

## Potencialidades para la agricultura y la preservación del medio ambiente del Abono Orgánico Líquido Aeróbico (AOLA)

*Agricultural and environment preservation potential of the Aerobic Liquid Organic Manure (AOLA)*

Eduardo Chilon Camacho<sup>1\*</sup> y Jhoselyne Chilon Molina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Mayor de San Andrés, Docente Facultad de Agronomía.

<sup>2</sup>Universidad Mayor de San Andrés, Universitaria Facultad de Medicina; Investigadora BIORECSA

\*Autor de correspondencia: Héroes del Acre N° 1850, La Paz Bolivia. E-mail: eduardochilon@gmail.com

### Resumen

Los abonos orgánicos líquidos, se elaboran con técnicas que no son nuevas y se practican en varios lugares del mundo, sin embargo su uso como abonos foliares se ha difundido en muchos países sin una base científica que describa su modo de acción y demuestre su efectividad. En el caso de la zona andina de Bolivia, el biol anaeróbico presenta cuestiones que no están definitivamente resueltas y que tienen que ver con su proceso de descomposición anaeróbica, tiempo de elaboración, su calidad y su uso, y los aportes que contribuyen a la solución, están relacionados con la obtención de un abono orgánico líquido con presencia de oxígeno. En este contexto se ensayó un método aeróbico con los sustratos pre-humificados compost, humus de lombriz y turba, como resultado se tiene que el abono orgánico líquido aeróbico elaborado con sustrato compost (AOLA C<sub>1</sub>), presentó un contenido de nitrógeno disponible de 30 mg N-NO<sub>3</sub>/litro, superando al abono orgánico líquido aeróbico elaborado con sustrato humus de lombriz (AOLA-HL<sub>1</sub>) que presentó 4,4 N-NO<sub>3</sub>/litro. En fósforo, el AOLA C<sub>1</sub> presentó 13 mg P-PO<sub>4</sub>/litro, siendo ligeramente menor que AOLA-HL<sub>1</sub> que tuvo 16 mg P-PO<sub>4</sub>/litro. Respecto al potasio el AOLA C<sub>1</sub> presentó 439 mg K/litro, superando ampliamente al AOLA-HL<sub>1</sub> que presentó 54 mg K/litro AOLA; el tratamiento AOLA con sustrato turba se descartó por su turbidez y ausencia de actividad biológica. En base a los datos de análisis de laboratorio y la evaluación cromatográfica, se estableció que el AOLA C<sub>1</sub>, es un abono orgánico líquido aeróbico de buena calidad y que el AOLA-HL<sub>1</sub>, es un abono orgánico líquido aeróbico de calidad moderada. La evaluación del efecto del abonamiento foliar de estos dos abonos líquidos aeróbicos se realizó en un experimento de macetas, ensayando tres dosis 10%, 20% y 30%, sobre las hortalizas acelga, espinaca, perejil y lechuga. No se encontró significación estadística pero si numérica, las tres primeras plantas presentaron un mejor efecto de AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) en la proporción 20%, con un mejor prendimiento por planta, mayor altura de planta y mayor biomasa foliar; la lechuga respondió mejor a la proporción 10%, posiblemente por ser una planta de corto período vegetativo y exigente en nutrientes disponibles en un medio más diluido.

**Palabras claves:** Abonos orgánicos líquido, biofermentos, Compost, abonamiento orgánico, producción agroecológica y cambio climático.

### Abstract

Liquid organic fertilizers are made with techniques that are not new and are practiced in various parts of the world, but its use as foliar fertilizers has spread to many countries without a scientific basis to describe their mode of action and demonstrate their effectiveness. In the case of the Andean region of Bolivia, an aerobic biological presents issues that are not finally settled and that have to do with the process of anaerobic digestion, processing time, quality and use, and inputs that contribute to the solution, they are related to obtaining a liquid organic fertilizer with the presence of oxygen. In this context an aerobic method with compost, humus and peat pre-humified substrates, as a result you have the liquid manure aerobic made with substrate compost (AOLA C<sub>1</sub>), presented a nitrogen content available assayed 30 mg N-NO<sub>3</sub> / liter, exceeding the aerobic liquid organic fertilizer made from worm castings substrate (AOLA-HL<sub>1</sub>) presented 4.4 N-NO<sub>3</sub> / liter. In phosphorus, AOLA filed C<sub>1</sub> P-PO<sub>4</sub> 13 mg / liter, being slightly smaller than AOLA-HL<sub>1</sub> that took 16 mg PO<sub>4</sub>-P / liter. AOLA potassium C<sub>1</sub> showed the 439 mg K / liter, exceeding the AOLA-HL<sub>1</sub> presented 54 mg K / liter AOLA; AOLA treating the peat substrate was discarded by turbidity and lack

of biological activity. Based on laboratory data analysis and chromatographic evaluation established that the AOLA C1, is a liquid organic fertilizer aerobic quality and the AOLA-HL1 is a liquid organic fertilizer aerobic moderate quality. The evaluation of the effect of foliar fertilization of these two liquid fertilizers aerobics performed in a pot experiment, three doses tested 10%, 20% and 30%, on vegetable chard, spinach, parsley and lettuce. No statistical significance was found but if digital, the first three plants showed a better effect of AOLA C1 (compost substrate) in the ratio 20%, with a better engraftment per plant, increased plant height and higher leaf biomass; Lettuce best responded to a ratio of 10%, possibly because it is a short vegetative plant available nutrients and demanding period in a diluted medium.

