



## Abono líquido orgánico acelerado elaborado a partir de efluentes de la industria de la palma aceitera

### Accelerated organic liquid fertilizer made from oil palm industry effluents

Juan Carlos Jaulis Cancho<sup>1\*</sup>; Juan Juscamaita<sup>1</sup>; Ana Martínez Varillas<sup>1</sup>; Marilyn Aurora Buendía Molina<sup>2</sup>; Enrique Raúl Adama Rojas<sup>1</sup>; Eduardo Leuman Fuentes Navarro<sup>1</sup>

1 Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

2 Universidad Nacional Enrique Guzmán y Valle, Lurigancho, Chosica, Perú.

\* Autor correspondiente: [jjaulis@lamolina.edu.pe](mailto:jjaulis@lamolina.edu.pe) (J. C. Jaulis Cancho).

ORCID de los autores:

J. C. Jaulis Cancho: <https://orcid.org/0000-0002-6553-2513>

A. Martínez Varillas: <https://orcid.org/0009-0002-2616-361X>

E. R. Adama Rojas: <https://orcid.org/0009-0001-0406-4736>

J. Juscamaita: <https://orcid.org/0000-0002-2198-0461>

M. A. Buendía Molina: <https://orcid.org/0000-0003-2896-0778>

E. L. Fuentes Navarro: <https://orcid.org/0000-0001-9351-9853>

#### RESUMEN

El incremento del costo de producción y por la contaminación ambiental provocada por los efluentes de la industria de la palma aceitera se buscan soluciones amigables con el medio ambiente. La investigación tuvo como objetivo evaluar el Abono Líquido Orgánico Acelerado (ALOA) a partir de efluentes de la industria de palma, mediante procesos de biofermentación homoláctica. Se evaluaron cinco tratamientos T1 (80% de efluente de florentino+10% garlac+10% melaza), T2 (80% de efluente de rebose+10% garlac+10% melaza), T3 (40% de efluente de florentino+40% de efluente de rebose+10% garlac+10% melaza), T4 (70% de efluente de florentino+10% palmiste+10% garlac+10% melaza) y T5 (70% de efluente de rebose+10% palmiste+10% garlac+10% melaza), bajo un Diseño Completo al Azar (DCA), con cuatro repeticiones. El T4 obtuvo el mejor resultado con 4,3 de pH; 28,54 dS\*m<sup>-1</sup> en Conductividad Eléctrica (CE) y el mayor contenido de nitrógeno (9560,46 mg\*L<sup>-1</sup>), fósforo (1620,79 mg\*L<sup>-1</sup>), potasio (6787,50 mg\*L<sup>-1</sup>), materia orgánica 262,01 g\*L<sup>-1</sup> y sólidos totales 302,80 g\*L<sup>-1</sup>. Elaborar un ALOA a partir del efluente florentino, rebose y palmiste procedente de la industria de la palma aceitera es una alternativa para disminuir la contaminación ambiental.

**Palabras clave:** biofertilizante; efluente florentino; efluente de rebose; palmiste; ALOA.

#### ABSTRACT

Due to the increase in the cost of production and the environmental pollution caused by the effluents of the oil palm industry, environmentally friendly solutions are being sought. The objective of the research was to evaluate Accelerated Organic Liquid Fertilizer (ALOA) from palm industry effluents, through homolactic biofermentation processes. Five treatments were evaluated: T1 (80% florentine effluent+10% garlac+10% molasses), T2 (80% overflow effluent+10% garlac+10% molasses), T3 (40% florentine effluent+40% of overflow effluent+10% garlac+10% molasses), T4 (70% of florentine effluent+10% palm kernel+10% garlac + 10% molasses) and T5 (70% of overflow effluent+10% palm kernel+10% garlac+10% molasses), under a Complete Randomized Design (RCD), with four repetitions. The T4 obtained the best result with 4.3 pH, 28.54 dS\*m<sup>-1</sup> in Electrical Conductivity (EC) and the highest content of nitrogen (9560.46 mg\*L<sup>-1</sup>), phosphorus (1620.79 mg\*L<sup>-1</sup>), potassium (6787.50 mg\*L<sup>-1</sup>), organic matter 262.01 g\*L<sup>-1</sup> and total solids 302.80 g\*L<sup>-1</sup>. Preparing an ALOA from the Florentine effluent, overflow and palm kernel from the oil palm industry is an alternative to reduce environmental pollution.

**Keywords:** biofertilizer; Florentine effluent; overflow effluent; palm kernel; ALOA.

Recibido: 06-04-2024.

