

Revisión del estado del conocimiento y uso de los fermentos líquidos y del biol en los Andes



Autores

Brendan O'Neill
Vanessa Ramos-Abensur

Créditos

Título: Revisión del estado del conocimiento y uso de los fermentos líquidos y del biol en los Andes. **Autores:** Brendan O'Neill y Vanesa Ramos-Abensur.

1era edición: Setiembre, 2022

Edición y diagramación: Natalia Palomino y Vanesa Ramos-Abensur

Fotografías: Rikolto

Esta publicación fue realizada en el marco del proyecto de investigación "Estado del conocimiento y uso de los bioinsumos en los Andes", coordinada por investigadores de Rikolto y la Universidad de Michigan; con el apoyo de la Fundación McKnight.



Agradecimientos:

Agradecemos al Comité Científico del proyecto, conformado por Rémi Thinard, Juanfran López, Steven Vanek, Sara Latorre Tomás, Luis Galarza Romero, y Laurence Maurice, por sus aportes, retroalimentación y guía durante todo el proceso de la investigación. Un agradecimiento especial a Juan Morales Soliz, Julio De La Cruz Torreblanca, Mario Wayllas Pazmiño, y José Calán Bravo por su valiosa colaboración en la realización de las entrevistas, y a Fiorella Barraza Castelo por su participación en la investigación. A todos los agricultores, técnicos de campo y expertos de Bolivia, Ecuador y Perú que nos brindaron su testimonio.

Índice

1. Resumen.....	6
2. Introducción	9
3. Métodos	10
A. Revisión bibliográfica.....	11
B. Entrevistas	12
4. Contexto mundial y regional para el desarrollo de bioinsumos líquidos	15
A. Digestores anaeróbicos en comunidades rurales y uso de efluentes en cultivos	15
B. El movimiento agroecológico promueve los fermentos líquidos como fertilizantes	16
C. Reconocimiento de los microorganismos benéficos para la salud del suelo y de las plantas.....	18
5. Tipología de los preparados líquidos aplicados al suelo y a las plantas	20
6. Procesos microbianos y bioquímicos en los fermentos líquidos	24
A. Digestión anaeróbica y fermentación líquida: procesos básicos y pasos clave	24
B. Microorganismos en los fermentos líquidos	26
C. Insumos y funcionamiento.....	27
D. Transformación de nutrientes durante y después de la fermentación	27
7. Contexto andino para el uso de fermentos líquidos y biol	30
A. El 'biol' en la literatura.....	30
B. Papel de los componentes biológicos	31
C. Proceso de fermentación y control	33
D. Manuales y promoción del biol en los Andes.....	33
E. Preparación y uso del biol en el campo.....	35
8. Propiedades del biol en los Andes.....	39
A. Nutrientes en los fermentos líquidos	39
B. pH de los fermentos líquidos	42
C. Biosol	43
D. Microbiología y bioquímica	43
9. Agronomía y crecimiento de las plantas.....	47
A. Efectos en las plantas	47
B. Fermentos líquidos y suelo	49
C. Conocimiento y uso del biol en los Andes	50

<i>D. Bioinsumos adicionales en los Andes</i>	52
10. Experiencia de los agricultores y los promotores en los Andes.....	55
<i>A. Transmisión de conocimientos y espacios de aprendizaje</i>	55
<i>B. Factores que favorecen o desfavorecen el uso de biol</i>	56
11. Consideraciones finales y próximos pasos.....	60
<i>A. Vacíos de información y prioridades para la investigación</i>	60
<i>B. Conclusiones y recomendaciones</i>	61
Referencias.....	65

