

ELABORACIÓN DEL BIOPRODUCTO “ALPA-BIOL” EN CONDICIONES ALTO ANDINAS

ELABORATION OF THE BIOPRODUCT “ALPA-BIOL” IN HIGH ANDEAN CONDITIONS

Henry Quiñones Ramírez¹, Gladys Carrión-Carrera² y Juan Juscamaita Morales³

Resumen

Alpa-biol es un bioproducto desarrollado por el Departamento de Biología de la Universidad Nacional Agraria La Molina vía fermentación homoláctica a partir de heces de alpaca en condiciones de laboratorio, cuyo proceso de elaboración podría verse afectado por factores ambientales adversos. El objetivo del estudio fue evaluar la eficiencia de la fermentación homoláctica en condiciones alto andinas, replicando la elaboración del Alpa-biol a mediana escala en la Sociedad Agrícola de Interés Social (SAIS) Pachacútec (Junín). Para ello se emplearon heces de alpaca, lactosuero, melaza y el consorcio microbiano benéfico “B-Lac” en proporción 40:40:15:5, respectivamente, monitoreándose diariamente el pH hasta alcanzar el valor más bajo. Se realizaron análisis físico-químicos y microbiológicos al inicio y después de 1 año a fin de determinar su estabilidad en el tiempo. Los resultados fueron comparados con los parámetros del Alpa-biol original, con 2 grupos de biofermentos (abonos líquidos acelerados y bioles de digestión anaerobia) y estándares de calidad. Se obtuvo en un período corto de 10 días un bioproducto carente de enteropatógenos, con caracteres organolépticos deseables, adecuado contenido nutricional y estable en el tiempo, similar a los reportes del estudio original y al grupo de abonos acelerados. Sin embargo, existen diferencias notables con respecto a los bioles debido a la naturaleza fermentativa, siendo su uso indicado en sistemas de producción agrícola como bioenmienda.

Palabras clave: Alpa-biol, fermentación homoláctica, bioenmienda.

Alpa-biol is a bioproduct developed by the Biology Department of the National Agrarian University – La Molina via homolactate fermentation from alpaca faeces in lab conditions, whose production could be affected by adverse environmental factors. The aim of this study was to evaluate the efficiency of homolactate fermentation in high Andean conditions, replicating the production of Alpa-biol on a medium scale at SAIS Pachacutec (Junín). For this, alpaca faeces, whey, molasses and the beneficial microbial consortium “B-Lac” were used in a 40:40:15:5 ratios, respectively, monitoring daily the pH until the lowest value was reached. Physical-chemical and microbiological analyses were carried out at the beginning and after 1 year to determine its stability over time. The results were compared with the parameters of the original Alpa-biol, with 2 groups of bioferments (accelerated liquid fertilizers and anaerobic digestion biols) and quality standards. A bioproduct free of enteropathogens, with desirable organoleptic characteristics, adequate nutritional content and stable over time was obtained in a short period of 10 days, similar to the reports of the original study and to the group of accelerated fertilizers. However, there are notable differences with respect to biols due to their fermentative nature, and their use is indicated in agricultural production systems as a bio-amendment.

Key words: Alpa-biol, homolactate fermentation, bio-amendment.

Introducción

En el Laboratorio de Biotecnología Ambiental y Biorremediación de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria La Molina, durante las últimas décadas se han realizado investigaciones sobre elaboración de los denominados “abonos líquidos acelerados” (ALA) mediante el proceso estandarizado de fermentación homoláctica a partir de diversos tipos de residuos e insumos inoculados con el consorcio microbiano benéfico “B-Lac”. Los diversos estudios proyectados también en el ámbito nacional concuerdan en la obtención de bioproductos con características físico-químicas y microbiológicas deseables con potencial de uso agronómico (Tablas 1 y 2). El B-Lac

contiene microorganismos eficientes (EM) a base de bacterias ácido lácticas (BAL), mohos, levaduras y bacterias mesófilas (Tabla 3), los cuales promueven la fermentación acelerada de la materia orgánica, limitan la presencia de microorganismos perjudiciales, confieren adecuadas características físico-químicas, y favorecen su estabilidad en el tiempo (García, 2008). Según el tipo de productos sintetizados, la fermentación puede ser homoláctica cuando solo se forma ácido láctico, o heteroláctica cuando además se sintetiza acetaldehído, etanol, glicerina y CO₂ en proporciones equimolares (Axelsson, 2004). Para lograr una fermentación eficaz se recomienda el uso de melaza como fuente de carbono, lactosuero por su aporte de

microorganismos lácticos (Buchelli, 2014), cuyo aprovechamiento contribuye a reducir los impactos ambientales generados por su alto desperdicio y elevada capacidad contaminante (Trujillo *et al.*, 1998). Entre los diversos estudios realizados en esta línea de investigación, se encuentra la elaboración del bioproducto Alpa-biol desarrollado por Quiñones *et al.* (2016) en condiciones de laboratorio a base de heces de alpaca (Tablas 4, 5 y 6), cuya eficiencia en su proceso de elaboración podría verse afectado por factores climáticos adversos. En el presente estudio se replicó el procedimiento recomendado para la elaboración del “Alpa-biol” a mediana escala en la SAIS Pachacútec, y tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la fermentación homoláctica en condiciones alto andinas, revalorando la crianza de alpacas, actividad de importancia socioeconómica relevante en el país. Al ser un trabajo pionero, los resultados servirán como herramientas para la gestión sostenible de los recursos en agroecosistemas pastoriles.

Materiales y métodos

I. Área de estudio y duración

El estudio se realizó entre marzo de 2018 y abril de 2019. La etapa inicial (fase de campo) consistió en la elaboración del Alpa-biol y se realizó a finales de la época lluviosa en la SAIS Pachacútec S.A.C. (Figuras 1 y 2), perteneciente al distrito de Marcapomacocha, Provincia de Yauli (Junín, Perú), a 4 164 msnm. La temperatura promedio anual en la zona es de 10 °C, con

valores extremos de -13 °C y 18 °C; además, presenta una precipitación media anual de 1 190 mm, alta evaporación y humedad relativa promedio de 86% (García, 2016). Posteriormente, se realizó una fase de caracterización y evaluación de la estabilidad del bioproducto en la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicada en la zona de vida Desierto Desecado Subtropical (dd-S) y en la Ecorregión Desierto del Pacífico (Brack & Mendiola, 2010 citado por Castillo *et al.* 2014).

II. Método

II.1 FASE DE CAMPO

En un bidón de plástico de 200 litros se mezclaron heces de alpaca fresca, lactosuero bovino dulce, melaza de caña y el consorcio microbiano benéfico B-Lac en proporción 40:40:15:5, respectivamente, para una cantidad de 150 Kg. El estiércol fue recolectado de las canchas de pastoreo de alpacas (Figura 3), el lactosuero fue adquirido de la Planta de Lácteos de la SAIS Pachacútec, mientras que la melaza y el B-Lac provinieron de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Inicialmente se realizó una pre-mezcla con 60 Kg de heces frescas y 60 Kg de suero bovino. Luego, con el uso de un taladro acoplado a una cuchilla de licuadora se homogeneizó el contenido. Posteriormente, se añadieron 7.5 Kg de B-Lac y 22.5 Kg de melaza, removiéndose la mezcla final.

