasa de emergencia de las semillas y minimizar las enfermedades transmitidas por el suelo (Bisen *et al.*, 2015).

La aplicación de microorganismos benéficos a las semillas es un mecanismo eficiente para la colocación de inóculos microbianos en el suelo, donde estarán bien posicionados para germinar y colonizar las raíces de las plántulas, protegiéndolas contra plagas y enfermedades (O'Callaghan, 2016).

CONCLUSIONES

1- Los microorganismos eficientes comprenden una gran diversidad microbiana representada por bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas, levaduras, actinomicetes y hongos filamentosos con actividad fermentativa.

2- Los microorganismos eficientes tienen numerosas aplicaciones agrícolas debido a que funcionalmente favorecen la germinación de semillas, incrementan la floración, aumentan el crecimiento y desarrollo de los frutos, incrementan la biomasa, garantizan una reproducción exitosa en las plantas, mejoran la estructura física de los suelos, incrementan la fertilidad química de los mismos y suprimen a varios agentes fitopatógenos causantes de enfermedades.

3- Los microorganismos eficientes incrementan la actividad fotosintética y la absorción agua y nutrientes en las plantas, también reducen los tiempos de maduración de abonos orgánicos en particular el composteo, lo cual ofrece importantes aplicaciones agrícolas.

BIBLIOGRAFÍA

AUNG, K., JIANG, Y. y HE, S. Y. 2018. The role of water in plant in plant microbe Interaction. *The Plant Journal*, 93: 771-780.

BISEN, K., KESWANI, C., MISHRA, S., *et al.* 2015. Unrealized Potential of Seed Biopriming for Versatile Agriculture. In: RAKSHIT, A., SINGH, H.B., SEN, A. (eds) Nutrient Use Efficiency: from Basics to Advances. Springer, New Delhi. ISBN 978-81-322-2168-5.

CAMONES, C. y NOEMI, L. 2015. Efecto de la aplicación de tres dosis de humus y microorganismos eficaces en el cultivo del brocoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) en Marcará, Carhuaz. UNASAM, Huaraz, Perú. En sitio web: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1062>.

CHAURASIA, A., MEENA, B. R., TRIPATHI, A. N., *et al.* 2018. Actinomycetes: an unexplored microorganism for plant growth promotion and biocontrol in vegetable crops. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34 (9): 132.

EL-GENDY, M. A., AL-ZAHRANI, S. H. M., EL-BONDKLY, A. M. A. 2017. Construction of potent recombinant strain through intergeneric protoplast fusion in endophytic fungi for anticancerous enzymes production using rice straw. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 183 (1): 30-50.

FARAH, A., IQBAL, A., KHAN, M.S. 2008. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research*, 163 (2): 173-181.

FAYEMI, OE. y OJOKOH, AO. 2014. The Effect of different fermentation techniques on the

- nutritional quality of the cassava product (fufu). *Journal of food processing and preservation*, 38 (1):183-192.
- FEIJOO, M. A. L. 2016. Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Científica Agroecosistemas*, 4 (2): 31-40.
- GAO, YT., ZHANG, YS., WEN, X., *et al.* 2019. The glycerol and ethanol production kinetics in low-temperature wine fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* yeast strains. *International Journal of Food Science Technology*, 54 (1): 102-110.
- GARCÍA-VELÁZQUEZ, L. y GALLARDO, A. 2017. El ciclo global del nitrógeno. Una visión para el ecólogo terrestre. *Revista Ecosistemas*, 26 (1): 4-6.
- GRAJO, M. R. D., VILLEGAS, L. C., MONTECILLO, A. D., *et al.* 2017. Effect of Organic Fertilizer Amina P on the Yield of Pineapple (*Ananas comosus* L.) Merr. and Soil Microbial Population. *Philippine Agricultural Scientist*, 100: 12-20.
- HANEY, C. H., SAMUEL, B. S., BUSH, J., AUSUBEL, F. M. 2015. Associations with rhizosphere bacteria can confer an adaptive advantage to plants. *Nat. Plants*, 1: 1-9.
- HORWATH, W. R. 2017. The role of the soil microbial biomass in cycling nutrients. In: *Microbial Biomass: A Paradigm Shift in Terrestrial Biogeochemistry*. p. 41-66. https://doi.org/10.1142/9781786341310_0002.
- HOYOS, D., ALVIS, N., JABIB, L., *et al.* 2008. Utilidad de los microorganismos eficaces (EM®) en una explotación avícola de Córdoba: parámetros productivos y control ambiental. *Revista MVZ Córdoba*, 13 (2): 1369-1379.
- KAKRALIYA, M. y SINGH, R. 2018. Effect of soil test crop response basis integrated nitrogen management on yield, quality and profitability of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7 (4): 532-534.
- LAGLER, J.C. 2017. Bioinsumos: distintas percepciones haciendo foco en la fertilización biológica. *Agronomía & Ambiente*, 37 (1).
- LONDOÑO, N. A., TABORDA, M. T., LÓPEZ, C. A., ACOSTA, L. V. 2015. Bacteriocinas producidas por bacterias ácido lácticas y su aplicación en la industria de alimentos. *Alimentos Hoy*, 23 (36): 186-205.
- MEENA, S. K. y MEENA, V. S. 2017. Importance of soil microbes in nutrient use efficiency and sustainable food production. In: *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture*, p. 3-23. Springer, Singapore.
- NELE, W., VAN DER, D.L., SAFIYH, T., *et al.* 2009. Exploiting plant-microbe partnerships to improve biomass production and remediation. *Trends in Biotechnology*, 27 (10): 591-598.
- O'CALLAGHAN, M. 2016. Microbial inoculation of seed for improved crop performance: issues and opportunities. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100 (13): 5729-5746.
- OLANREWAJU, O. S., GLICK, B. R., BABALOLA, O. O. 2017. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33 (11): 197.
- PANKE-BUISSE, K., LEE, S., KAO-KNIFFIN, J. 2017. Cultivated Sub-Populations of Soil Microbiomes Retain Early Flowering Plant Trait. *Microbial Ecology*, 73 (2): 394-403.
- QUISPE, Y. C. y CHÁVEZ, C. M. F. 2017. Evaluación del efecto que tienen los