Abreviaturas

AGV	Ácidos grasos volátiles
BAL	Bacterias lácticas
C	Carbono
C:N	Relación entre el carbono y el nitrógeno
Ca	Calcio
CE	Conductividad eléctrica
CH ₄	Gas metano
CO ₂	Dióxido de carbono
Cu	Cobre
DBO	Demanda biológica de oxígeno
Fe	Hierro
H ₂ S	Gas sulfuro de hidrógeno
HMA	Hongos micorrícicos arbusculares
K	Potasio
ME	Microorganismos eficientes
Mg	Magnesio
Mn	Manganeso
N ₂	Gas nitrógeno (dinitrógeno)
N ₂ O	Gas de óxido nitroso
NH ₃	Amoníaco
NH ₄ ⁺	Amonio
NO ₃ ⁻	Nitrato
P	Fósforo
PGPR	Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal
RSP	Bacterias solubilizadoras de fosfatos
S	Azufre
SO ₄ ²⁻	Sulfato
Zn	Zinc

1. Resumen

Se hizo una revisión del estado actual del conocimiento y del uso práctico de los fermentos líquidos en los Andes, a través de una amplia revisión de la literatura existente y de entrevistas con agricultores y promotores. La revisión bibliográfica se recopiló a través de búsquedas en literatura blanca y gris, incluyendo investigaciones revisadas por pares, tesis académicas y material promocional de organizaciones no gubernamentales y entidades estatales. Las entrevistas se realizaron en Bolivia, Ecuador y Perú, en múltiples regiones y con diversos usuarios, promotores y agricultores. La estructura básica de esta revisión incluye 1) antecedentes del desarrollo de los bioinsumos líquidos fermentados para los cultivos en los Andes 2) conceptos críticos relacionados con la digestión anaeróbica y la fermentación y su relación con el destino de los nutrientes de las plantas y otros productos finales 3) información sobre la literatura existente de investigación y promoción respecto a la formulación, las propiedades químicas y la aplicación de los fermentos líquidos a los cultivos 4) estado del conocimiento en los Andes dentro del contexto de una investigación más amplia sobre los bioinsumos. Esta sección final incluye puntos clave para avanzar en la investigación de los fermentos líquidos en los Andes. Nuestra revisión indica que el uso de los fermentos líquidos en los cultivos se desarrolló junto con la promoción de los digestores anaeróbicos domésticos para el biogás en la región andina. El excedente líquido que sale de estos digestores se denomina "biol". La literatura y los conceptos de la digestión anaeróbica son útiles para entender las propiedades y la importancia agronómica del biol y otros fermentos. Junto con el biol de los biodigestores, los fermentos "artesanales", preparados exclusivamente para su aplicación a los cultivos, se promueven comúnmente en los Andes como fertilizantes de producción local y de bajo costo. Nuestra revisión encontró una gran diversidad de insumos orgánicos e inorgánicos utilizados para hacer fermentos artesanales, aunque casi todos incluyen estiércol como ingrediente básico, el cual es diluido y descompuesto bajo condiciones anaeróbicas desde algunas semanas hasta meses. El principal valor agronómico de estos fermentos líquidos reside en los nutrientes vegetales liberados por el estiércol y otros insumos durante la fermentación. Encontramos grandes variaciones en la concentración de nutrientes vegetales en los fermentos reportados en la literatura, que no estaban correlacionados con la cantidad de estiércol añadido. Las propiedades químicas, como el pH, varían en función de los tipos de insumos y de la actividad microbiana, y tienen un efecto primordial en la forma química y el destino de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo contenidos en los fermentos. Con la descomposición, los nutrientes de las plantas pueden estar disueltos en el líquido, pero también puede haber una gran concentración que queda retenida en los sólidos restantes. Asimismo, descubrimos que los fermentos líquidos que tienen al estiércol como componente principal pueden contener microorganismos y compuestos de importancia agronómica, como hormonas vegetales y diversos compuestos orgánicos posiblemente benéficos para los cultivos, aún cuando la importancia relativa de estos otros componentes está poco documentada en la literatura. En los Andes, encontramos que los fermentos líquidos pueden beneficiar el crecimiento de los cultivos, particularmente con una aplicación regular, aunque no son un reemplazo de otras fuentes de nutrientes para las plantas como el compost. Además, no encontramos que los fermentos alteren las comunidades microbianas del suelo, pero pueden estimular procesos importantes como la disponibilidad de nitrógeno y la respiración del suelo. Además de estos beneficios, los fermentos a base de estiércol son susceptibles de ser portadores de patógenos humanos, lo que es importante tener en cuenta para la salud de los hogares y el comercio de los cultivos alimenticios. En general, encontramos que los beneficios de la aplicación de los fermentos líquidos a los cultivos podrían mejorarse con la estandarización del aporte nutricional de los diversos insumos que realizan el proceso