**Key words:** organic liquid fertilizers bioferments, Compost, organic composting, ecological production and climate change.

## ANTECEDENTES

La obtención de abonos orgánicos líquidos, no es una técnica nueva y se práctica en muchos lugares del mundo, sin embargo el uso de los llamados abonos líquidos fermentados, como abonos foliares se ha difundido en diversos países sin una base científica que describa su modo de acción y demuestre su efectividad. En el caso de la zona andina de Bolivia el uso del llamado biol anaeróbico, presenta cuestiones que no están definitivamente resueltas y que tienen que ver con su proceso de descomposición anaeróbica, su tiempo de elaboración, su calidad y su uso, y los aportes que contribuyen a la solución, están relacionados con un método aeróbico de obtención de un abono orgánico líquido con presencia de oxígeno, que posibilite la multiplicación de los microorganismos aeróbicos benéficos a partir de sustratos orgánicos descompuestos y la generación de sustancias líquidas orgánicas nutritivas, que favorezcan a los cultivos alimenticios y a la recuperación de la fertilidad de los suelos agrícolas.

La presente investigación toma como fuentes de estudio, los aportes de los métodos convencionales de abonos orgánicos líquidos, que desde hace tiempo atrás revelan su carácter esencialmente agrícola y ambiental, que pone de manifiesto la importancia que tiene el abonamiento orgánico en la reproducción de la vida y en la soberanía alimentaria, y denuncia su constante preocupación por el cuidado y alimento de los suelos agrícolas y la obtención de buenas cosechas, frente a los riegos del cambio climático. El objetivo de la primera fase de la investigación, fue estudiar y seleccionar los mejores sustratos orgánicos prehumificados en la obtención de un abono orgánico líquido aeróbico (AOLA), también realizar el ajuste y validación del método de Aolificación y oxigenación, y sentar las bases para las siguientes fases de la investigación.

## ESTADO DEL ARTE

El desarrollo y continuidad del proyecto de investigación-acción de abonos orgánicos, y del compostaje altoandino y sus variantes incluyendo el enriquecimiento con harina de rocas y los abonos orgánicos líquidos aeróbicos (AOLA), involucrando a los productores de las comunidades campesinas, y a los recursos humanos en formación de las Universidades Agrarias de Bolivia, ha posibilitado desarrollar y ampliar las definiciones relacionadas con el abonamiento orgánico del suelo. (Chilon, Eduardo. 1997, 2010, 2011, 2013, 2014; Ramírez, Romer. 2012; Chilon, Jhoselyne. 2014; Toro, Félix. 2014.)

Alimento orgánico del suelo: La importancia de la materia orgánica como alimento y abono orgánico del suelo, data desde épocas precolombinas, por lo tanto su uso no es reciente, comprobándose su efecto en la mejora, formación y estabilización de los agregados del suelo, en el incremento de la capacidad retentiva de humedad, en el suministro de energía y nutrientes a los microorganismos, en los procesos edafogénicos, en la protección del suelo contra la erosión y en mayores cosechas y mejora en calidad de los alimentos.

El Compost: Es un abono orgánico prehumificado, que resulta de la descomposición y transformación biológica aeróbica de residuos orgánicos de origen vegetal (restos vegetales, rastrojos de cosechas y malezas) y residuos de origen animal (estiércol fresco y/o almacenado), la aplicación de ceniza como regulador del pH y agua, bajo condiciones controladas y con un manejo apropiado, con una provisión de humedad y volteos adecuados para facilitar el trabajo de los microorganismos aeróbicos en la descomposición. El producto final es un compost rico en nutrientes que son asimilados paulatinamente por las plantas, lo que garantiza buenas cosechas, además de mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Compostaje altoandino: Es una técnica de elaboración de compost, en ambientes altoandinos cercanos a los 4.000 metros sobre nivel del mar,

con la utilización de materiales locales rastrojos de cosecha, paja de cereales, estiércol de bovinos, ovinos y camélidos, ceniza y la aplicación de activadores biológicos locales como fermentos de quinua, tarwi y maíz, yogurt, leche y levadura, con el manejo adecuado de la humedad, aireación, temperatura y el pH, con la obtención del compost final en un tiempo de 1.5 a 2 meses.