Aceptado: 20-05-2024.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## INTRODUCCIÓN

Los fertilizantes químicos se han introducido y utilizado de manera masiva en la agricultura debido a la demanda mundial de alimentos. Chehade & Dincer (2021) estiman que el 50% de la producción agrícola utiliza fertilizantes nitrogenados inorgánicos. Sin embargo, por el alto costo y contaminación (Iftikhar et al., 2019), se desarrollan alternativas de producción de fertilizantes orgánicos (Quispe et al., 2019; Gibilisco et al., 2020; Amador-Castro et al., 2021; Fernández-Delgado et al., 2022) para promover una agricultura sostenible (Llomitoa et al., 2023) y reducir la presencia de químicos en los alimentos (Corrales et al., 2023) garantizando la inocuidad alimentaria (Fraser-Gálvez et al., 2023). Dentro de este grupo, se encuentran los Fertilizantes Líquidos Orgánicos Acelerados (ALOA), que son resultado de la fermentación homoláctica de materiales orgánicos (Florez et al., 2020).

El ALOA es una fuente de nutrientes que se utiliza para mejorar la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas. Quiñones et al. (2016) estudiaron la calidad nutritiva y la fitotoxicidad de un fertilizante líquido producido mediante fermentación homoláctica usando como sustrato excretas de alpaca. El análisis del estudio reveló que el fertilizante líquido era rico en nutrientes y no tenía efectos perjudiciales en el crecimiento de las plantas. Asimismo, otra ventaja del fertilizante es la mejora del carbono orgánico en los suelos y la lenta liberación de nutrientes (Sharma et al., 2019). Por tanto, cada vez más, es necesario sustituir los fertilizantes inorgánicos por fertilizantes orgánicos.

En la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), en el Laboratorio de Biotecnología Ambiental y Biorremediación, del Departamento

de Biología, de la facultad de Ciencias, se han realizado algunas investigaciones sobre la producción de abonos líquidos acelerados, utilizando el consorcio microbiano B-Lac (Quiñones et al., 2016), para bioabonos de alta calidad nutricional en cinco días, con caracteres organolépticos estables y sin generar gases de efecto invernadero, se pueden emplear estiércol de ganado vacuno, ovino y de camélidos), así como cacao (Pire-Sierra & Pire-Sierra, 2023), hoja de coca (Ambuila-Chamizo et al., 2022), residuos y organismos marinos (Radziemska et al., 2019), así como residuos agro-industriales como principales insumos (Peralta-Veran et al., 2016).

Las plantas de procesamiento del aceite de palma producen grandes volúmenes de aguas residuales. Los cuales requieren un tratamiento previo para transformar en abono líquido orgánico estabilizado antes de ser utilizado en la agricultura. De acuerdo con Althausen (2016), una planta en promedio produce 0,8 m<sup>3</sup> de efluente por tonelada de fruta fresca procesada. Estos efluentes de la industria de la palma aceitera son una fuente potencial de nutrientes para la producción de ALOA mediante la fermentación homoláctica. La industria de la palma aceitera produce grandes volúmenes de efluentes, que son ricos en materia orgánica y nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio (Quiñones et al., 2016). Este tipo de efluentes se descartan como desechos, lo que provoca contaminación ambiental y riesgos para la salud. No obstante, pueden usarse para la elaboración de ALOA. Así, en el presente estudio el objetivo de esta investigación fue elaborar un ALOA procedente de la industria de la palma aceitera que presente características adecuadas para su uso como fertilizante orgánico.

## METODOLOGÍA

### Componentes orgánicos

Las fuentes orgánicas utilizadas fueron: el efluente florentino y rebose de biodigestor, procedente de la industria de la palma aceitera OCAMSA. En la Tabla 1 se muestra el análisis de materia orgánica realizado por el Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes (LASPAF) de la UNALM.

### Microorganismos

Se usó el consorcio de microorganismos aeróbicos viables y bacterias probióticas denominado GARLAC. Está conformado por: coliformes totales y fecales < 3 NMP/ML, *Escherichia coli* < 3 NMP/ML, aerobios mesófilos viables > 24 x 10<sup>6</sup> UFC/ML, mohos y levaduras 11 x 10<sup>2</sup> UFC/mL y bacterias ácido-lácticas > 11 x 10<sup>6</sup> UFC/ML.

### Palmiste

Es un subproducto de la extracción del aceite de palma, se encuentra contenido en el fruto y se utiliza como alternativa de materia prima. Es una opción para reducir la producción del residuo y contribuir a la conservación del medio ambiente,

producción de energía limpia y abono orgánico (Medina & Toro, 2019).

### Melaza de caña

Es el efluente final del proceso de fabricación del azúcar. Es un combinado denso, viscoso de coloración oscura, almacena sacarosa, azúcar invertido, sales y otros compuestos solubles. Su estructura heterogénea varía según factores como el suelo, clima, tipo de caña de azúcar, época de cultivo, entre otros.