de fermentación, optimizando las condiciones de fermentación en sí mismo (incluyendo la temperatura y la duración) y maximizando la aplicación de los nutrientes retenidos en las fracciones líquidas y sólidas del biol. Aunque la promoción del uso de los fermentos líquidos es abundante, descubrimos que los conocimientos más profundos sobre su compleja preparación y uso no han sido muy difundidos, y quizá se limiten a un grupo más reducido de productores. Tanto los conocimientos sobre el uso de los fermentos líquidos como sus propiedades químicas son muy variables. No obstante, los entrevistados suelen tener opiniones firmes sobre la utilidad de los bioles, vinculadas tanto a las perspectivas sociopolíticas como a la experiencia de su uso como herramienta para el manejo de nutrientes en pequeñas fincas agroecológicas. Mayor investigación y desarrollo puede convertir a los fermentos líquidos en una herramienta importante para el manejo agroecológico en los Andes.



2. Introducción

Las técnicas agroecológicas eficaces para mejorar el manejo de los nutrientes del suelo son de crucial importancia para los pequeños agricultores andinos, que cuentan con recursos limitados y cuyos suelos son vulnerables a la degradación. La adición de bioinsumos, como el producto de la fermentación líquida del estiércol, se promueve habitualmente en los Andes para mejorar el vigor de los cultivos, aliviar los daños causados por las heladas, combatir las plagas y mejorar la calidad del suelo. A pesar de su prevalencia, existe poca información sistematizada que detalle la variedad de bioinsumos líquidos, su preparación, propiedades o efectividad. Este informe busca llenar este vacío de conocimiento y entender la utilidad de los insumos líquidos fermentados en las prácticas agroecológicas en el contexto andino.

Los recursos orgánicos, como el estiércol y los residuos de las cosechas, contienen nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, acumulados en el paisaje. Los procesos microbianos en los fermentos líquidos concentran aún más estos nutrientes y pueden conferir otros beneficios agronómicos. La descomposición microbiana de la materia orgánica también libera gases y, en determinadas condiciones, puede producir biogás para cocinar y proporcionar calor. En los Andes, los fermentos líquidos suelen aplicarse mayormente como enmiendas foliares de los cultivos, y también como fertilizante del suelo. Las propiedades de los fermentos líquidos aplicados a las plantas dependen de factores como el tipo y la cantidad de insumos o ingredientes, y de las condiciones de fermentación y la actividad de microorganismos específicos. Es necesario tener en cuenta estos factores, que pueden variar a lo largo de la región andina, para comprender mejor el valor agroecológico de los fermentos líquidos.

El objetivo de este trabajo es recopilar y analizar la información y el conocimiento práctico sobre los bioinsumos líquidos en los Andes. El supuesto que subyace a este esfuerzo es que este conocimiento está disperso entre la literatura formal (publicaciones revisadas por pares), fuentes informales, (material promocional de las ONG), así como entre los agricultores y otros profesionales de la región. A partir de estas fuentes, nuestros objetivos específicos son:

- 1) Articular una tipología de bioinsumos que defina su preparación y aplicación.
- 2) Elaborar un metaanálisis de las propiedades y uso de los fermentos líquidos en los Andes.
- 3) Contextualizar el conocimiento y el uso de los fermentos líquidos en los Andes dentro de un marco regional y global más amplio para identificar las necesidades de mejora de las prácticas y la investigación básica.