**AOLA:** Es un abono orgánico líquido aeróbico, que se obtiene por la transformación microbial con presencia de oxígeno, de sustratos pre-humificados caso del compost, humus, estiércol fermentado y otros abonos orgánicos sólidos; el proceso del metabolismo de sustancias orgánicas nutritivas y sanitarias, con la intervención y reproducción de bacterias y otros organismos en un medio aeróbico, favorecen la producción de cultivos, la fertilidad de los suelos y la biorecuperación de suelos contaminados.

**Aolificación:** Se denomina así al proceso orgánico microbiológico, de obtención de abonos orgánicos líquidos bajo condiciones aeróbicas (en presencia de oxígeno), donde las bacterias y otros microorganismos realizan la biosíntesis de compuestos, ácidos orgánicos y enzimas a partir de las sustancias presentes en sustratos pre-humificados caso del compost, humus de lombriz, estiércol descompuesto.

**Potencialidad del AOLA:** El abono AOLA como abono orgánico líquido aeróbico, por sus características físicas, químicas y biológicas presenta un alto potencial para la producción agrícola, en forma de abono foliar, o riego-orgánico, también como una fuente de sanidad vegetal, y como reforzador orgánico en la biorecuperación de suelos contaminados<sup>1</sup>.

**Abonos Líquidos Fermentados (ALF):** Son abonos líquidos que se origina a partir de la fermentación anaeróbica de materiales orgánicos como estiércol, plantas verdes, frutos, sales minerales y sustancias activadoras. Comúnmente se les llama biofermentos o biofertilizantes; popularmente se cree que los mismos contienen sustancias que favorecen el crecimiento vegetal a la vez que contribuyen a mejorar la vida microbiana del suelo (Restrepo, 2001).

## REVISION BIBLIOGRÁFICA

### Biosíntesis de sustancias orgánicas

Las sustancias intermedias y productos generados por la actividad microbiológica, en las diversas

etapas del proceso de descomposición de la materia orgánica, y sus efectos sobre el suelo y la planta, son reportado por varios investigadores (Primavesi, A. 1984; Alexander, M. 1994; Halden, R. et al 1999; Boldu, F. et al 2002; Torrez, D. 2011; Martínez, N. et al. 2011; Chilon, E. 2011, 2014)

La biosíntesis de sustancias enzimáticas, hormonas, vitaminas, ácidos orgánicos, fenoles y alcoholes sintetizadas por numerosos microorganismos, algunos todavía desconocidos, que favorecen la transformación de sustancias orgánicas, a la fijación biológica de nutrientes como nitrógeno y azufre; la síntesis de ácido indol acético y triptófano que son hormonas que favorecen la división celular de las raíces y el crecimiento de las plantas.

La biosíntesis de ácidos orgánicos y enzimas que desintegran compuestos orgánicos y complejos minerales, liberando nutrientes como K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Bo, volviéndolos disponibles para las plantas; la enzima fosfatasa solubiliza el fósforo inorgánico, y es sintetizada por bacterias y hongos *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Penicillium*, *Sclerotium*, *Rusarium*, *Aspergillus*. Otras sustancias intermedias que oxidan el azufre, son generadas por bacterias del género *Thiobacillusferrooxidans*.

La biosíntesis de ácidos húmicos, ácidos fúvicos y ácidos himatomelánicos que favorecen la formación de coloides orgánicos y complejos arcillo húmicos, mejorando e incrementando el almacenamiento de agua del suelo, una mayor capacidad de intercambio catiónico y una mayor resistencia a los cambios bruscos de pH.

La biosíntesis de enzimas específicas por la bacteria *Bacillus subtilis*, que posibilitan un "encalado biológico", en suelos muy ácidos disminuyendo los riesgos de toxicidad del Al. También la recuperación de suelos muy alcalinos y suelos salino-sódicos, con sustancias que sintetizan las bacterias halófilas de agua de mar, *Vibrio alginolyticus* y *Vibrio metschnikovii*, que experimentalmente están dando buenos resultados.

Muchas sustancias utilizadas como medicamentos y que salvaron a la humanidad de catástrofes sanitarias, fueron obtenidas de la materia orgánica en descomposición, el antibiótico estreptomina con que se controló la tuberculosis, fue descubierta y aislada de la materia orgánica en putrefacción, por Waksman (Premio Nobel 1952).

La biosíntesis de sustancias, ácidos y enzimas con capacidad para romper anillos bencénicos, y desintegrar compuestos complejos alifáticos y aromáticos de hidrocarburos, posibilitando la biorrecuperación de suelos contaminados con

<sup>1</sup> En la actualidad se viene realizando trabajos de investigación y estudios de tesis, sobre el uso y efecto del AOLA en la producción de cultivos, y sobre las propiedades del suelo, en condiciones de campo.

hidrocarburos y plaguicidas; experimentalmente se ha observado que las enzimas sintetizadas por las bacterias del género *Pseudomonas* degradan al ácido 3-phenoxybenzoico (Halden, 1999).