### Tratamientos

Se evaluaron cinco tratamientos, los cuales fueron: T1 (80% de efluente de florentino + 10% garlac + 10% melaza), T2 (80% de efluente de rebose + 10% garlac + 10% melaza), T3 (40% de efluente de florentino + 40% de efluente de rebose + 10% garlac + 10% melaza), T4 (70% de efluente de florentino + 10% palmiste + 10% garlac + 10% melaza) y T5 (70% de efluente de rebose + 10% palmiste + 10% garlac + 10% melaza). Cada tratamiento con un peso de 4 kg (Tabla 2).

**Tabla 1**

Análisis de los efluentes de palma inicial y ALOA estabilizado

| Descripción de los tratamientos | pH   | C.E. dS/m | Sólidos Totales g/L | M.O. en Solución g/L | N Total mg/L | P Total mg/L | K Total mg/L | Ca Total mg/L | Mg Total mg/L | Na Total mg/L | Pb Total mg/L | Cd Total mg/L | Cr Total mg/L |
|---------------------------------|------|-----------|---------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Efluente florentino (inicial)   | 4,38 | 7,10      | 51,34               | 44,11                | 2100,00      | 207,19       | 1550,00      | 416,00        | 590,00        | 31,00         | 0,60          | 0,07          | 0,61          |
| Efluente rebose (inicial)       | 7,66 | 8,72      | 7,80                | 3,99                 | 511,00       | 60,21        | 3825,00      | 473,25        | 90,00         | 55,00         | 0,51          | 0,08          | 0,19          |
| T1                              | 3,48 | 17,41     | 104,77              | 87,79                | 1661,27      | 194,77       | 5175,00      | 765,00        | 725,00        | 165,00        | 0,41          | 0,15          | 0,31          |
| T2                              | 3,55 | 18,59     | 74,07               | 57,46                | 1243,90      | 74,08        | 5100,00      | 662,50        | 650,00        | 150,00        | 0,49          | 0,09          | 0,19          |
| T3                              | 3,44 | 17,97     | 86,10               | 69,04                | 1459,78      | 139,41       | 3775,00      | 695,00        | 700,00        | 155,00        | 0,40          | 0,09          | 0,29          |
| T4                              | 4,30 | 28,54     | 302,80              | 262,01               | 9560,46      | 1620,79      | 6787,50      | 2510,00       | 1300,00       | 1237,50       | 1,47          | 0,33          | 0,68          |
| T5                              | 3,46 | 20,18     | 84,72               | 65,81                | 1618,09      | 409,58       | 5700,00      | 905,00        | 80,00         | 207,50        | 0,94          | 0,10          | 0,34          |

**Tabla 2**

Composición de los tratamientos

| Tratamientos | Insumos (%)       |          |            |          |          | Total (4 kg) |
|--------------|-------------------|----------|------------|----------|----------|--------------|
|              | Agua Florentino % | Rebose % | Palmiste % | Garlac % | Melaza % |              |
| T1           | 80                | 0        | 0          | 10       | 10       | 100%         |
| T2           | 0                 | 80       | 0          | 10       | 10       | 100%         |
| T3           | 40                | 40       | 0          | 10       | 10       | 100%         |
| T4           | 70                | 0        | 10         | 10       | 10       | 100%         |
| T5           | 0                 | 70       | 10         | 10       | 10       | 100%         |

**Días de evaluación**

Los tratamientos fueron trasladados a una cámara de incubación a 40 °C durante 11 días; se evaluó el pH, la conductividad eléctrica (C.E.), la temperatura y el gasto NaOH al día 1, 5 y 11.

**Medición de pH**

Se realizó mediante el uso de un potenciómetro calibrado, con solución tampón de pH 4 y 7, por medición directa, introduciendo el electrodo del potenciómetro en la muestra. Se consideró como lectura válida al valor que permaneció constante durante 10 segundos.

**Conductividad eléctrica**

Se utilizó un conductímetro calibrado con el tampón de solución salina patrón de 1433 uS\*cm<sup>-1</sup>. La medición se realizó, introduciendo el electrodo en la parte líquida de las muestras obtenidas, previamente centrifugados a 5 mil rpm por 30 min.

**Medición del porcentaje de acidez titulable**

Se determinó mediante la medición indirecta del ácido láctico titulable de acuerdo con la metodología de la AOAC (1998).

**Análisis fisicoquímicos**

Se analizaron los siguientes parámetros por tratamiento: pH, conductividad eléctrica (dS/m), sólidos totales (g/L), materia orgánica en solución (g/L); concentración de Nitrógeno total (mg/L), fósforo total (mg/L), potasio total (mg/L), calcio (mg/L), magnesio (mg/L), sodio (mg/L), plomo (mg/L), cadmio (mg/L) y cromo (mg/L).