Este informe utiliza dos enfoques para comprender el contexto y el estado actual del conocimiento de los bioinsumos líquidos para la agricultura familiar en los Andes: una revisión exhaustiva de la literatura y una serie de entrevistas cualitativas en la región andina. De esta manera, los resultados obtenidos proceden tanto de la investigación académica como del conocimiento práctico de los agricultores andinos. La primera parte de la revisión (sección 4) incluye una sinopsis global de la preparación, propiedades y uso de los fermentos líquidos utilizados en la agricultura familiar, así como un enfoque del contexto histórico y regional para el estado actual del conocimiento en los Andes.

En la segunda sección (sección 5) se definen los términos clave encontrados en la literatura y en las entrevistas. Muchos de los términos y conceptos utilizados en el material promocional y en los manuales de campo son distintos de los que se encuentran en la literatura de investigación más técnica. Una breve tipología aclara y define los términos que se encuentran en la literatura promocional o que se utilizan con frecuencia de forma incoherente entre las distintas fuentes bibliográficas.

Comprender las propiedades de los fermentos líquidos requiere ciertos conocimientos técnicos. La tercera sección (sección 6) del informe detalla los procesos que ocurren en los fermentos líquidos, el

papel de los microorganismos y las transformaciones clave que se dan durante el proceso de fermentación. Aunque no es esencial para el conocimiento y la aplicación de los fermentos líquidos en los Andes, estos antecedentes son útiles como referencia y como marco científico para interpretar los hallazgos de la revisión y ponderar futuros esfuerzos.

Las secciones restantes detallan el conocimiento reportado en la literatura, principalmente de los Andes, así como de las entrevistas de la región. En la sección 7 se analiza cómo los materiales de promoción, como los manuales de campo, definen el término "biol", el papel de los diferentes insumos y la preparación y el uso de los fermentos líquidos. La sección 8 informa de las propiedades químicas, como la cantidad de nutrientes vegetales en los fermentos líquidos, así como de las propiedades microbiológicas, y de cómo los profesionales del campo llevan a cabo las fermentaciones. El impacto agronómico de los fermentos líquidos se presenta en la sección 9, incluyendo el efecto sobre las plantas y el suelo, el alcance del conocimiento y el uso por parte de los usuarios en los Andes, y las perspectivas sobre otros bioinsumos utilizados en la región.

Estas últimas secciones incluyen los "Hallazgos de la investigación", resaltados en recuadros amarillos, que contextualizan los resultados encontrados para los Andes con las conclusiones de las investigaciones realizadas fuera de la región. Los "Puntos clave", resaltados en recuadros verdes, se utilizan para resumir de forma coherente los resultados importantes de la bibliografía. La sección 10 resume los resultados de las extensas entrevistas realizadas sobre el uso de fermentos líquidos en distintas provincias de Bolivia, Ecuador, y Perú. Por último, en la sección 11 se analizan los vacíos de conocimiento, como las repercusiones en la salud humana y los factores socioeconómicos, y se recopilan las conclusiones y recomendaciones generales de esta investigación.

3. Métodos

Se utilizó un enfoque metodológico interdisciplinario y se buscó establecer un diálogo entre el conocimiento científico académico y el conocimiento empírico, que proviene de la práctica y conocimiento tradicional. De este modo, la investigación contempló dos componentes: uno de revisión bibliográfica, y otro denominado socioecológico. Los primeros resultados de la revisión contribuyeron al diseño de los instrumentos de colecta de datos de la parte socioecológica. Seguidamente, los hallazgos del componente socioecológico, retroalimentaron el análisis de la revisión (Figura 1).



Figura 1. Representación del diálogo entre los conocimientos científico y empírico a través de la retroalimentación mutua e iterativa durante el proceso de la investigación.