### **Proceso de digestión anaeróbica de abonos orgánicos líquidos**

El proceso de digestión anaeróbica está conformado por una serie de reacciones bioquímicas donde participan una gran variedad de microorganismos. Estos microorganismos cumplen la función de oxidar a una parte del carbono formando anhídrido carbónico, mientras la otra parte la reducen para formar metano (Noyola, 2005)

El método básico de la digestión anaeróbica en un biodigestor consiste en alimentar al digestor con materiales orgánicos con un alto contenido de humedad y dejarlo reaccionar durante un período de tiempo, a lo largo del cual en condiciones herméticas y químicamente favorables, se lleva a cabo el proceso bioquímico. A través de la acción bacteriana se descompone la materia orgánica hasta producir grandes burbujas que fuerzan su salida a la superficie donde se acumula el gas (Verástegui, 2010).

### **Abonos Líquidos Fermentados Anaeróbicos (ALF)**

Los abonos líquidos fermentados se originan a partir de la fermentación anaeróbica de materiales orgánicos como estiércol, plantas verdes, frutos, sales minerales y sustancias activadoras. Comúnmente se les llama biol, biofermentos o biofertilizantes; popularmente se cree que los mismos contienen sustancias que favorecen el crecimiento vegetal a la vez que contribuyen a mejorar la vida microbiana del suelo (Restrepo, 2001).

### **Proceso de digestión y biosíntesis aeróbica de abonos orgánicos líquidos**

La obtención de abonos orgánicos líquidos bajo condiciones aeróbicas, con presencia de oxígeno, es posible con la participación de bacterias aeróbicas y otros microorganismos que realizan la biosíntesis de compuestos, ácidos orgánicos y enzimas a partir de las sustancias presentes en sustratos pre-humificados caso del compost, humus de lombriz y estiércol bien descompuesto (Chilon, E. 2014). Se conoce que mediante el metabolismo microbial se desintegran los compuestos orgánicos y complejos minerales, liberando nutrientes y volviéndolos disponibles para las plantas; también se lleva a cabo la biosíntesis de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y otras sustancias que favorecen el crecimiento de

los cultivos y la recuperación de la fertilidad de los suelos agrícolas (Primavesi, A. 1984; Alexander, M. 1994; Chilon, E. 2011, 2013).

### **METODOLOGIA**

La presente investigación se realizó el año 2014, en el Centro Experimental Cota Cota de la Facultad de Agronomía-UMSA, ubicado a 3293 metros s.n.m., en las coordenadas GPS 8171619 – 599796, del Municipio de La Paz, Provincia Murillo, Departamento de La Paz-Bolivia. La zona experimental se caracteriza por presentar las menores temperaturas durante el período frío (abril-junio 2014), con promedios anuales de 5°C y temperaturas mínimas de hasta -1°C y también heladas estacionales; las mayores temperaturas ocurren en el período cálido (octubre-diciembre 2014) con un promedio anual de 18°C y temperaturas máximas de hasta 26°C.

La metodología utilizada en la presente investigación, integra el paradigma cuantitativo y cualitativo, la primera toma en cuenta los fenómenos observables, susceptibles de medición, análisis y control experimental de los abonos orgánicos líquidos aeróbicos, caso de la temperatura y las propiedades químicas; la segunda es de tipo explicativa y descriptiva con sus respectivas categorías de calificación del olor, color y cromatografía (adaptada de Pfeiffer) del AOLA, lo que permite realizar comparaciones y contrastes del estado y calidad de los abonos orgánicos.

Como materiales se utilizaron los sustratos orgánicos, recipientes transparentes con un volumen de 30 litros de agua, bomba de oxigenación y mallas finas de nylon con las que fabricaron las bolsas-filtro de los sustratos orgánicos, que sumergidas a una profundidad media de los recipientes con agua permiten la filtración de las sustancias orgánicas solubles y de los microorganismos, las bolsas-filtro fueron aseguradas con alambre en el borde de los recipientes.

Como sustratos orgánicos se utilizaron Compost, humus de lombriz y turba; el compost proviene del programa de Compostaje altoandino de Bolivia, y fue elaborado con estiércol, restos vegetales, ceniza, activador fermento de quinua, los datos de laboratorio indican que presenta 0,77% Nitrógeno total, pH.8,3, Conductividad eléctrica 4,40 mS/cm.

El sustrato humus de lombriz, procede del lombricario de área de Fertilidad de Suelos de la Carrera de Agronomía de la UMSA, presentó 3,1% Nitrógeno total, pH: 8,0, Conductividad

eléctrica 13 uS/cm. El sustrato turba, se obtuvo de la zona altoandina de La Paz, presentando 4,6% Nitrógeno total, pH: 8,5, conductividad eléctrica 7,2 ms/cm (Análisis Laboratorio de Calidad Ambiental IE-UMSA).