**Análisis de datos**

El análisis de la medición se realizó mediante la aplicación del software estadístico SAS versión 8.0, en un diseño completo al azar con cuatro repeticiones. Además, se realizó un Análisis de varianza y la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ). Finalmente, para elegir el mejor tratamiento, se consideró el de mayor contenido nutricional (Tabla 1).

**Población microbiana**

Se determinó la población de coliformes totales (NMP/100 ml), coliformes fecales (NMP/100ml), *Salmonella sp.* (en 25ml), y número de larvas y huevos de Helmintos (Nº/5ml), utilizando los métodos SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN****Caracteres fisicoquímicos****pH**

El pH inicial del efluente de rebose fue 7,66, mientras que el efluente florentino fue 4,38. Estando este último dentro del rango reportado por Althausen (2016), que fue de 4 a 5 para efluentes de palma, en cambio, en efluentes del cultivo de tilapia se reportaron un pH de 6,6 (Álvarez-García et al., 2019); en el efluente del procesamiento de caballa el pH estaba entre 6 -8 (Jung & Kim, 2016), en residuos sólidos (estiércol) de un RAS de tilapia oscilaba el pH de 6,0 - 6,5 (Khiari et al., 2019).

El pH experimentó un descenso en todos los tratamientos, el cual fue gradual (Tabla 3). Varios estudios realizados han resultado similares ante un tratamiento anaerobio de estiércoles, organismos y restos marinos (Delgado et al., 2019), y subproductos agroindustriales (Peralta-Veran et al., 2016), teniendo en cuenta el pH como el principal indicador de la eficiencia fermentativa durante el monitoreo. Ello es porque durante las primeras 41 h, el pH, el oxígeno disuelto, el potencial oxidación-reducción y peso seco del compuesto orgánico disminuyen a medida que el número de células del consorcio microbiano incrementan (Figueroa et al., 2015).

La Tabla 3 muestra el incremento de la acidez en los tratamientos, lo que se debe al efecto de la melaza y del Garlac. Se encontró mediante el ANOVA diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, con un Coeficiente de Variación al día 1 (CV: 0,3375); 5 (CV: 1,0446) y 11 (CV: 1,876118956). A los 11 días, los T1, T3 y T5; presentaron un pH fuertemente ácido menor a 4, lo cual representa una similitud estadística; no obstante, difirieron significativamente (según la Prueba de Duncan) con el promedio de pH (4) en los T2 y T4.

El pH estabilizado de los tratamientos fluctuó entre 3,8 a 4,5 para lo cual, Corrales et al. (2015) indican que la mayoría de *Lactobacillus* son homofermentadores, con un rango de tolerancia de pH entre 1.1 a 5.5. Esta condición es incompatible para la mayoría de las bacterias enteropatógenas, putrefactivas, metanogénicas, mohos y levaduras, porque no se generaron gases durante la fermentación y es comprobado al no observarse inflación en las bolsas que cubrían a los recipientes durante el periodo fermentativo (Quiñones et al., 2016). Según Peralta-Veran et al. (2016), el pH ácido favorece la fijación de nutrientes al hacerlos más solubles y, por consiguiente, más disponibles para su absorción por las plantas.

#### Conductividad eléctrica

La Tabla 3 muestra la variación del contenido de sales en los tratamientos, a los días 1, 5 y 11. En los T1, T2 y T3 se determinó una disminución en el contenido de sales; mientras que el T4 se incrementó de 32,9000  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (día 1); 35,9300  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (día 5) a 36,2850  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (día 11), la variación fue menor para el T5 en comparación con los demás tratamientos. Mediante el ANOVA se encontró que existen diferencias significativas entre los tratamientos con un Coeficiente de Variación al día 1 (CV: 3,80128976); 5 (CV: 1,33647364) y 11 (CV: 4,67730636).

El ALOA estabilizado, presentó una CE entre 17,41  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  y 28,54  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . Los valores extremos en el límite inferior y superior corresponden al T1 y T4, respectivamente. Algunos autores encontraron 33,18  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  en la elaboración del biol con desechos orgánicos a base de estiércol de ganado, follaje de leguminosas, pseudotallos de plátano además de cabezas y vísceras de pescado (Cando & Malca, 2016); y, 23,4  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  en Alpa-biol, abono líquido producido a partir de heces de alpaca (Quiñones et al., 2016).