El diseño metodológico fue de tipo cuantitativo y cualitativo a la vez, y se desarrolló en etapas (Figura 2). Primero, se realizó una búsqueda y revisión de fuentes bibliográficas que permitió identificar vacíos de información y formular nuevas preguntas con relación al uso de los fermentos líquidos en los Andes. Estos hallazgos preliminares contribuyeron al mapeo inicial de actores y de experiencias en la región andina de

Bolivia, Ecuador y Perú, y al diseño de las entrevistas. En paralelo, se continuó con la colecta de datos para cada componente y con la retroalimentación iterativa entre ambos. A continuación, se explica con mayor detalle la metodología utilizada para cada componente.

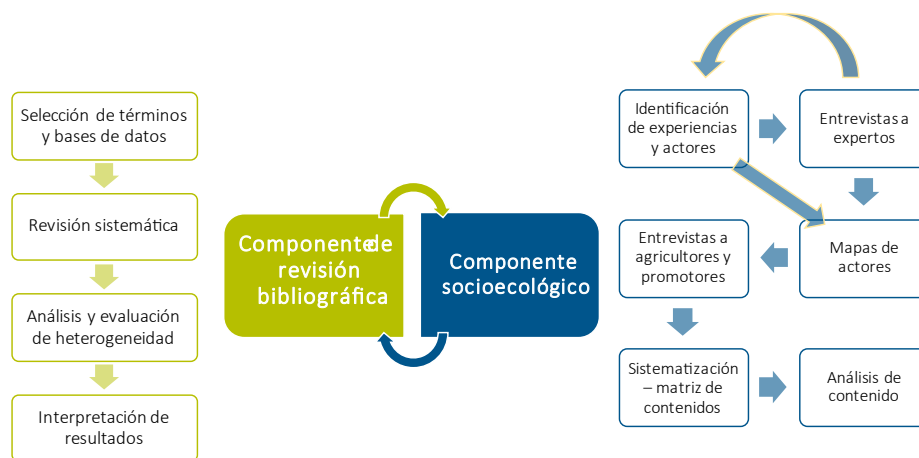


Figura 2. Etapas de la metodología de los componentes de revisión bibliográfica y socioecológico. Los primeros pasos de cada proceso se encuentran en la parte superior del diagrama.

A. Revisión bibliográfica

Las primeras búsquedas de bibliografía se llevaron a cabo en bases de datos de investigación y en la red informática mundial, utilizando términos de búsqueda específicos y siguiendo las referencias citadas dentro de los recursos obtenidos en la búsqueda. La revisión incluye literatura "blanca", como artículos revisados por pares y tesis académicas, así como fuentes "grises", como manuales e informes de ONGs y entidades del gobierno, dirigidos a los profesionales y usuarios en el campo.

La literatura relevante para los bioinsumos líquidos se subdividió en distintas categorías, incluyendo: antecedentes e historia global, contexto andino, bioquímica, microbiología, componente socioecológico, uso agronómico. Dentro de esta revisión más amplia, evaluamos 123 documentos de la región andina o de regiones vecinas que se referían directamente a algún aspecto de la preparación, las propiedades y el uso de las fermentaciones a base de estiércol. Estas fuentes incluían manuales de promoción, artículos de investigación y tesis académicas (Figura 3).

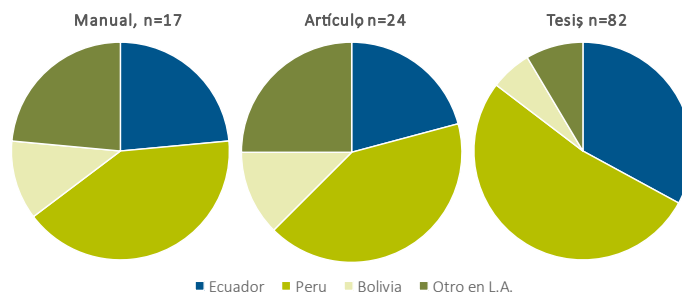


Figura 3. Origen de la literatura regional evaluada en esta revisión, incluyendo manuales, artículos de investigación y tesis académicas (el número de cada uno aparece junto al tipo de literatura) de Bolivia, Ecuador, Perú, y otra parte de América Latina (L.A.).