El mayor valor de nitrógeno para la turba obtenido en laboratorio genera controversias porque no se trata de un abono orgánico y no presenta actividad biológica, más bien se lo considera un acondicionador del suelo. Como una alternativa y apoyo para dilucidar la calidad y actividad biológica de los abonos orgánicos se cuenta con la

cromatografía adaptada de Pfeiffer, aplicada a los abonos orgánicos.

Respecto a los parámetros de evaluación se controló la temperatura de la suspensión y se cuidó que hubiera un flujo continuo de oxígeno durante todo el proceso de Aolificación, también se tomó en cuenta el tiempo obtención del AOLA, y se evaluó las características físicas, químicas y biológicas, mediante análisis de laboratorio y la evaluación cromatográfica de los productos finales de cada tratamiento.

**Cuadro 1.** Tratamientos de abonos Orgánicos Líquidos Aeróbicos (AOLAs)

| LUGAR Y MODALIDAD DE ABONAMIENTO   | TRATAMIENTOS   | DESCRIPCION DE TRATAMIENTOS  |
|--|--|--|
| Lugar:<br>Cota-Cota<br>La Paz-Bolivia<br>Altitud: 3293 msnm<br>Coordenadas GPS:<br>8171619 - 599796<br><br>Modalidad de Abono orgánico líquido:<br>Abono orgánico líquido procesado bajo condiciones aeróbicas | Tratamiento T <sub>1</sub><br>AOLA C <sub>1</sub> (sustrato compost)           | T1 AOLA C <sub>1</sub><br>Sustrato Compost, tamizado y colocado en bolsas filtro dentro de medio líquido oxigenado           |
|  | Tratamiento T <sub>2</sub><br>AOLA-HL <sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz) | T2 AOLA-HL <sub>1</sub><br>Sustrato Humus de lombriz, tamizado y colocado en bolsas filtro dentro de medio líquido oxigenado |
|  | Tratamiento T <sub>3</sub><br>AOLA-TUR (sustrato turba)                        | T3 AOLA-TUR<br>Sustrato turba, tamizado y colocado en bolsas filtro dentro de medio líquido oxigenado                        |

## RESULTADOS

Los resultados de la Aolificación, o proceso microbiológico aeróbico (con presencia de oxígeno) de biotransformación de los sustratos compost y humus de lombriz, permitió la obtención del "Abono orgánico líquido aeróbico-AOLA", cuyas características y propiedades se presentan en el cuadro 1. Como testigo se utilizó el sustrato turba, que en el proceso presentó una turbidez excesiva y ausencia de actividad microbiológica, siendo un sustrato inadecuado por lo que fue descartado.

La influencia ambiental de los períodos frío y cálido del año, no fue muy notoria sobre los tratamientos ensayados, posiblemente porque el experimento se realizó dentro de un ambiente protegido; y el tiempo de duración de la aolificación, para los tratamientos estuvo dentro de los rangos aceptables, estos resultados están relacionados con el manejo estandarizado y cuidadoso del proceso de oxigenación. La duración de la aolificación del tratamiento AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) fue de 35 días evidenciándose una mayor efectividad de sus microorganismos aeróbicos, el tratamiento

AOLA-HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz) presentó 40 días con un comportamiento microbiológico similar, sin embargo el tratamiento testigo AOLA-TUR (sustrato turba) luego de 70 días no presentó cambios con una ausencia notoria de actividad microbiológica por lo que fue descartado, evidenciando que se trata de un material inerte producto de la acumulación y una descomposición irregular de materia orgánica bajo condiciones ambientales drásticas y limitantes de una descomposición normal, caso de exceso de humedad y frío excesivo.

En el cuadro 1, se presenta los resultados del análisis de laboratorio, observándose que el contenido de nitrógeno del tratamiento AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost), en forma de nitrógeno-nítrico o nitrógeno disponible para la planta es de 30 mg N-NO<sub>3</sub>/litro de AOLA, superando ampliamente al AOLA-HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz) que presenta 4,4 N-NO<sub>3</sub>/litro de AOLA. El mayor contenido de nitrógeno disponible del tratamiento AOLA C<sub>1</sub>, (sustrato Compost), se debió a una

mayor presencia de unidades de formación de colonias de microorganismos (UFC) y a la mayor efectividad metabólica de las bacterias aeróbicas presentes en este sustrato orgánico.

El contenido de fósforo del tratamiento AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) fue de 13 mg P-PO<sub>4</sub>/litro, siendo ligeramente menor que el contenido del tratamiento AOLA-HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz) que presentó 16 mg P-PO<sub>4</sub>/litro, en ambos casos se evidencia la eficacia del metabolismo microbial, y su efecto en la liberación y la transformación de fosfatos.