En los cinco tratamientos, la salinidad resultó muy elevada, indicando que el tratamiento contiene altas concentraciones de iones solubles debido a la intensa actividad del tratamiento para degradar la materia orgánica y por la elevada concentración de potasio (6787,50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Por el elevado nivel de salinidad, los tratamientos no pueden aplicarse directamente porque podrían generar estrés ocasionando necrosamiento en el ápice y borde de las hojas de la planta. Por ello, la disolución en agua de los biofermentos permite neutralizar sus efectos, además de reducir los costos de producción por unidad de producto elaborado (Quiñones et al., 2016). No obstante, se recomienda

su uso en suelos con un buen drenaje y en cultivos tolerantes a la salinidad. Aunque el maíz y la avena son moderadamente tolerantes; el frijol es considerado sensible pero su respuesta hacia la salinidad es diferente entre las variedades. El incremento de la concentración iónica reduce el porcentaje de germinación de variedades de frijol (Can-Chulim et al., 2017).

#### Acidez titulable

Los tratamientos mostraron un aumento de la acidez en los cinco tratamientos hasta el día once, los cuales tienden a estar estabilizados al quinto día. De acuerdo con Taco & García-Godos et al. (2021), el ácido láctico titulable, genera los cambios de pH hacia la acidez, lo que genera condiciones de antagonismo que impiden el desarrollo de las bacterias putrefactivas y patógenas. Asimismo, con este parámetro se indica la cantidad de ácido que las bacterias lácticas producen durante el proceso de fermentación.

En el ANOVA se encontró diferencia estadística significativa entre los tratamientos con un Coeficiente de Variación al día 1 (CV: 18,79472277); 5 (CV: 7,51985662) y 11 (CV: 8,64078002). En la tabla 3, se muestra la variación de la acidez titulable de los tratamientos, al día 1, 5 y 11. Los cinco tratamientos mostraron un aumento en la acidez titulable; siendo el T4 el de mayor acidez titulable, con 2,8203 (día 1); 3,9656 (día 5) y 4,0331 (día 11), la variación menor fue para el T2 en comparación con el resto de los tratamientos.

#### Materia orgánica

La composición de los efluentes de la palma aceitera varía en función del método de procesamiento y la etapa de producción. En general, contienen altos niveles de materia orgánica, nitrógeno total y potasio, mientras que el contenido de fósforo es relativamente bajo, según Quiñones et al. (2016).

El ALOA del T4 contiene la mayor concentración de macronutrientes en comparación con los demás tratamientos. Siendo medido la calidad del abono orgánico por el contenido nutricional de macronutrientes y micronutrientes, además de la capacidad de proporcionar nutrientes a un cultivo (Aguñaga-Bravo et al., 2020). La diferencia se atribuye a la alta capacidad de los microorganismos para degradar compuestos insolubles como la celulosa, hemicelulosa y lignina, explicándose con ello los altos contenidos de materia orgánica (262,01  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y sólidos totales (302,80  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Los cuales son superiores a los reportados por Quiñones et al. (2016) para el Alpa-biol (C 79,48  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; N 3,70  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; P 0,66  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; K 8,70  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; Ca 3,33  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; Mg 12,50  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; Na 0,59  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y Biolalac (C 28,89  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; N 1,63  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; P 0,07  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; K 4,24  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; Ca 0,12  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; Mg 0,40  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; Na 0,15  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ).

Al finalizar el proceso de producción, las concentraciones de nutrientes aumentaron considerablemente, muchos de los elementos hasta quintuplicaron sus valores (Medina et al., 2015). El T4 presentó una mayor concentración de metales pesados, Pb 1,47  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , Cd 0,33  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y Cr 0,68  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , en comparación con los demás tratamientos.

**Tabla 3**  
Variación de contenido de sales en los tratamientos

| Trata-<br>miento | pH                       |            |            | C.E.                     |            |            | Acidez titulable         |            |            |
|------------------|--------------------------|------------|------------|--------------------------|------------|------------|--------------------------|------------|------------|
|                  | Día 1                    | Día 5      | Día 11     | Día 1                    | Día 5      | Día 11     | Día 1                    | Día 5      | Día 11     |
|                  | Promedio y significancia |            |            | Promedio y significancia |            |            | Promedio y significancia |            |            |
| T1               | 4,0425 e                 | 3,9175 d   | 3,8600 c   | 15,4725 c                | 14,1275 d  | 12,3025 d  | 1,0406 b                 | 1,6133 bc  | 1,7269 c   |
| T2               | 6,0225 a                 | 4,1175 b   | 4,0150 b   | 16,9325 b                | 15,1450 c  | 14,3675 bc | 0,1564 d                 | 1,4468 c   | 1,5785 c   |
| T3               | 4,6975 d                 | 3,9075 d   | 3,8525 c   | 15,0550 c                | 14,9375 c  | 14,0500 c  | 0,4748 c                 | 1,8518 b   | 2,0475 b   |
| T4               | 5,2250 c                 | 4,6075 a   | 4,5575 a   | 32,9000 a                | 35,9300 a  | 36,2850 a  | 2,8203 a                 | 3,9656 a   | 4,0331 a   |
| T5               | 5,9525 b                 | 4,0200 c   | 3,8300 c   | 15,9500 bc               | 16,4450 b  | 15,545 b   | 0,2239 cd                | 1,83375 b  | 2,3220 b   |
| CV               | 0,33754627               | 1,04455177 | 1,87611896 | 3,80128976               | 1,33647364 | 4,67730636 | 18,79472277              | 7,51985662 | 8,64078002 |