Casi la mitad de estos documentos procedían de Perú, seguido de Ecuador y Bolivia. Cuando se consideró pertinente, también se incluyó literatura de otros países de América Latina, como Chile, Colombia, Brasil, Costa Rica, Venezuela y México. El alcance de la información y los datos varía según la fuente. Algunas publicaciones contienen explicaciones detalladas sobre los ingredientes y la preparación de los fermentos, pero poca información sobre su aplicación y uso. Otras fuentes no describen la fuente o las propiedades del biol, pero sí el efecto en los cultivos.

La información cualitativa, como los ingredientes, la preparación y la aplicación, contenida en las fuentes bibliográficas regionales, se recopiló y resumió en tablas. En la medida de lo posible, extrajimos datos cuantitativos directamente de las fuentes publicadas, incluidas las cantidades de materiales añadidos a las preparaciones de fermentos y las propiedades (es decir, el pH, las concentraciones de nutrientes) y utilizamos un enfoque de metaanálisis para extraer conclusiones cuantitativas de toda la bibliografía. En los casos en que la literatura cuantitativa no era directamente comparable entre las fuentes -efectos en diferentes cultivos, plagas o parámetros agronómicos- resumimos los hallazgos en tablas. Limitamos o excluimos el uso de datos cuantitativos de fuentes que carecen de detalle o claridad en el diseño experimental y la metodología.

B. Entrevistas

El componente socioecológico fue abordado con un enfoque cualitativo que consistió en entrevistas semiestructuradas con actores clave de la región andina de Bolivia, Ecuador y Perú. Se seleccionaron ocho provincias andinas representativas siguiendo los siguientes criterios (a) variabilidad de altitud; (b) tipo de producción y prácticas agrícolas; (c) presencia de asociaciones de productores y/o proyectos de desarrollo que promueven o promovieron prácticas agroecológicas. Así, se eligieron las siguientes: Cochabamba, La Paz y Oruro, en Bolivia; Pichincha y Azuay, en Ecuador; y Áncash, Huánuco y Lima, en Perú (Figura 4).



Figura 4. Localización y altitud del ámbito de acción de los agricultores y promotores entrevistados en Bolivia, Ecuador y Perú. Los entrevistados están ubicados por encima de los 1800 y los 4500 m.s.n.m.

Se diseñaron cuatro formatos de entrevistas para distintos actores: expertos técnicos, promotores o técnicos de campo, agricultores que usan biol y agricultores que no usan biol. El diseño de las preguntas consideró los hallazgos iniciales y los vacíos de información identificados en la revisión bibliográfica, buscando una complementariedad entre ambos tipos de conocimiento (científico y práctico-empírico). Los cuestionarios para promotores y productores consistieron en aproximadamente 70 preguntas abiertas que cubrían tres categorías de variables cualitativas: conocimiento práctico, transmisión de conocimiento y sostenibilidad de la práctica.

Aplicamos un muestreo no aleatorio, por accesibilidad. La recolección de datos se realizó en tres momentos: a) entrevistas con expertos de cada provincia seleccionada, que nos proporcionaron

información sobre el contexto y las dinámicas agrarias de cada territorio, así como recomendaciones de experiencias (proyectos de desarrollo, biofábricas), de promotores de campo y líderes de asociaciones a entrevistar; b) entrevistas con promotores de campo y líderes de asociaciones de productores; 3) entrevistas con agricultores, que fueron identificados con el apoyo de los promotores y líderes (Figura 5). Además, se entrevistó a siete agricultores que abandonaron el uso del biol en los casos seleccionados. Se realizaron entrevistas hasta alcanzar la saturación teórica. En el modelo conceptual (Figura 5) se presenta el proceso de selección de los entrevistados.