Sobre el contenido de potasio el tratamiento AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) presentó 439 mg K/litro AOLA, superando ampliamente al tratamiento AOLA-HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz) que tiene 54 mg K/litro AOLA; el mayor contenido de potasio por parte del abono líquido AOLA C<sub>1</sub>, se debería a que el compost utilizado como sustrato, en su elaboración con la metodología del compostaje altoandino, utiliza ceniza como regulador del pH, sustancia que es bastante rica en potasio (Chilon, E, 1977; 2013); la alcalinidad total y la acidez presenta valores con diferencias poco notorias.

Al respecto Galindo, A. et al (2007) en una evaluación del efecto de la fermentación anaeróbica sobre la disponibilidad de nutrientes de abonos orgánicos líquidos, encontró que la concentración del potasio y el fósforo aumentaron en 18% y 57%, mientras que el calcio disminuyó en 22%.

El tratamiento AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) presentó un pH: 7,96 y el tratamiento AOLA-HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz) un pH: 7,82 respectivamente, estos valores se califican como moderadamente alcalinos. Esta reacción alcalina de los abonos líquidos aeróbicos se diferencia de los abonos líquidos anaeróbicos que generalmente son ácidos; sobre ello Uribe, L. (2003) señala que en los biofermentos (aneróbicos), durante el proceso de fermentación ocurre una caída drástica del pH y así junto con la escasa disponibilidad de oxígeno, se crean condiciones sólo para la flora microbiana capaz de crecer en un medio anaeróbico.

La Conductividad eléctrica indica que los abonos orgánicos líquidos aeróbicos son moderadamente salinos, el tratamiento AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) presenta una CE: 3,68 mS/cm y el tratamiento AOLA-HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz) una CE: 3,32 mS/cm. Los valores de pH y Conductividad eléctrica de ligera a moderadamente altos, que presentan los tratamientos AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) y tratamiento AOLA-HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz), se pueden atenuar, si se utilizan en las proporciones de 10%, 20% y 30% de AOLA, como abono foliar en la producción de cultivos o como riego-orgánico en aplicación directa a los suelos agrícolas.

**Cuadro 2.** Características de dos tipos de Abono orgánico líquido aeróbico (AOLA)

| PARAMETRO                    | METODO   | UNIDADES                | TIPO DE ABONO ORGANICO LIQUIDO AEROBICO (AOLA) |  |
|------------------------------|--|-------------------------|--|--|
|                              |  |                         | AOLA-C <sub>1</sub><br>(Sustrato Compost)      | AOLA-HL <sub>1</sub><br>(Sustrato Humus Lombriz) |
| Nitratos                     | SM 4500-NO <sub>3</sub> -B                       | mg N-NO <sub>3</sub> /l | 30   | 4,4  |
| Fósforo Total                | EPA 365,2  | mg P-PO <sub>4</sub> /l | 13   | 16   |
| Potasio                      | EPA 258,1  | mg/l                    | 439  | 54   |
| Alcalinidad total            | EPA 310.1  | mg CaCO <sub>3</sub> /l | 62   | 40   |
| Acidez                       | EPA 305.1  | mg CaCO <sub>3</sub> /l | < 2  | < 2  |
| Reacción o pH *              | Potenciometría<br>1:5 (H <sub>2</sub> O dest.)   | Esc. pH                 | 7,96   | 7,82   |
| Conductividad *<br>eléctrica | Conductivimetría<br>1:5 (H <sub>2</sub> O dest.) | mS/cm                   | 3,68   | 3,32   |

FUENTE: Propia, en base a datos Laboratorio de Calidad Ambiental, Instituto Ecología, UMSA (2014)

(\*) Laboratorio de Biofertilidad, Cátedra Fertilidad de suelos, Facultad de Agronomía, UMSA (2014)

Sobre los resultados de los análisis químicos de laboratorio, se debe tomar en cuenta que la caracterización del AOLA y de la materia orgánica del suelo, es solo parcial porque se considera a los abonos orgánicos y a la materia orgánica del suelo, como algo inerte y solo como una fuente de nutrientes inorgánicos, similar a un fertilizante

químico; todo lo contrario el AOLA y los abonos orgánicos son un “ente vivo” igual que el suelo, y gracias a los microorganismos evoluciona, se desarrolla, transforma, madura y es útil para los cultivos y el suelo. Por ello, ante las limitaciones del análisis químico convencional de laboratorio, la cromatografía de Pfeiffer, resulta una técnica

que nos acerca un poco más a la realidad, porque permite el seguimiento de la evolución del AOLA, así como estimar sus diferentes componentes orgánicos y la formación de diferentes sustancias intermedias.