Sin embargo, los resultados de Medina et al. (2015) para el Biol I-G (Pb 0,329 mg\*L; Cd 0,00 mg\*L y Cr 0,073 mg\*L) y Biol II-G (Pb 4,410 mg\*L; Cd 0,766 mg\*L y Cr 0,572 mg\*L) son diferentes. Los contenidos de metales pesados en el Biol I-G son menores a los valores que presenta el Biol II-G. Esta diferencia es muy marcada, por el contenido de melaza. En el presente estudio se puede deber además de la melaza por el contenido de palmiste. Este tipo de nutrientes son fundamentales para el crecimiento y el desarrollo de las plantas, por consiguiente, los efluentes de la palma aceitera son un valioso recurso para la producción de ALOA. La fermentación homoláctica de efluentes de palma aceitera con consorcios microbianos puede dar como resultado la producción de ALOA con un alto contenido de nutrientes y un impacto ambiental mínimo.

La utilización de efluentes de palma aceitera en la producción de ALOA puede tener beneficios económicos y ambientales. Proporciona una solución sostenible para la gestión de residuos en la industria de la palma aceitera, así como una reducción de la dependencia de los fertilizantes químicos en la industria. Asimismo, la producción de ALOA mediante la fermentación homoláctica es un proceso de bajo costo y eficiencia energética que puede ampliarse con facilidad (Medina et al., 2015). Por lo tanto, el uso de efluentes de palma aceitera en la producción de ALOA puede contribuir al desarrollo de una economía circular, donde los desechos se convierten en recursos valiosos para el desarrollo sostenible.

El ALOA producido mediante fermentación homoláctica con efluentes de la industria de la

palma aceitera puede mejorar la calidad nutricional del suelo y aumentar el rendimiento de cultivos como la albahaca (Quiñones et al., 2016) o maíz (Moreno et al., 2020).

Esto se debe a la alta concentración de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio en ALOA, que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas; Además, incorporar ALOA en las prácticas agrícolas permite a los agricultores mejorar la productividad y la rentabilidad de sus cultivos (Quiñones et al., 2016). Asimismo, los fertilizantes orgánicos mejoran significativamente el tamaño y peso de plantas de café en vivero (Jaulis et al., 2020), así como el tomate (Alarcón et al., 2020), entre otros.

#### Caracteres Microbiológicos

La cantidad de coliformes totales y fecales fueron inferiores a los límites de detección mediante la técnica de Número más Probable ( $< 3 \text{ NMP} \cdot \text{ml}^{-1}$ ), ausencia de *Salmonella* sp. y cero contenidos de larvas y huevos de helmintos, lo cual se interpreta como ausencia en los tratamientos, evidenciando una reducción total de la carga enteropatógena a partir del efluente florentino y rebose de biodigestor. Florez et al. (2020) y Peralta-Veran et al. (2016) obtuvieron resultados similares en abono orgánico líquido elaborado con subproductos de trucha o con heces de ganado vacuno tratados con B-Lac, respectivamente, y según Quiñones et al. (2016), indica que se debió al efecto del consorcio microbiano B-Lac. El espectro de acción de las BAL comprende enteropatógenos como: *E. coli*, *Salmonella*, *Streptococcus*, entre otros (Carrasco et al., 2002).

### CONCLUSIONES

El efluente florentino, rebose de biodigestor y palmiste proveniente de la industria de la palma aceitera pueden ser empleados como insumos para la elaboración de ALOA, debido al aporte nutricional adecuado para su uso en la agricultura orgánica y convencional. Asimismo, el T4 (70% de efluente florentino + 10% de palmiste + 10% Garlac + 10% melaza) fue el ALOA que presentó el mejor resultado por presentar una reacción ácida (pH de

4.30), alto contenido de sales ( $28,54 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ) y buen contenido nutricional con  $9560,46 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  de nitrógeno;  $1620,79 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  de fósforo;  $6787,50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  de potasio;  $262,01 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  de materia orgánica y  $302,80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  de sólidos totales.