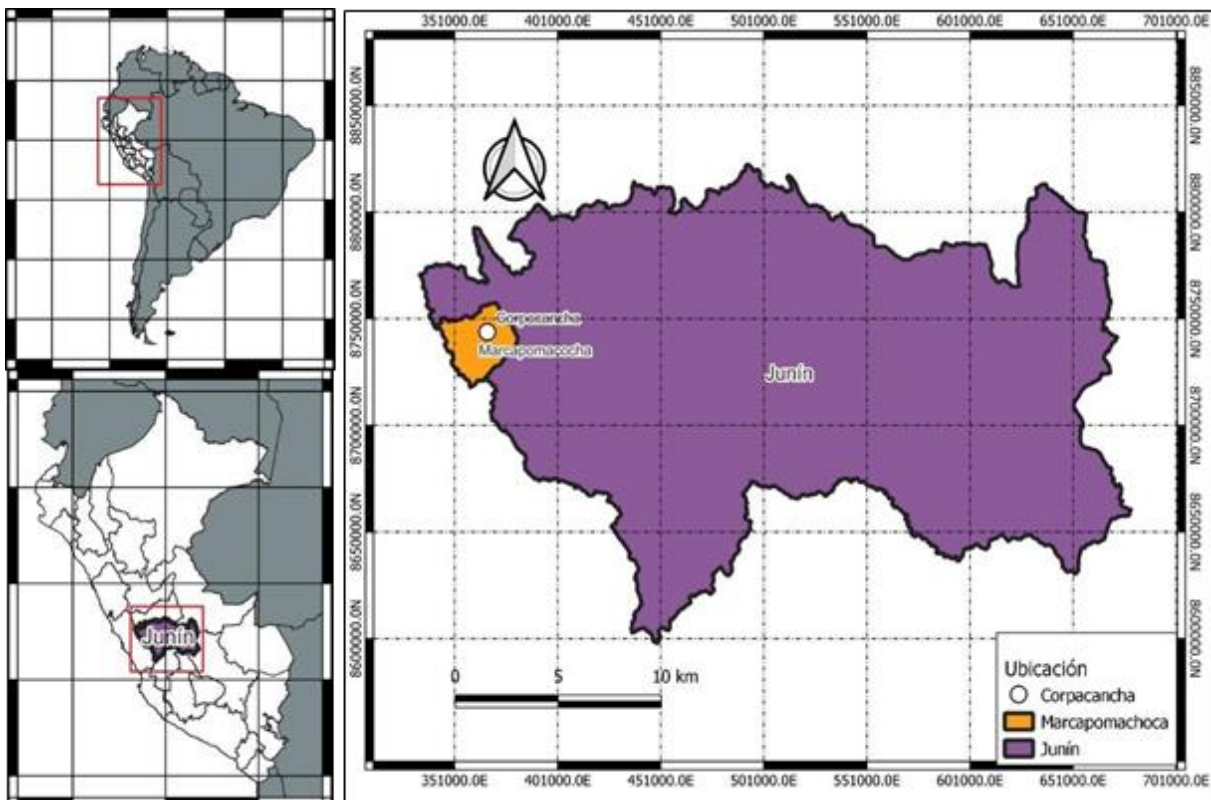


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.



Figura 2. Vista panorámica de la SAIS Pachacútec (Corpacancha, Junín, Perú).



Figura 3. Canchas de pastoreo de alpacas.

El envase fue cubierto con bolsa plástica oscura, y posterior al tapado se añadió una segunda envoltura de plástico transparente gruesa amarrada con alambre (Figura 4), dejando el recipiente en una habitación, tratando de proporcionar las condiciones de anaerobiosis y microclima. Puesto que la acidificación es la característica típica de las BAL (Peralta *et al.*, 2016), se consideró al pH como variable principal, midiéndose diariamente con un pH-metro portátil hasta observar el descenso máximo y una relativa estabilidad, para lo cual el recipiente era destapado y removido. De esta forma se procedió a la extracción de la parte líquida al décimo día, empleando una prensa manual sobre fracciones del biofermento envueltas en una tela organza blanca de seda.



Figura 4. Bidón plástico de 200 l, cubierto con bolsa plástica transparente sobre una oscura, conteniendo la mezcla de heces de alpaca fresca, lactosuero bovino dulce, melaza de caña y el consorcio microbiano benéfico B-Lac.

II.2 FASE DE CARACTERIZACIÓN

Se realizaron análisis físico-químicos y microbiológicos al inicio y después de 1 año, a fin de determinar su estabilidad en el tiempo.

II.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

Se determinó el pH, conductividad eléctrica (C.E.), contenido de materia orgánica (M.O.), sólidos totales (S.T.), densidad, macroelementos (C, N, P, K, Ca, Mg, Na), microelementos (Fe, Cu, Zn, Mn, B) y metales pesados (Pb, Cd, Cr) en el Laboratorio de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF-UNALM), según los métodos descritos en la Tabla 7. También se realizó una prueba de alcohol en el Laboratorio de Servicios de Análisis Químico (LASAQ-UNALM) a fin de determinar el tipo de fermentación. Además, se determinó sensorialmente el olor, color, sabor y consistencia del Alpa-biol, ya que según García (2008) dichas características se relacionan con la eficiencia fermentativa de biofermentos ácido lácticos, y según Santander (2015) estas influyen en su calidad como biofertilizantes.

II.2.2 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Tuvo como objetivo determinar la calidad fitosanitaria del bioproducto. Se realizó en el laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso” de la UNALM mediante el método establecido por la International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF, 1986) para el recuento de *Lactobacillus* sp., mohos y levaduras, enumeración de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* (Tabla 6).

III. Análisis de resultados

Los resultados fueron comparados con los parámetros del bioproducto original desarrollado por Quiñones *et al.* (2016) en condiciones de laboratorio a pequeña y mediana escala, a fin de contrastar los resultados en diferentes escenarios (Tabla 4). También se realizó la comparación con 2 grupos de biofermentos (30 ALA y 20 bioles de digestión anaerobia) a nivel de promedios, y con estándares internacionales de calidad. En este último caso se consideraron los parámetros establecidos por la Sri Lanka Standards Institution (SLSI, 2021) y el Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE-Espol) (Crow & Ruiz, 2009) para las categorías abonos líquidos y enmiendas, respectivamente, a fin de garantizar el cumplimiento de requisitos del producto estabilizado (Tablas 5 y 6).

Resultados y discusión

I. Eficiencia fermentativa y obtención de Alpa-biol

I.1 MONITOREO DEL PH

El pH descendió drásticamente desde el primer día manifestando una tendencia a la acidificación (Tabla 4) debido a la síntesis intensa de ácidos orgánicos por parte de las BAL provenientes principalmente del B-Lac (acelerador fermentativo), los cuales prevalecieron al contar con un ambiente anaerobio y sustrato energético (melaza) rico en carbohidratos solubles (Peralta *et al.*, 2016). RedCorn & Engelberth (2016) registraron el consumo de 80% de azúcares simples en solo 24 horas, lo cual explica el descenso brusco del pH de 6.80 a 4.42 debido al fenómeno de represión catabólica, en el cual existe afinidad hacia fuentes de azúcares de fácil asimilación en vez de formas más complejas (Madigan *et al.*, 2004). La posterior ralentización del pH puede explicarse por la inhibición de los *Lactobacillus* por el propio ácido láctico.

Quiñones *et al.* (2016) y los diversos estudios con el uso de EM (Tabla 1) también reportan descensos drásticos del pH desde el primer día y su posterior estabilidad hasta el día 30 con una alta correlación inversa entre el pH y la concentración de ácido láctico. En la Tabla 4 se observa que el pH empezó a mantenerse estable desde el día 5 hasta el día 10, momento en el que se procedió a realizar la cosecha. Posteriormente, la prueba de alcohol indicó ausencia de etanol (grado de alcohol = 0°), comprobando así que la fermentación fue del tipo homoláctica, en la cual se

sintetiza ácido láctico hasta en un 95% a partir de azúcares simples (Axelsson, 2004).

I.2 COSECHA DE ALPA-BIOL

Se obtuvo un rendimiento líquido del 64%, ligeramente mayor al reportado por Quiñones *et al.* (2016), quien obtuvo 57% en condiciones de laboratorio a escala piloto (50 Kg). Román (2012), Buchelli (2014), Alvarez *et al.* (2016), Peralta *et al.* (2016), Leiva (2018), Huingo (2019) y Moreno (2019) reportaron rendimientos de 59%, 83.1%, 77.21%, 70.2%, 76.3%, 57% y 80.2%, respectivamente, los cuales se consideran valores atractivos para fines agronómicos. La densidad fue elevada ($\rho = 1.044 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), inferior a lo obtenido por Quiñones *et al.* (2016) ($\rho=1.057$) y Santander (2015) ($1.110 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), y mayor a los reportes de Buchelli (2014), Leiva (2018), Huingo (2019) y Chihuan (2022), quienes registraron valores de $1.030 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, $1.040 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, $1.038 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y $1.043 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, respectivamente. Esto representa una ventaja nutricional y económica al disponerse de bioproductos más concentrados por unidad de volumen.