- microorganismos eficientes (EM), en el cultivo de pepinillo (*Cucumis sativus* L.), municipio de Achocalla. *Apthapi*, 3 (3): 652-666.
- SANTOYO, G., MORENO-HAGELSIEB, G., OROZCO-MOSQUEDA, CM., GLICK, B. R. 2016. Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiological research*, 183: 92-99.
- SATYAPRAKASH, M., NIKITHA, T., REDDI, E. U. B., *et al.* 2017. Phosphorous and phosphate solubilising bacteria and their role in plant nutrition. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 6 (4): 2133-2144.
- SCHLATTER, D., KINKEL, L., THOMASHOW, L., *et al.* 2017. Disease suppressive soils: new insights from the soil microbiome. *Phytopathology*, 107 (11): 1284-1297.
- SINDHU, SS., PARMAR, P., PHOUR, M., SEHRAWAT, A. 2016. Potassium-Solubilizing Microorganisms (KSMs) and Its Effect on Plant Growth Improvement. In: MEENA, V., MAURYA, B., VERMA, J., MEENA, R. (eds) *Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture*. Springer, New Delhi .
- SOTO, J. A., CÁRDENAS, J. A., GARCÍA, J. P. 2017. Inoculation of substrate with lactic acid bacteria for the development of Moringa oleifera Lam plantlets. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51 (2).
- SOUZA, R. D., AMBROSINI, A., PASSAGLIA, L. M. 2015. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*, 38 (4): 401-419.
- SU, P., TAN, X., LI, C., *et al.* 2017. Photosynthetic bacterium *Rhodospseudomonas palustris* GJ-22 induces systemic resistance against viruses. *Microbial Biotechnology*, 10 (3): 612-624.
- TOALOMBO, R. 2012. Evaluación de microorganismos eficientes autóctonos aplicados en el cultivo de cebolla blanca (*Allium fistulosum*). Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- TORRES, A., QUIPUZCO, L., MEZA, V. 2015. Influencia de la fermentación láctica (abono bokashi) en el pre-compost para la producción de biogás y biol en biodigestores tipo Batch. In: *Anales Científicos*, 76 (2): 269-274.
- VACHERON, J., DESBROSSES, G., BOUFFAUD, M. L., *et al.* 2013. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. *Front. Plant Sci.*, 4: 356.
- VILLEGAS-CORNELIO, V. M. y LAINES, J.R. 2017. Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8 (2): 393-406.
- VILLEGAS-ESPINOZA, JA., REYES-PÉREZ, JJ., NIETO-GARIBAY, A., *et al.* 2018. Bioestimulante Liplant®: su efecto en *Solanum lycopersicum* (L.) cultivado en suelos ligeramente salinos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9 (SPE20): 4137-4147.
- VURUKONDA, S. S. K. P., GIOVANARDI, D., STEFANI, E. 2018. Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. *International Journal of Molecular Sciences*, 19 (4): 952.
- YANG, Z., JIANG, Z., HSE, C. Y., LIU, R. 2017. Assessing the impact of wood decay fungi on the modulus of elasticity of slash pine (*Pinus elliottii*) by stress wave non-destructive testing. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 117: 123-127.