Se recomienda realizar estudios para evaluar el impacto ambiental y agronómico del ALOA producido a partir de efluentes de la industria de la palma aceitera.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al PROCENCIA (antes FONDECYT) - CONCYTEC por el financiamiento a través del proyecto denominado "Bioconversión de residuos sólidos y líquidos de la industria del aceite de palma por la vía de fermentación

homoláctica y polímeros orgánicos para la producción acelerada de abonos, alimento para ganado y la producción del hongo comestible y medicinal *Pleurotus ostreatus*" ejecutado con convenio N° 091-2021-FONDECYT.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiñaga-Bravo, A., Medina-Dzul, K., Garruña-Hernández, R., Latournerie-Moreno, L., & Ruíz-Sánchez, E. (2020). Effect of sheep manure on yield, nutritional value and antioxidant capacity of green tomato (*Physalis ixocarpa*). *Acta universitaria*, 30, e2475. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2475>
- Alarcon, J., Recharte, D., Yanqui, F., Moreno, S., & Buendía, M. (2020). Fertilizing with native efficient microorganisms has a positive effect on the phenology, biomass and production of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 67-73. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.08>
- Althausen, M. (2016). Tratamiento de Efluentes de la Planta de Beneficio-Convertir un residuo en un recurso. *Palmas*, 37(Especial Tomo II), 31-37.
- Álvarez-García, M., Urrestarazu, M., Guil-Guerrero, J. L., & Jiménez-Becker, S. (2019). Effect of fertigation using fish production wastewater on Pelargonium x zonale growth and nutrient content. *Agricultural Water Management*, 223, 105726.
- Amador-Castro, F., García-Cayuela, T., Alper, H., Rodríguez-Martínez, V., & Carrillo-Nieves, D. (2021). Valorization of pelagic sargassum biomass into sustainable applications: Current trends and challenges. *Journal of Environmental Management*, 283, 112013. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112013>
- Ambuila-Chamizo, N.-M., Córdoba-Cerón, E., Montes-Rojas, C., & Anaya-Florez, M. (2022). Efecto del abono a base de hoja de coca en Pisum sativum L. en el Cauca, Colombia. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(1), 124-135. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v.n.2022.1840>
- AOAC (Association Official Analytical Chemists). (1998). *Codex-Adapted* 942.15.
- Cando, S., & Malca, L. (2016). Development of a biol-type liquid organic fertilizer using an anaerobic process in simple bioreactors. *Manglar*, 13(1), 35-40. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2016.005>
- Can-Chulim, A., Ramírez, G. L. G., Ortega, E. H. M., Cruz, C. E., Flores, R. D., Sánchez, B. E. I., & Madueño, M. A. (2014). Germination and seedling growth of *Phaseolus vulgaris* L. in saline conditions. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 753-763. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i5.898>
- Carrasco, M. S., Scarincini, H. E., & Simonetta, A. C. (2002). Antibacterial Activity of Lactic Acid Bacteria Isolated from Argentinian Dairy Products. *The Australian Journal of Dairy Technology*, 57(1), 15-19.
- Chehade, G., & Dincer, I. (2021). Progress in green ammonia production as potential carbon-free fuel. *Fuel*, 299(1), 120845. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120845>
- Corrales, L. C., Antonilez, D. M., Bohórquez, J. A., & Corredor, A. M. (2015). Anaerobic bacteria: Processes they perform and their contribution to life sustainability on the planet. *NOVA*, 13(23), 55-81.
- Corrales, E., Vascomnez, G., Reyes, M., & Espinoza, A. (2023). Use of organic fertilizers in the production of *Capsicum annuum* L. in the western mountain range of the Andes. *Revista CentroSur*, 1(19), 24-37.
- Delgado, E., Benavente, G., & Cáceres, V. (2019). Elaboration of Organic Fertilizer from the Viscera of Trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Jack Mackerel (*Trachurus murphyi*). Quantification and Evaluation of the Nutrient Minerals. *Anales Científicos*, 80(2), 452-461. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v80i2.1471>
- Fernández-Delgado, M., Del Amo-Mateos, E., Lucas, S., García-Cubero, T., & Coca, M. (2022). Liquid fertilizer production from organic waste by conventional and microwave-assisted extraction technologies: Techno-economic and environmental assessment. *Science of The Total Environment*, 806(4), 150904. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150904>
- Figuerola, J. G. S., Jung, H. Y., Jeong, G. T., & Kim, J. K. (2015). The high reutilization value potential of high-salinity anchovy fishmeal wastewater through microbial degradation. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 31(10), 1575-1586, 2015.