II. Características físico-químicas

II.1 COMPARACIÓN ENTRE BIOFERMENTOS

En el caso del pH, C.E., M.O., S.T. y C:N, los resultados concuerdan con los obtenidos por Quiñones *et al.* (2016) y con el grupo de ALA, más difieren notablemente con respecto a los bioles, siendo estos últimos los de menores niveles en estos parámetros (Tabla 5). En cuanto al contenido de macro y microelementos, se observaron marcadas diferencias entre periodos diferentes de producción del Alpa-biol. A nivel de los distintos tipos de ALA, se observó elevada variabilidad en estos parámetros, siendo grandemente afectados por los valores extremos, como el contenido de fósforo aberrante del estudio de Cahahuanca & Miranda (2022) (Tabla 5). Según Rojas (2014), la variación en características físico-químicas entre bioabonos se debe a diversos factores como el tipo y procedencia de insumos, proporciones empleadas, manipulación, métodos de procesamiento, condiciones ambientales y los tiempos a los que son sometidos.

El Alpa-biol presentó un pH fuertemente ácido (3.43), lo cual, según Santander (2015), resulta ideal para la solubilidad de nutrientes y gases de efecto invernadero, lo que aumenta la disponibilidad de nutrientes para las plantas y reduce la contaminación ambiental. Dicho valor coincide con el promedio de ALA debido a su naturaleza homoláctica, más difiere notablemente con respecto al promedio de los bioles (Tabla 5), ya que en estos últimos predominan microorganismos diversos con pH óptimo cercano al neutro (Gomero, 2005). La salinidad resultó elevada ($19.6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), lo cual, según Santander (2015), indica una elevada concentración de sales solubles intercambiables, muy posiblemente por la frecuente inclusión y niveles de uso de melaza en biofermentos (Tabla 1), ya que este insumo es rico en potasio (Aldón, 2008).

Se obtuvo un contenido de materia orgánica de $176.94 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$, muy similar a lo reportado por Quiñones *et al.* (2016), superando ligeramente al promedio de ALA y notablemente al promedio de los bioles (Tabla 5). Esto representa beneficios sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas a nivel del suelo y plantas cuando se aplica vía radicular o foliar (Soto & Meléndez, 2004). La relación C:N indica el grado de disponibilidad de nitrógeno, situándose dentro del rango óptimo para biofermentos que va de 20:1 a 30:1, con lo cual los microorganismos logran una adecuada digestión de la materia orgánica (Soria *et al.*, 2001).

Los niveles de N, P, K del Alpa-biol, conjuntamente con los ALA superan notablemente a los bioles en estos elementos esenciales. Los *Lactobacillus* provenientes del B-Lac, al entrar en contacto con la materia orgánica, promueven su degradación intensa y acelerada (García, 2008), a diferencia de la biodigestión anaerobia donde la microbiota es muy heterogénea y se suele adicionar altas proporciones de agua, reduciendo la concentración de nutrientes y aumentando el rendimiento líquido (Gomero, 2005).

El bajo contenido de fósforo ($0.150 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$) se explica por la lenta liberación de este elemento de los residuos orgánicos, ya que en condiciones ácidas el aluminio y el hierro favorecen la precipitación de fosfatos de hierro y aluminio altamente insolubles, quedando inmovilizado en la parte sólida (biosol). Similar ocurre con el calcio y magnesio, puesto que ambos poseen alta energía de retención y forman complejos insolubles (Sanguino, 1961; citado por Chihuan, 2022). Ricse (2013) menciona que los niveles de N, P, Ca y Mg deben ser lo más elevado posible a fin de suplir las deficiencias nutricionales de los cultivos, más no así en el caso de sodio, puesto que dificulta la absorción de cationes como calcio, magnesio y potasio. Con respecto a los microelementos, las plantas necesitan hierro, manganeso, cobre, zinc y boro en mínimas cantidades. Si bien la mayoría de suelos contienen cantidades suficientes de estos elementos, las carencias se presentan cuando la concentración en sus formas solubles es baja (Ansorena *et al.*, 1995).

II.2 COMPARACIÓN CON ESTÁNDARES

Según la Tabla 5, existen diferencias mínimas y marcadas entre los parámetros de la legislación internacional establecida por la CIBE-Espol (Crow & Ruiz, 2009) y la Sri Lanka Standards Institution (SLSI, 2021), lo cual se explica por el tipo de producto (enmiendas y abonos) y criterios técnicos propios de cada entidad. El pH del Alpa-biol dista mucho del ideal considerando que el valor óptimo para la mayoría de cultivos es cercano al neutro a fin de evitar daños en el follaje (Santander, 2015). Sin embargo, esta condición podría rectificarse mediante procesos de dilución para reducir la acidez, y también la salinidad elevada, sugerida por Buchelli (2014), con la consecuente alteración de los otros componentes físico-químicos. El contenido de materia orgánica, en estrecha relación con

la proporción C:N sí está por encima del mínimo establecido, mientras que el contenido de metales pesados se encuentra muy por debajo de los límites máximos permisibles, no representando de este modo riesgos de contaminación con estos elementos. Los parámetros nitrógeno total y fósforo total son muy bajos, lo cual representa limitaciones en el aporte de estos nutrientes, a excepción del potasio en los periodos 2016 y 2019, del calcio en el 2019 y magnesio en el 2016. Los niveles de cobre sí son los adecuados, tanto en las categorías enmiendas como en abonos líquidos, más no en el caso del zinc y manganeso.

Las características fisicoquímicas del Alpa-biol, en general, no cumplen en su totalidad con los parámetros de los estándares, o solo cumplen en ciertos casos (Tabla 5); sin embargo, teóricamente, tanto el Alpa-biol, ALA y bioles se ajustan por definición a la categoría de “bioenmiendas”, cuya función principal se basa en el mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Huingo, 2019). Asimismo, es conocida la función de los biofermentos como fitoreguladores y aportantes de nutrientes (Ayala, 2015), y en este caso también de EM con propiedades benéficas para los cultivos (Pacheco, 2006), por lo que no se descarta la importancia del Alpa-biol (ALA, ni de los bioles) en agricultura, pudiendo manejarse estratégicamente sus usos mediante dilución, adición de nutrientes faltantes para suplir deficiencias o como fitocontroladores.

II.3 CARACTERES ORGANOLÉPTICOS

El Alpa-biol presentó una consistencia líquida y viscosa, de color marrón-pardo oscuro, indicativo de un elevado contenido de M.O. (García, 2008). El olor fue sutil a azúcar fermentada (ligeramente alcohólico) similar al de la leche cortada, considerando que se empleó lactosuero en alta proporción y que las BAL convierten la lactosa en alcoholes de azúcar (polioles) como manitol, sorbitol, diacetilo y acetaldehído (Parra, 2010). El sabor percibido fue agridulce en concordancia a lo encontrado por García (2008), Buchelli (2014) y Peralta *et al.* (2016). Esto estaría relacionado con el sabor que confiere la melaza y los ácidos orgánicos generados durante el proceso de fermentación. En relación con esto, Parra (2010) menciona que en la fermentación homoláctica, además de ácidos orgánicos y azúcares solubles, se sintetizan edulcorantes, acetaldehído, diacetilo (por fermentación de citratos) y péptidos, mediante lipólisis y proteólisis. Según los diversos estudios, la ausencia de B-Lac conlleva a la generación de olores fétidos debido a la predominancia de enteropatógenos, mientras que su adición promueve la proliferación de *Lactobacillus*, neutralizándolos y contribuyendo en la síntesis de sustancias bioactivas que contribuyen con las propiedades organolépticas (flavor, aroma, sabor, textura) y valor nutricional.