La evaluación de la calidad de los abonos orgánicos líquidos aeróbicos, se realizó con la técnica cromatográfica adaptada de Pfeiffer (Chilon, J. 2014); la interpretación de los cromatogramas de los tratamientos AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) y AOLA-HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz), estableció que ambos tratamientos presenta una zona central de color crema claro, señal de la presencia de una población variada de microorganismos y de una alta actividad microbiológica, lo que indica buenas condiciones de los abonos foliares. La zona interna o mineral verificó una buena interacción de los microorganismos con la zona central y la zona intermedia u orgánica del cromatograma, observándose en el tratamiento AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) un límite difuso ideal entre la zona interna (mineral) y la zona intermedia (orgánica), indicador de una alta proporción de nutrientes disponibles principalmente nitrógeno, fósforo y potasio, sin embargo el tratamiento AOLA-HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz) presentó un límite gradual lo que indica menor disponibilidad de nutrientes nitrogenados.

La zona intermedia de los cromatogramas presentó un espesor medio y una coloración de tonalidades marrón claro, además en su superficie se observaron formas de plumas radiales estrechas, lo que indica buenas condiciones del proceso de descomposición orgánica, con un límite gradual de separación con la zona externa; la parte final o externa del cromatograma del AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) presentó una coloración marrón claro, con terminaciones en forma de explosión y con manchas enzimáticas que corresponden a una terminación ideal, señal de un buen metabolismo microbiano y un buen contenido de sustancias y enzimas orgánicas, ácidos húmicos, fúlvicos y himatomelánicos, así como también nutriente disponible para las plantas, que no presentó o solo en forma muy limitada el AOLA HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz).

El cromatogramas del tratamiento testigo AOLA-TUR (sustrato turba) presentó una zona central o núcleo, de coloración marrón claro, lo que verifica una escasa a nula actividad de microorganismos, la separación con la zona interna es difusa lo que indica predominancia de la zona mineral, que corresponde a la presencia de nutrientes minerales; se observa una separación abrupta entre la zona intermedia y la zona externa lo que indica la ausencia de materia orgánica activa. La zona externa presenta una coloración marrón oscura, lo

que verifica una mala calidad del abono líquido, por lo que se procedió a descartarlo.

Tomando en cuenta los datos del análisis de laboratorio y la evaluación cromatográfica, se establece que el AOLA C<sub>1</sub> (con sustrato compost<sup>2</sup>), es un abono orgánico líquido aeróbico de buena calidad y que el AOLA-HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz) es un abono orgánico líquido aeróbico de calidad moderada.

La evaluación del efecto del abonamiento foliar, de los tratamientos AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) y AOLA HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz), sobre las hortalizas de hoja, acelga, espinaca, perejil y lechuga se realizó en macetas experimentales, ensayándose tres dosis 10%, 20% y 30%; los resultados no presentaron significación estadística pero sí diferencias numéricas, observándose que el AOLA C<sub>1</sub> superó ligeramente al AOLA HL<sub>1</sub>; con la dosis 20% las tres primeras plantas presentaron un mejor prendimiento, mayor altura de planta y mayor biomasa foliar; sin embargo la lechuga respondió mejor a la proporción 10%, posiblemente por ser una planta de corto período vegetativo y exigente en nutrientes disponibles en un medio más diluido. Al respecto Galindo, A. et al (2007), en un estudio de determinación de la composición de nutrientes del tejido foliar de plántulas de papaya (*Carica papaya* L.) evaluando el crecimiento de las plantas, no encontró respuestas coherentes del efecto de abonos líquidos con y sin fermentar

La evaluación preliminar del efecto de AOLA sobre la recuperación y mejora de la fertilidad del suelo, se realizó mediante un experimento en macetas, aplicado en forma de riego-orgánico, AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) en las proporciones de 10% y 20%, sin embargo los efectos sobre el pH y la conductividad eléctrica de los suelos no fueron significativas, posiblemente por el corto período de evaluación. Dando continuidad a la investigación se realizan trabajos de investigación y estudios de tesis, sobre el efecto de AOLA en condiciones de campo, en la producción de hortalizas en el altiplano (Patacamaya), en la recuperación de plantaciones de cocales afectados por el uso de agroquímicos en los Yungas (La Asunta), y en el control de enfermedades que afectan al café y cacao en los Yungas. Mención especial merecen los primeros resultados positivos del efecto de AOLA en la biorecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, como fuente de riego y complementación del efecto del compost altoandino, en una investigación que

<sup>2</sup> El compost resultó un excelente sustrato orgánico para la obtención del abono orgánico líquido aeróbico AOLA. Ver artículos sobre compostaje altoandino [www.ibepa.com](http://www.ibepa.com)

realiza BIORECSA-Bolivia (Chilon, Jhoselyne. 2014).

## CONCLUSIONES

El abono orgánico líquido aeróbico AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost), presentó 30 mg N-NO<sub>3</sub>/litro, superando ampliamente al AOLA-HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz) que sólo presentó 4,4 N-NO<sub>3</sub>/litro de AOLA, lo que se debería a la mayor efectividad metabólica de las bacterias aeróbicas presentes en el sustrato compost.