- Florez, M., Roldán, J., & Juscamaita, J. (2020). Phytotoxicity and characterization of a liquid fertilizer produced by lactic acid fermentation using rainbow trout by-products (*Oncorhynchus mykiss*). *Ecología Aplicada*, 19(2), 121-131. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v19i2.1563>
- Fraser-Gálvez, T., Fuente, J., Fariñas, M., García-Ramos, M., Martínez-Rodríguez, F., & Laiz-Averhoff, O. (2023). Consideraciones sobre la aplicación de la fertilización orgánica y la inocuidad de los alimentos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 33(2), 26-33.
- Gibilisco, P., Lancelotti, J., Negrin, V., & Idaszkin, I. (2020). Composting of seaweed waste: Evaluation on the growth of *Sarcocornia perennis*. *Journal of Environmental Management*, 274, 111193. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111193>
- Iftikhar, S., Saleem, M., Ahmad, K.S., & Jaffri, S.B. (2019). Synergistic mycoflora-natural farming mediated biofertilization and heavy metals decontamination of lithospheric compartment in a sustainable mode via *Helianthus annuus*. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Ambiental*, 16, 6735-6752. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-02180-8>
- Jaulis, J., Martínez, A., Juscamaita, J., Adama, E., & Adama, J. (2020). Effect of new solid and liquid fertilizers on the production of coffee (*Coffea arabica*) seedlings under nursery cultivation in Chirinos, Cajamarca, Peru. *Anales Científicos*, 81(2), 336-346. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v81i2.1644>
- Jung, H., & Kim, J. K. (2016). Eco-friendly waste management of mackerel wastewater and enhancement of its reutilization value. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 111, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.04.002>
- Khiari, Z., Kóluthota, S., & Savidov, N. (2019). Aerobic bioconversion of aquaculture solid waste into liquid fertilizer: Effects of bioprocess parameters on kinetics of nitrogen mineralization. *Aquaculture*, 500, 492-499. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.059>
- Llomitó, A., Llomitó, N., Luna, R., & Chanaguano, B. (2023). Evaluación del comportamiento agronómico del cultivo de col (*Brassica oleracea* var. capitata) con la aplicación de dos abonos orgánicos en el cantón Pangua, Ecuador. *Revista FAVE*, 22, E0015. <https://doi.org/10.14409/fa.2023.22.e0015>
- Medina, A., Quipuzco, L., & Juscamaita, J. (2015). Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores. *Anales Científicos*, 76(1), 116-124. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v76i1.772>
- Medina, L., & Toro, I. (2019). Evaluación de la torta de Palmiste en la obtención de Biogás, mediante el uso del estiércol vacuno como fuente de bacterias anaeróbicas. [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/1192](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1192)
- Moreno, L., Cadillo, J., & Chura, J. (2020). Quality of organic fertilizer made from pig manure and its effect on the yield of maize stover. *Anales Científicos*, 81(1), 243-253. <https://doi.org/10.21704/ac.v81i1.1635>
- Peralta-Veran, L., Juscamaita-Morales, J. G., & Meza-Contreras, V. (2016). Obtaining and characterising an organic liquid fertilizer due to the treatment of dairy farm cattle manure using a lactic acid microbial consortium. *Ecología Aplicada*, 15(1), 1-10. <https://doi.org/10.21704/rea.v15i1.577>
- Pire-Sierra, U., & Pire-Sierra, L. (2023). Propiedades físico-químicas de un Abono Orgánico Tipo Bocashi preparado a partir de cascarilla de semillas de Cacao (*Treobroma cacao* L.). *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*, 46, e34617.
- Quiñones, H., Trejo, W., & Juscamaita, M. (2016). Quality assesment of a liquid fertilizer produced through homolactate fermentation from alpaca faeces. *Ecología Aplicada*, 15(2), 133-142. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.753>
- Quispe, M., Cosme, R., Reynoso, A., Adama, E., Juscamaita, J., & Buendía, M. (2019). Accelerated Organic Fertilizer: A productive alternative in Hualquín Grande. *Natura@economía*, 4(2), 105-111. <http://dx.doi.org/10.21704/ne.v4i2.1518>
- Radziemska, M., Vaverková, M.D., Adamcová, D., Brtnický, M., & Mazur, Z. (2019). Valorization of fish waste compost as a fertilizer for agricultural use. *Waste and Biomass Valorization*, 10(9), 2537-2545.
- Sharma, H., Xu, C., & Qin, W. (2019). Biological Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Biofuels and Bioproducts: An Overview. *Waste Biomass Valor*, 10, 235-251. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0059-y>
- Taco, K., & García-Godos, P. (2021). Optimización de parámetros para la elaboración de leche ácida con *Lactobacillus acidophilus*. *Información tecnológica*, 32(1), 179-186, 2021. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000100179>