III. Parámetros microbiológicos

Los resultados indicaron la inocuidad del Alpa-biol y el cumplimiento de requisitos microbiológicos por la CIBE-Espol (Crow & Ruiz, 2009) para el caso de enteropatógenos (Tabla 6). Esto evidentemente se debe al efecto bactericida de las BAL sobre cepas competidoras por la elevada acidez que generan y síntesis de sustancias antimicrobianas como peróxido de hidrógeno, superóxido (O_2^-), enzimas bacteriolíticas, bacteriocinas, etc. Por tanto, el Alpa-biol no constituye una fuente potencial de riesgo de contaminación en cultivos ni para las personas que lo manipulen. Un pH extremadamente ácido desestabiliza los componentes celulares y funcionales como las proteínas en microorganismos con pH óptimo cercano al neutro como enteropatógenos, bacterias metanogénicas, mohos y levaduras, mientras que las BAL toleran mucho mejor esta condición ya que poseen un mecanismo de expulsión de hidrogeniones al exterior celular. En tanto, la acción por medio de bacteriocinas consiste en péptidos que se anclan a la membrana celular formando poros, provocando pérdida del potencial de membrana (Madigan *et al.*, 2004). Esto explica la ausencia de coliformes totales, coliformes fecales, *E. coli*, *Salmonella* y *Staphylococcus aureus* en los diversos reportes presentados en la Tabla 2, a diferencia de los bioles carentes de lacto inóculo donde predominan diversos grupos microbianos, incrementando el riesgo de contaminación en campo (Gomero, 2005). Por otra parte, la presencia de *Lactobacillus* se considera benéfica (Tablas 2 y 5) por su conocido efecto fitosanitario y fitoregulador cuando se aplican a semillas, superficies de plantas o suelos al colonizar la rizosfera, promoviendo altas concentraciones de nitrógeno, mejorando la fertilidad, acortando los ciclos productivos y restableciendo el equilibrio microbiológico ecosistémico (Ayala, 2015).

IV. Estabilidad

El Alpa-biol mantuvo estable sus propiedades organolépticas y la inocuidad microbiana. En cuanto al pH y C.E. las variaciones fueron ligeras (Tabla 5). La materia orgánica se redujo ligeramente (Tabla 5) sin afectarse la relación C:N, lo cual, según Figueroa *et al.* (2015), citado por Buchelli (2014), se debe a la acción degradadora de las BAL. Ortega *et al.* (2015) determinaron que la temperatura no influye significativamente sobre las pérdidas de EM ni sobre el pH en un bioproducto sometido por 6 meses a 2 condiciones diferentes de temperatura (12 °C y 25-32 °C). En tanto, Pindi & Satyanarayana (2012) señalan que el período más largo en la vida de un bioproducto varía desde semanas hasta años sin pérdida de las propiedades iniciales.

García (2008) señala que la estabilidad en este tipo de bioproductos está dada por el grado de acidez, manteniendo estable sus características físico-químicas y microbiológicas por más de 180 días. Según Mata (1999), a partir del día 5 el nivel de ácido láctico se

estabiliza, lo cual es comprobado por los diversos antecedentes en condiciones de laboratorio para muestras de 0.5 a 1.0 Kg, donde los mejores tratamientos mantuvieron sus valores de pH ácidos hasta el día 30 (pH < 3.80). En los casos de Silva (2020) y Aguirre (2017) se reportó estabilidad hasta el día 75. Por otra parte, se observó la presencia de mohos durante el almacenamiento como lo reportado por Minh *et al.* (2015) y Herrera (2017), quienes afirman que esto se debe a la proliferación de hongos degradadores de ácidos orgánicos sin afectar la actividad de las BAL, las cuales debieron continuar produciendo ácido láctico de forma paulatina a partir de fuentes de azúcares más complejas o diferentes a las formas solubles.

V. Importancia práctica

Si bien la forma tradicional de uso de biofertilizantes líquidos es la vía foliar mediante aspersión (fumigación), el Alpa-biol en sistemas de producción agrícolas también podría emplearse vía drench (“aguatero”), inoculado en semillas, en fertirrigación como soluciones hidropónicas, y como materia prima para la elaboración de abonos foliares. Además, se podrían incluir otras materias primas en la preparación, tales como harina de rocas, fosfitos, ceniza, etc. Aunque hasta la fecha no existen reportes sobre producción de ALA en zonas altoandinas, los resultados demuestran la eficiencia esperada bajo las condiciones de estudio, siendo similares a los reportes del estudio original en cuanto al monitoreo de pH a escala laboratorio y piloto, esta última en 2 condiciones diferentes de temperatura (Tabla 4). Con ello se reduciría la dependencia de energía durante el elaborado y la maduración. Asimismo, los EM se encuentran en todos los ecosistemas (Higa & Parr, 1994), haciendo más factible la obtención del insumo acelerador fermentativo.

Conclusión

La fermentación homoláctica en condiciones alto andinas, con el uso de estiércol de alpaca, lacto suero bovino, melaza y el consorcio microbiano B-Lac en proporción 40:40:15:5, respectivamente, se constituye un proceso eficiente, ya que en un corto periodo de 10 días es posible obtener un bioproducto con adecuadas características fisicoquímicas, microbiológicas y estable en el tiempo, siendo su uso indicado en sistemas de producción agrícola como bioenmienda.

Agradecimientos

Los autores expresan sus cordiales agradecimientos al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación tecnológica (CONCYTEC) por su apoyo económico para la realización del estudio. A la SAIS Pachacútec S.A.C. por los recursos brindados para la realización de la fase de campo, y al Proyecto PNIA por el apoyo económico en la fase de caracterización.

Literatura citada

- Aguirre E.W. 2017. Producción de biofertilizante mediante fermentación de la cuyinaza por bacteria del género *Lactobacillus* aislada del fermento de la chicha de cebada. Tesis de Ingeniería Ambiental. Universidad Católica Sedes Sapientiae. Lima-Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.14095/209>.
- Aldón D. 2008. Estrategia Ambiental de aprovechamiento de la macroalga *Ulva lactuca* (lechuga de mar) a través del proceso de ensilaje. Tesis de Ingeniería Ambiental. UNALM. Lima-Perú.
- Alva-Araujo J.P., Cano-Arcos G.A., Juscamaita-Morales J.G. & Quipuzco L. 2021. Reduction of pH by homolactic fermentation as indicator of fecal coliform inactivation in wastewater. *Ecología Aplicada*, 20(1), 93-100. <https://doi.org/10.21704/rea.v20i1.1693>.
- Alvarez C., Juscamaita J.G. & Noa J. 2016. Uso de un complejo enzimático y un bioprotector comercial en la estabilidad y transformación de excretas porcinas. *Anales Científicos*, 77(2): 284-289. <https://doi.org/10.21704/ac.v77i2.638>.
- Ansorena J., Marino N. & Legorburu I. 1995. Agricultural use of metal polluted soil near an old lead-zinc mine in Oiartzun (Basque Country, Spain). *Environmental Technology*, 16(3): 213-222. <https://doi.org/10.1080/09593331608616263>.
- Axelsson L. 2004. Lactic Acid Bacteria: Classification and Physiology. En: Salminen S. & von Wright A. (Eds.) *Lactic Acid Bacteria: Microbiological and Functional Aspects*. 1-67. 3ed edition. Marcel Dekker Inc., New York, USA. <https://doi.org/10.1201/9780824752033>.
- Ayala D. 2015. Vigor de shihuahuaco (*Dypteryx* spp.) y biomasa microbiana de suelos degradados en selva con dos biofertilizantes. Tesis para optar el grado de *Magister Scientiae* en Suelos. UNALM. Lima-Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1629>.
- Bossio F.A. 2007. Obtención de un biofertilizante basado en residuos de pescado y roca fosfatada. Tesis de Licenciatura en Biología. UNALM. Lima-Perú.
- Buchelli H.A. 2014. Producción de biofertilizante de bagazo de cebada, excretas de vacuno y suero de quesería mediante fermentación homoláctica. Tesis de Ingeniería Ambiental. UNALM. Lima-Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2335>.
- Cajahuanca R.L. & Miranda N. 2022. Evaluación de la calidad del Abono Líquido Orgánico Acelerado (ALOA) producido por fermentación láctica de estiércol porcino obtenido de la Asociación de poricultores de Saracoto Alto, ubicada en Cajamarquilla, distrito de Lurigancho Chosica. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Peruana Unión. Lima-Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12840/5881>.
- Cárdenas J.M. 2014. Obtención de biocombustible y abonos orgánicos a partir de vísceras de pollo. Tesis de Ingeniería Ambiental. UNALM. Lima-Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2336>.
- Castillo L., Castañeda L. & Quinteros Z. 2014. Aves del campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima-Perú) - Una revisión de su abundancia, distribución y diversidad desde 1992 al 2010. *Ecología Aplicada*, 13(2): 117-128. DOI: <https://doi.org/10.21704/rea.v13i1-2.462>.