El contenido de fósforo del tratamiento AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) fue de 13 mg P-PO<sub>4</sub>/litro, siendo ligeramente menor que el contenido del tratamiento AOLA-HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz) que tiene 16 mg P-PO<sub>4</sub>/litro, en ambos casos se evidenció la eficacia del metabolismo microbial en la liberación y la transformación de los fosfatos.

El tratamiento AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) presentó 439 mg K/litro, superando ampliamente al tratamiento AOLA-HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz) que tiene 54 mg K/litro; el mayor contenido de potasio está relacionado con las características del compost que utiliza como regulador del pH a la ceniza que tiene bastante potasio.

El tratamiento AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) presentó un pH: 7,96 y el tratamiento AOLA-HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz) un pH: 7,82, siendo moderadamente alcalinos, esta reacción alcalina de los abonos líquidos aeróbicos se diferencia de los abonos líquidos anaeróbicos que generalmente son ácidos. El tratamiento AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) presentó una CE: 3,68 mS/cm y el tratamiento AOLA-HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz) una CE: 3,32 mS/cm, sin problemas de salinidad.

La evaluación cromatográfica, y los análisis de laboratorio indicaron que el AOLA C<sub>1</sub> (con sustrato compost), es un abono orgánico líquido aeróbico de buena calidad y que el AOLA-HL<sub>1</sub> (sustrato humus de lombriz) es un abono orgánico líquido aeróbico de calidad moderada.

La evaluación de los efectos de AOLA C<sub>1</sub> y AOLA-HL<sub>1</sub> en tres dosis 10%, 20% y 30%, en los cultivo de hortalizas de hoja, acelga, espinaca, perejil y lechuga en macetas experimentales; no presentaron significación estadística pero si diferencias numéricas, observándose un mejor comportamiento de AOLA C<sub>1</sub> (sustrato compost) en la proporción 20%, similar tendencia se observó sobre la fertilidad del suelo.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con las otras fases de la investigación, realizando estudios sobre el uso y

efecto del AOLA en condiciones de campo, en la producción de hortalizas en carpas solares en el altiplano, en la recuperación de plantaciones de cocales afectados por el uso de agroquímicos en los Yungas, y en el control de enfermedades y plagas que afectan a los cultivos, y en la biorecuperación de suelos agrícolas contaminados.

Se recomienda el estudio de las sustancias biosintetizadas y de los microorganismos presentes en el abono orgánico líquido aeróbico.

## BIBLIOGRAFIA

- Alexander, Martín (1994) "Introducción a la Microbiología del Suelo". 2da. Edición, Libros y Editoriales, S.A. Progreso 202, Col. Escandón, México D.F.
- Chilon, Eduardo. (2013) "El compost altoandino como sustento de la fertilidad del suelo frente al cambio climático". Reporte de investigación publicado *Cienciagro* 2(4): 456-468 Ibepa. www.ibepa.org
- Chilon, Eduardo (2011) "Compostaje altoandino, seguridad alimentaria y cambio climático", reporte investigación publicado en *CienciAgro* Vol.2, No. 2(2011) 261-268, Julio 2011. www.ibepa.org
- Chilon, Eduardo. (2015) "Biofertilidad y Cromatografía de Suelos Agrícolas". Curso de Postgrado en Agroecología y Producción Agrícola. Universidad Andina Simón Bolívar, CAN, La Paz-Bolivia.
- Chilon, Jhoselyne. (2014) "Determinación cromatográfica, de la actividad microbiana del compost altoandino CA-TB2g y de suelos contaminados con hidrocarburos", informe de investigación, BIORECSA, La Paz-Bolivia.
- Galindo, A; Jerónimo, C. (2007) "Los Abonos Líquidos Fermentados y su Efectividad en Plántulas de Papaya (*Carica papaya* L.)" Universidad EARTH, Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica.
- Noyola, A. (1997) "Tratamientos anaeróbicos de aguas residuales". Foro Internacional, Comparación de dos tecnologías en aguas residuales domésticas para Municipalidades. Medellín, Colombia.
- Primavesi, Ana (1984) "Manejo Ecológico del suelo". Quinta edición, Edit. El Ateneo, Buenos Aires, Argentina.
- Restrepo, Jairo (1998) "La idea y el arte de fabricar abonos orgánicos fermentados. Aportes y recomendaciones". Manejo de microorganismos. IICA, Costa Rica.
- Uribe, Lidieth (2003) "Inocuidad de abonos orgánicos". En Memorias de Taller de Abonos Orgánicos. Proyecto NOSCATIE/GTZ. Costa Rica.
- Verástegui, L. (1980) "El biogás como alternativa energética para zonas rurales". OLADE (Organización Latinoamericana de Alternativas de energía. Ecuador