- Chihuan E.B. 2022. Elaboración y evaluación de un abono líquido procedente de la fermentación láctica de malezas. Tesis de Ingeniería Agronómica. UNALM. Lima-Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5328>.
- Crow P. & Ruiz O. 2009. Aplicación de métodos estadísticos multivariados en el estudio de calidad de enmiendas orgánicas sólidas y líquidas preparadas en las provincias de Guayas, Los Ríos y El Oro. Artículo de Tesis de Ingeniero en Estadística Informática. CIBE – ESPOL (Escuela Superior Politécnica del Litoral - Centro de Investigaciones Biológicas del Ecuador). Guayaquil, Ecuador. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/2032>.
- Cupe B.E. & Juscamaita J.G. 2018. Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación homoláctica para la producción acelerada de abono orgánico. *Ecología Aplicada*, 17(1): 107-118. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v17i1.1179>.
- Florez M.A., Roldán D.J. & Juscamaita J.G. 2020. Evaluación de fitotoxicidad y caracterización de un fertilizante líquido elaborado mediante fermentación láctica utilizando subproductos del procesamiento de trucha (*Oncorhynchus mykiss*). *Ecología Aplicada*, 19(2): 121-131. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v19i2.1563>.
- García L.A. 2008. Uso de bacterias probióticas en el ensilado de residuos de pescado. Tesis de Licenciatura en Biología. UNALM. Lima-Perú.
- García G. 2016. Influencia de la revegetación con *Festuca humilior* y la incorporación de fertilizantes en la recuperación de pastizales degradados. Tesis para optar el título de Ingeniero Zootecnista. UNALM. Lima-Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2626>.
- Gomero L. 2005. Los biodigestores campesinos: una innovación para el aprovechamiento de los recursos orgánicos. *LEISA Revista de Agroecología*, 21(1): 25-27. <https://www.leisa-al.org/web/images/stories/revistapdf/vol21n1.pdf>.
- Herrera R.E. 2017. Elaboración de un abono líquido a partir de residuos de fresa (*Fragaria x ananassa*) por fermentación láctica. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. UNALM. Lima-Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3590>.
- Higa T. & Parr J.F. 1994. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment (Vol. 1). Atami: International Nature Farming Research Center. <https://www.em-pars.com/wp-content/uploads/2018/05/7-beneficial-and-effective-microorganisms-for-a-sustainab-.pdf>.
- Huingo J.L. 2019. Evaluación de la producción de abono líquido estabilizado mediante fermentación acidoláctica de los residuos provenientes de un sistema de saneamiento ecológico seco. Trabajo de suficiencia profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Lima-Perú. <https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/170>.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods). 1986. *Microorganisms in Foods 2. Sampling for Microbiological Analysis: Principles and Specific Applications*, 2nd edn. Toronto: University of Toronto Press.
- Leiva B.F. 2018. Elaboración de biofertilizante a partir de estiércol de ganado vacuno y efluente del proceso de fermentación cervecera mediante fermentación homoláctica. Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental. UNALM. Lima-Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3740>.
- López C.L. 2018. Biofertilizante acelerado de excretas porcinas, sangre bovina y suero lácteo hidrolizados enzimáticamente y estabilizado con bacterias ácido lácticas. Tesis para optar el Título de Ingeniero Zootecnista. UNALM. Lima-Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3495>.
- Madigan M., Martinko J. & Parker J. 2004. *Brock: Biología de los Microorganismos*. 10th ed. Prentice Hall. Madrid.
- Mata C. 1999. Empleos de fermentos lácticos en la fabricación de productos cárnicos. Memoria presentada para optar al grado de Doctor en Veterinaria. Universidad de Córdoba. España. <http://hdl.handle.net/10396/219>.
- Medina A.M. 2013. Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores. Tesis de Ingeniería Ambiental. UNALM. Lima-Perú.
- Meza L.M. 2014. Elaboración de abono líquido mediante fermentación homoláctica de papas de descarte utilizando el consorcio microbiano ácido láctico B-lac. Tesis para optar el título Profesional de Biólogo. UNALM. Lima-Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1877>.
- Minh Q., Mimoto H. & Nakasaki K. 2015. Inoculation of lactic acid bacterium accelerates organic matter degradation during composting. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 104: 377-383. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.07.007>.
- Moreno L.A. 2019. Calidad de abonos orgánicos a partir del estiércol porcino y su efecto en el rendimiento del maíz chala. Tesis para optar el Grado de *Magister Scientiae* en Producción Animal. UNALM. Lima-Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3942>.
- Ortega G.M., Díaz de Villegas M.E., Delgado G. & Martínez A. 2015. Estudio de estabilidad del bioproducto Lebame. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, 49(3): 3-8. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223144218001>.
- Pacheco F. 2006. Lactofermentos: Una alternativa en la producción de abonos orgánicos líquidos fermentados. INA (Instituto Nacional de Aprendizaje). San José. https://www.rapalurusitio_1/organicos/articulos/Lactofermentos.pdf.
- Parra R.A. 2010. Bacterias ácido lácticas: Papel funcional en los alimentos. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8(1): 93-105. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotechnologia/article/view/724>.
- Peña N. 2008. Utilización de residuos de papa (*Dosidicus gigas*) para la elaboración de un fertilizante orgánico. Tesis de Ingeniería Ambiental. UNALM. Lima-Perú.
- Peralta L., Juscamaita J.G. & Meza V. 2016. Obtención y caracterización de abono orgánico líquido a través del tratamiento de excretas del ganado vacuno de un establo lechero usando un consorcio microbiano ácido láctico. *Ecología Aplicada*, 15(1):1-10. <https://doi.org/10.21704/rea.v15i1.577>.

- Pindi P. & Satyanarayana S.D.V. 2012. Liquid Microbial Consortium. A potential tool for sustainable soil health. *Journal of Biofertilizers & Biopesticides*, 3(4): 1-9. <http://dx.doi.org/10.4172/2155-6202.1000124>.
- Prado X. 2013. Obtención de un biofertilizante a partir de excreta de ovino, melaza y suero lácteo fermentado del establo de la Universidad Nacional Agraria la Molina para el mejoramiento en la actividad agrícola. Tesis para obtener el Título Profesional de Biólogo en la Especialidad de Biotecnología. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho-Perú. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5234>.
- Quiñones H., Trejo W. & Juscamaita J. 2016. Evaluación de la calidad de un abono líquido producido vía fermentación homoláctica de heces de alpaca. *Ecología Aplicada*, 15(2): 133-142. <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.753>.
- RedCorn R. & Engelberth A.S. 2016. Identifying conditions to optimize lactic acid production from food waste co-digested with primary sludge. *Biochemical Engineering Journal*, 105 Part A: 205-213. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2015.09.014>.
- Ricse Y.C. 2013. Elaboración de biofertilizante acelerada vía fermentación homoláctica del residuo del procesamiento de rocoto (*Capsicum pubescens*). Tesis de Ingeniería Ambiental UNALM. Lima-Perú.
- Rojas H.R. 2014. Estudio del efecto de la aplicación de microorganismos efectivos (EM) en la calidad de biol en un proceso de biodigestión anaeróbica. Tesis para optar por el Título de Ingeniero Ambiental. UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1878>.
- Román C.C. 2012. Tratamiento biológico de la cuyinaza a través de un proceso de fermentación homoláctica. Tesis de Ingeniería Ambiental. UNALM. Lima-Perú.
- Rueda J.E. 2015. Revalorización de las aguas de lavado de café (*coffea arabica var. arabica*) y excretas de vacuno en la producción de fertilizante mediante fermentación láctica. Setiembre-diciembre, 2014. Tesis para optar el Título Profesional de Licenciado en Biología. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque. Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/21>.
- Santander K.E. 2015. Desarrollo técnico de un hidrolizado líquido de gallinaza como fertilizante foliar. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima-Perú. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/1417>.
- Silva K. 2020. Tratamiento biológico de residuos orgánicos provenientes del comedor universitario UCSS-Lima por una cepa de *Lactobacillus fermentum* Beijerinck aislada de la chicha de siete semillas. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. UNALM. Lima-Perú. <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/751>.
- SLSI. 2021. Specification for liquid organic fertilizers. SRI Lanka Standard 1702:2021 UDC 628. SLSI (Sri Lanka Standards Institution). Colombo 8, Sri Lanka. https://www.agrimin.gov.lk/web/images/pdf/Procurement/2021.07.01/sls%201702_2021.pdf.
- Soria M.J., Ferrera R., Etchevers J., Alcantar G., Trinidad J., Borges L. & Pereyda G. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana*, 19(4): 353-362. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319408.pdf>.
- Soto G & Meléndez G. 2004. Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. *Revista Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*, 72(Hoja Técnica No. 48): 91-97. <https://kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/318>.
- Trujillo M., Suárez F. & Gallego D. 1998. Fermentación láctica en continuo a partir de suero dulce de leche desproteinizado. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 1(1): 45-50. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/29984/56751>.
- Zanabria J.I. 2019. Evaluación de la calidad de biol de segunda y tercera generación de estiércol de cuy producido en un biodigestor instalado en el instituto regional de la costa de la UNALM. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. UNALM. Lima-Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4044>.

PRODUCCIÓN DE BOKASHI LÍQUIDO EN LA SIERRA CENTRAL DEL PERÚ

Julio - Diciembre 2024

Tabla 1. Características físico-químicas de interés agronómico de abonos líquidos acelerados elaborados con el uso de microorganismos benéficos.

Nº	Autor	Tiempo óptimo (días)	pH	C.E. (Ds·m ⁻¹)	M.O. (g·l ⁻¹)	C:N	S.T. (g·l ⁻¹)	Macronutrientes (g·l ⁻¹)					Micronutrientes (mg·l ⁻¹)					Metales pesados (mg·l ⁻¹)			
								N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Cd	Pb	Cr
01	Bossio (2007)	3	3.60	16.5	148.42	9.1	172.71	9.485	0.31	3.296	1.672	0.696	1.072	30.0	2.25	4.2	2.4	21.0	-	-	-
02	Peña (2008)	4	4.30	20.4	186.28	6.4	216.98	16.8	1.222	8.16	1.52	0.864	2.28	64.8	6.4	16.8	2.4	133.0	-	-	-
03	Aldón (2008)	6	4.60	22.3	-	-	-	2.21	0.324	7.362	0.873	2.835	-	994.5	17.5	30.0	25.5	62.32	-	-	-
04	García (2008)	-	4.35	23.7	-	-	-	20.0	3.60	7.80	7.30	1.30	2.10	41.1	3.3	4.9	1.78	9.05	-	-	-
05	Román (2012)	5	4.54	41.0	162.4	12.9	248.0	7.31	3.518	5.88	6.40	2.94	2.22	140.4	3.7	26.8	35.8	11.4	0.12	2.44	1.10
06	Medina (2013)	5	3.66	27.2	108.6	33.6	-	1.88	0.203	9.006	1.523	1.044	0.591	-	-	-	-	0.766	4.41	0.572	-
07	Prado (2013)	6	3.78	28.2	150.4	22.9	194.8	3.815	1.090	11.4	3.010	1.275	1.027	116.5	2.0	14.33	15.1	5.83	-	-	-
08	Ricse (2013)	5	3.69	20.1	115.4	24.6	137.0	2.72	0.259	8.04	0.836	0.556	0.214	19.2	1.48	1.94	2.6	3.87	-	-	-
09	Cárdenas (2014)	4	4.05	18.4	137.16	3.8	155.0	21.0	1.802	16.00	2.82	1.26	1.32	110	24.0	58.0	8.0	550.4	-	-	-
10	Meza (2014)	5	3.67	24.1	117.3	25.3	147.2	2.69	0.276	5.317	1.317	0.750	0.450	38.8	1.53	4.12	3.48	6.01	0.017	2.18	0.40
11	Buchelli (2014)	5	3.72	22.2	72.5	11.8	95.4	3.55	0.955	5.190	2.44	0.755	0.755	33.15	3.15	21.6	12.3	8.74	0.1	0.12	1.08
12	Santander (2015)	-	4.16	26.9	137.7	10.6	233.5	7.53	4.86	11.10	14.55	2.20	1.28	189.9	11.4	101.7	107.3	24.5	-	-	-
13	Rueda (2015)	5	3.50	20.6	104.3	33.9	123.04	1.78	0.262	4.142	1.825	0.683	0.231	33.84	1.99	5.53	7.75	3.74	0.099	0.485	0.203
14	Ayala (2015)	-	3.60	16.9	37.70	15.3	53.60	1.43	0.071	4.440	0.140	0.326	0.140	14.34	0.40	0.74	0.18	5.96	-	-	-
15	Peralta <i>et al.</i> (2016)	5	3.75	25.7	181.1	25.0	233.0	4.20	0.744	17.2	5.200	1.74	1.04	516	14	60.0	28.0	19.0	-	-	-
16	Alvarez <i>et al.</i> (2016)	5	4.52	27.1	161.0	17.6	210.0	5.32	2.964	8.85	6.31	1.95	0.970	166	104	15.23	41.0	8.47	0.005	1.82	1.055
17	Herrera (2016) citado por Herrera (2017)	-	3.74	-	87.72	28.6	-	1.78	0.374	3.887	1.102	0.588	0.5175	58.5	4.64	17.49	3.79	2.98	0.17	0.07	0.09
18	Herrera (2017)	5	3.64	8.55	32.4	29.8	20.45	0.63	0.120	2.30	0.3575	0.355	1.15	2.68	1.5	1.50	1.98	1.81	0.17	0.07	0.09
19	Aguirre (2017)	5	4.15	34.7	173.1	16.7	249.12	6.02	3.350	18.9	5.670	3.050	0.975	366.0	4.9	27.5	57.55	15.74	-	-	-
20	Egusquiza (2017) citado por Leiva (2018)	-	4.40	31.1	158.56	36.5	215.68	2.52	1.818	12.95	5.350	1.575	0.86	99.7	5.4	42.4	42.7	8.82	-	-	-
21	Cupe & Juscamaita (2018)	5	3.73	23.4	129.0	40.9	158.0	1.83	0.60	5.80	1.64	0.662	0.69	109.8	1.96	8.7	6.94	4.13	N.D.	0.54	2.01
22	Leiva (2018)	5	3.70	18.3	97.91	8.62	124.81	4.51	0.672	5.475	3.160	0.755	0.655	33.9	5.6	27.05	11.5	5.79	0.07	1.2	0.55
23	López (2018)	5	3.69	21.6	177.74	9.87	211.64	10.44	2.532	6.50	5.700	1.34	3.90	234.0	34.0	315.0	47.1	7.58	-	-	-
24	Moreno (2019)	5	4.00	20.1	108.28	13.7	136.92	4.59	2.932	5.97	2.235	1.600	0.395	142.1	53.0	128.4	31.2	2.92	-	-	-
25	Huingo (2019)	15	4.29	44.6	107.74	17.7	-	3.52	0.478	0.523	0.994	1.01	4.64	233	0.48	8.82	13.4	2.64	0.16	1.27	0.65
26	Zanabria (2019)	5	3.65	24.3	91.42	19.8	116.26	2.67	0.119	6.65	1.055	0.92	0.580	29.8	1.30	3.0	2.80	5.81	0.22	2.15	0.82
27	Florez <i>et al.</i> (2020)	5	4.01	21.1	130.84	6.3	200.47	12.06	0.953	4.23	0.663	0.55	2.817	52.0	25.2	48.1	1.47	2.59	0.16	0.6	2.29
28	Silva (2020)	5	3.43	24.9	168.29	40.2	242.10	2.43	0.244	2.438	2.080	0.0978	0.507	34.22	0.92	5.00	4.86	2.58	-	-	-
29	Chihuan (2022)	5	3.46	27.2	86.10	23.6	115.96	2.11	0.164	4.2125	2.489	0.875	0.7575	30.65	0.68	20.25	8.23	2.68	0.32	0.93	0.66
30	Cajahuana & Miranda (2022)	5	4.10	36.6	151.54	10.19	199.56	8.624	4.150.5	6.90	6.060	1.740	1.460	383.0	0.60	5.60	4.90	4.56	-	-	-
	Promedio (□)	5.32	3.92	24.75	125.75	19.83	168.45	5.85	139.58	7.33	3.21	1.21	1.23	148.89	11.63	35.33	18.35	32.55	0.18	1.31	0.83
	Desviación estándar (s)	2.1	0.3	7.5	40.9	10.8	61.3	5.4	757.5	4.4	3.0	0.8	1.1	204.8	21.5	61.6	23.5	102.9	0.2	1.2	0.7
	C.V. (%)	39.4	8.9	30.2	32.5	54.3	36.4	92.5	542.7	59.8	93.8	63.8	87.1	137.6	184.6	174.3	128.3	316.0	106.1	92.7	79.3

Elaboración propia (Compilación de estudios 2007-2022)

(1): 67.96% Hidrolizado de residuos de pescado, 2.91% Roca fosfatada, 9.71% Melaza y 19.42% B-Lac; (2): 75% Hidrolizado de residuo de pota, 10% Melaza y 15% B-Lac; (3): 90% Macro algas, 5% Melaza, 5% B-Lac; (4): Fertilizante de residuos de pescado sin hidrolizar; (5): 28% Cuyinaza, 42% Agua, 10% B-Lac, 20% Melaza; (6): 70% Hidrolizado de heces ovinas, 10% B-Lac, 20% Melaza; (7): 65% Heces de ovino, 20% Melaza, 15% suero lácteo fermentado, B-Lac; (8): 75% Residuos de rocoto; 10% B-Lac; 15% Melaza; (9): 60% Visceras hidrolizadas de pollo sin grasa, 20% Melaza, 20% B-Lac; (10): 37.5% Papas de descarte, 37.5% Agua, 5% B-Lac, 20% Melaza; (11): 24.2% Estiércol bovino, 24.2% Bagazo de cebada, 31.6% Lactosuero, 15% Melaza, 5% B-Lac; (12): Biol de hidrolizado líquido de gallinaza; (13): 15% Melaza, 10% B-lac, 75% Agua de lavado de café + estiércol vacuno; (14): Suelo de bosque, salvado de trigo, agua desionizada, melaza y levaduras; (15): 65% Heces bovinas, 15% B-Lac, 20% Melaza; (16): 75% Hidrolizado de heces porcinas, 15% B-Lac, 10% Melaza; (17): Biol de poda de césped (*Stenotaphrum secundatum*); (18): 90% Residuos de fresa y agua, 5% B-Lac, 5% Melaza; (19): 0.15 L inóculo de *Lactobacillus*, 0.25 Kg melaza caña, 0.60 Kg cuyinaza; (20): Biol de Gallinaza y suero de leche; (21): 75% Lodos residuales de cervecería, 20% Melaza, 5% B-Lac; (22): 86% Estiércol vacuno + efluente cervecería, 8.7% Melaza: 4.34% B-Lac; (23): 27% Excreta porcina, 27% Sangre bovina, 26% Suero lácteo, 5% B-Lac, 15% Melaza; (24): 80% Estiércol porcino, 10% Melaza y 10% B-Lac; (25): 10% Melaza, 2.5% BAL, 87.5% Excretas + orina humana; (26): 70% Hidrolizado de cuyinaza, 20% Melaza, 10% B-Lac; (27): 10% Melaza, 10% B-lac, 80% Hidrolizado vísceras de trucha; (28): 64% Residuos orgánicos de comedor, 18% Melaza, 18% Inóculo-Lac; (29): 85% Mezcla malezas-agua, 10 % Melaza y 5 % B-Lac; (30): 33.3% Estiércol porcino, 33.3% agua, 16.7% harina de pescado, 12.5% Melaza, 4.2% EM (Garlac).

Tabla 2. Características microbiológicas de abonos líquidos acelerados.

Autores	Enteropatógenos					Mohos y levaduras	<i>Lactobacillus</i> sp.	Mesófilos viables	Parásitos
	Coliformes totales	Coliformes fecales	<i>E. coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Salmonella</i> spp.				
Aldón (2008)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	--	--	--	--	--	--	--
Román (2012)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	--	--	Ausente	--	--	--	--
Medina (2013)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	--	< 3 NMP·ml ⁻¹	(en 25 ml): Ausente	--	--	--	--
Prado (2013)	< 3 NMP·g ⁻¹	< 3 NMP·g ⁻¹	--	--	--	< 10 UFC·g ⁻¹	BAL: 19 x 10 ⁵ UFC·g ⁻¹	--	--
Ricse (2013)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	--	--	--	--	--	--	--
Meza (2014)	< 3 NMP·g ⁻¹	< 3 NMP·g ⁻¹	--	--	--	--	--	--	--
Buchelli (2014)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	--	--	12 x 10 ³ UFC·ml ⁻¹	22 x 10 ⁷ UFC·ml ⁻¹	--	--
Cárdenas (2014)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	--	--	--	--	--	--	--
Rueda (2015)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	--	--	45 x 10 ² UFC·ml ⁻¹	76 x 10 ⁵ UFC·ml ⁻¹	--	--
Alvarez <i>et al.</i> (2016)	< 1 x 10 ¹ UFC·ml ⁻¹	-	--	< 1 x 10 ¹ UFC·ml ⁻¹	< 1 x 10 ¹ UFC·ml ⁻¹	--	--	--	--
Peralta <i>et al.</i> (2016)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	--	< 3 NMP·ml ⁻¹	Ausente en 25 g	< 3 NMP·ml ⁻¹	--	--	--
Herrera (2017)	< 10 UFC·g ⁻¹	-	< 10 UFC·g ⁻¹	--	Ausencia en 25 g	< 10 UFC·g ⁻¹	42 x 10 ⁶ UFC·ml ⁻¹	--	--
Aguirre (2017)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	--	< 3 NMP·ml ⁻¹	Ausencia en 25 ml	Mohos: 25 x 10 ⁴ UFC·ml ⁻¹ Lev.: 61 x 10 ⁴ UFC·ml ⁻¹	--	95 x 10 ⁵ UFC·ml ⁻¹	--
Cupe & Juscamaita (2018)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	--	--	--	--	--	--	Ausencia de huevos de helmintos
Leiva (2018)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	--	Ausencia en 25 ml	< 10 UFC·ml ⁻¹	< 10 UFC·ml ⁻¹	--	Ausencia de huevo de helmintos
López (2018)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 10 NMP·ml ⁻¹	Ausencia en 25 ml	20 x 10 UFC·ml ⁻¹	7 x 10 UFC·ml ⁻¹	--	--
Moreno (2019)	< 3 NMP·g ⁻¹	< 3 NMP·g ⁻¹	< 3 NMP·g ⁻¹	--	--	< 10 UFC·g ⁻¹	27 x 10 ² UFC·g ⁻¹	83 x 10 ² UFC·g ⁻¹	--
Huingo (2019)	6.8 NMP·ml ⁻¹	6.8 NMP·ml ⁻¹	6.8 NMP·ml ⁻¹	--	Ausencia	--	--	--	< 1 helmintos·l ⁻¹
Zanabria (2019)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	--	Ausencia	--	--	--	--
Florez <i>et al.</i> (2020)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	Ausencia en 25 ml	5.9 x 10 ³ UFC·ml ⁻¹	1.5 x 10 ⁷ UFC·ml ⁻¹	5.6 x 10 ³	--
Silva (2020)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	--	--	--	20 x 10 ⁴ UFC·ml ⁻¹	--	16 x 10 ⁴ UFC·ml ⁻¹	--
Chihuan (2022)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	--	--	55 x 10 ⁵ UFC·ml ⁻¹	18 x 10 ⁶ UFC·ml ⁻¹	--	--
Cajahuanca & Miranda (2022)	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	< 3 NMP·ml ⁻¹	--	--	< 3 UFC·ml ⁻¹	25 x 10 ² UFC·ml ⁻¹	--	--

*Los valores < 3 y < 10 indican ausencia de microorganismos; (--): Parámetros no determinados en los ensayos. Elaboración propia (Compilación de estudios 2008-2022).

Tabla 3. Composición microbiológica de consorcios microbianos benéficos locales.

Microorganismo	B-Lac ¹		GARLAC ²
	García (2008)	Alva-Araujo <i>et al.</i> (2021)	Cajahuanca & Miranda (2022)
<i>Lactobacillus</i> sp. (UFC·ml ⁻¹)	7 x 10 ⁷	-	> 11 x 10 ⁶
Levaduras (UFC·ml ⁻¹)	2.5 x 10 ⁵	Mohos y levaduras:	Mohos y levaduras:
Mohos (UFC·ml ⁻¹)	< 10*	70 x 10	11 x 10 ²
Bacterias mesófilas aeróbicas viables (UFC·ml ⁻¹)	3.3 x 10 ⁴	42 x 10	24 x 10 ⁶
Coliformes totales (NMP·ml ⁻¹)	< 3*	< 3*	< 3
Coliformes fecales (NMP·ml ⁻¹)	< 3*	< 3	< 3
Enumeración de <i>E. coli</i>	< 3	< 3	< 3

* Valores < 3 y < 10 indican ausencia de microorganismos en el ensayo. NMP: Número más probable, UFC: Unidad formadora de colonia. ¹Laboratorio de Biorremediación-UNALM; ²Noga-Fer Perú S.A.C.

Tabla 4. Variación del pH del Alpa-biol en diferentes escenarios.

Medición de pH		Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
Quiñones <i>et al.</i> (2016)	0.5 Kg – 40 °C	6.16	4.06	4.01	4.15	3.65	3.57	-	-	-	-	3.55
	50 Kg – 40 °C	5.94	4.07	3.60	3.58	3.53	3.42	-	-	-	-	-
	50 Kg – 25 °C	5.79	5.27	4.02	3.91	3.72	3.55	-	-	-	-	-
Alpa-biol alto andino	150 Kg – 10 °C	6.45	4.42	4.24	4.36	4.06	3.95	3.82	3.91	3.93	3.86	3.78

Tabla 5. Comparación físico-química entre biofermentos y estándares.

Características físico-químicas	Quiñones <i>et al.</i> (2016)	Resultados		Abonos líquidos acelerados	Bioles	Estándares de calidad		CONDICIÓN	
		2018	2019			Enmiendas orgánicas líquidas (CIBE-Espol) ¹	Abonos orgánicos líquidos (SLSI) ²		
Componentes principales	pH	3.83	3.43	3.47	3.92	6.96	7.0-8.8	6.0-8.5	NO CUMPLE
	C.E. (ds·m ⁻¹)	23.40	19.6	23.1	24.75	16.24	-	20.0	CUMPLE
	S.T. (g·l ⁻¹)	177.88	176.9	134.96	165.8	28.22	-	-	-
	M.O. (g·l ⁻¹)	137.02	147.7	112.71	125.6	10.53	35-40%	8.62% (mín.)	CUMPLE
Macroelementos (g·l ⁻¹)	C:N	21.50	20.74	21.1	19.83	4.58	12-14	5.0 (mín.)	CUMPLE
	N	3.696	4.13	3.08	5.85	1.66	2.0-2.6%	1.0% (mín.)	NO CUMPLE
	P	0.6581	0.150	0.591	139.58	0.42	1.5-2.0%	0.5% (mín.)	NO CUMPLE
	K	8.70	1.950	5.718	7.33	2.31	1.5%	0.5% (mín.)	NO CUMPLE
	Ca	3.335	1.247	20.90	3.21	1.175	2.0%	-	CUMPLE
	Mg	12.50	0.271	0.788	1.21	0.306	1.0-1.3%	-	NO CUMPLE
	Na	0.59	0.190	0.55	1.23	0.786	-	-	-
Microelementos totales (mg·l ⁻¹)	Fe	280.45	20.8	54.36	148.89	23.3	-	-	-
	Cu	2.40	0.65	1.20	11.63	0.76	0.5 ppm	-	CUMPLE
	Zn	11.65	9.25	18.36	35.33	2.18	160 ppm	-	NO CUMPLE
	Mn	71.80	16.8	46.24	18.35	6.93	500 ppm	-	NO CUMPLE
Metales Pesados (mg·l ⁻¹)	B	7.80	1.27	5.59	32.55	34.16	-	-	-
	Pb	0.03	0.03	0.03	1.31	-	-	1.0	CUMPLEN
	Cd	0.28	0.31	0.35	0.18	-	-	0.5	
	Cr	0.02	0.03	0.04	0.83	-	-	0.5	

¹ Crow & Ruiz (2009); ² SLSI (2021).

Tabla 6. Resultados del análisis microbiológico.

Parámetros	Alpa-biol			Abonos acelerados	CIBE- ESPOL ⁽²⁾
	2015 ⁽¹⁾	2018	2019		
Recuento de mohos y levaduras (UFC·g ⁻¹)	< 10	< 10	-	-	-
Recuento de <i>Lactobacillus</i> sp. (UFC·g ⁻¹)	53 x 10	45 x 10	-	-	-
Enumeración de Coliformes totales (NMP·g ⁻¹)	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Enumeración de Coliformes fecales (NMP·g ⁻¹)	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Enumeración de <i>E. coli</i> (NMP·g ⁻¹)	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Detección <i>Salmonella</i> sp. en 25 ml	--	--	--	--	Ausencia en 25 ml
Huevos de helmintos	< 1·l ⁻¹	< 1·l ⁻¹	--	< 1·l ⁻¹	Ausencia de helmintos

⁽¹⁾ Bioproducto original (Quiñones *et al.*, 2016); ⁽²⁾ Crow & Ruiz (2009).

Tabla 7. Métodos usados para el análisis físico-químico del abono líquido estabilizado.

	Parámetro	Unidad	Método empleado
Componentes principales	pH	pH	Potenciometría
	Conductividad eléctrica	dS·cm ⁻¹	Conductimetría
	Sólidos totales	g·l ⁻¹	Gravimetría
	Densidad	g·ml ⁻¹	Probeta
	Materia orgánica	g·l ⁻¹	Walkley y Black
Macro y microelementos (totales)	N	mg·l ⁻¹	Kjeldahlk
	P	mg·l ⁻¹	Amarillo de vanadato molibdato
	K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn	mg·l ⁻¹	Espectrometría de absorción atómica
	B	mg·l ⁻¹	Colorimetría-Curcumina
Metales pesados	Pb, Cd, Cr	mg·l ⁻¹	Espectrometría de absorción atómica

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) - UNALM.

¹ Programa Doctoral en Ciencia Animal. Universidad Nacional Agraria la Molina. 20161514@lamolina.edu.pe. ORCID: 0009-0001-2320-5645.

² Universidad Agraria la Molina / Facultad de Zootecnia / Departamento de Producción Animal. Av. La Molina s/n. La Molina, Lima. Apartado Postal 12-056, Lima 12, Perú. gcc.@lamolina.edu.pe. ORCID: 0000-0002-2572-510X.

³ Universidad Agraria la Molina / Facultad de Ciencias / Departamento Académico de Biología. Av. La Molina s/n. La Molina, Lima. Apartado Postal 12-056, Lima 12, Perú. jjm@lamolina.edu.pe. ORCID: 0000-0002-2198-0461.