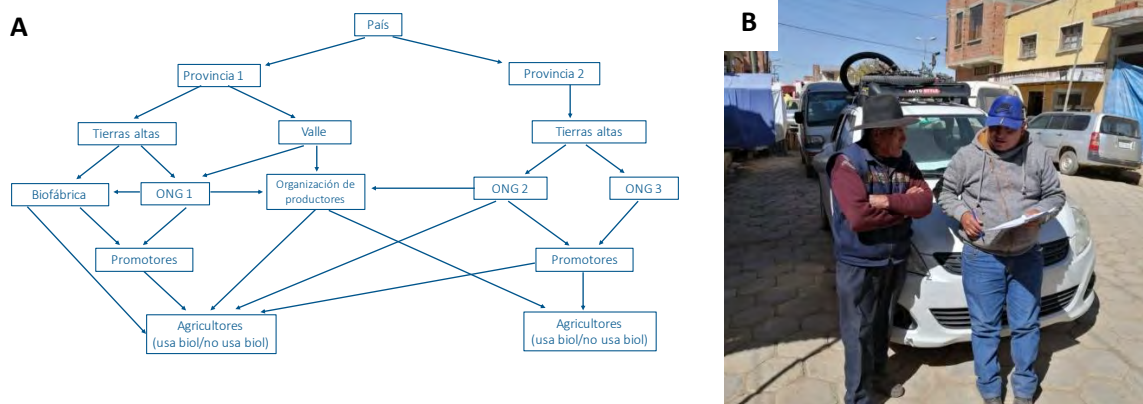


Figura 5. Modelo conceptual para la selección de los entrevistados en las ocho provincias evaluadas (A). Punto focal de Bolivia realizando una entrevista a un productor (B).

Entre marzo y agosto de 2020 se realizaron 111 entrevistas (25% mujeres), de las cuales 25 fueron en Bolivia, 39 en Ecuador y 47 en Perú. La figura 6 muestra la distribución territorial y de género de los entrevistados. Inicialmente, se planificaron visitas de campo a fincas y locales de las asociaciones de agricultores, pero esta actividad se suspendió debido a las restricciones que trajo la pandemia de la COVID-19. La mayoría de las entrevistas se realizaron a distancia (por teléfono, WhatsApp y Zoom). Para esta colecta de datos, contamos con personal local de apoyo en cada país. Cada uno de ellos poseía un buen conocimiento del uso de los bioles y de los actores implicados en las provincias evaluadas. Las entrevistas fueron transcribieron y, después, la información fue ingresada a una matriz de variables en excel. Posteriormente, se realizó una selección de las categorías más relevantes, la reducción de las respuestas y la construcción de la matriz final de análisis, concluyendo con el análisis de contenidos para la interpretación de los resultados.

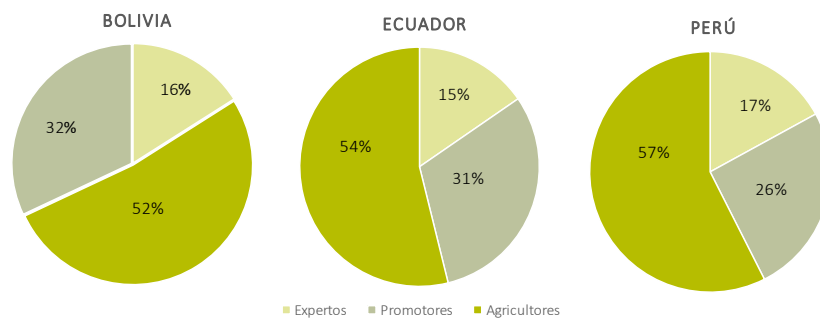
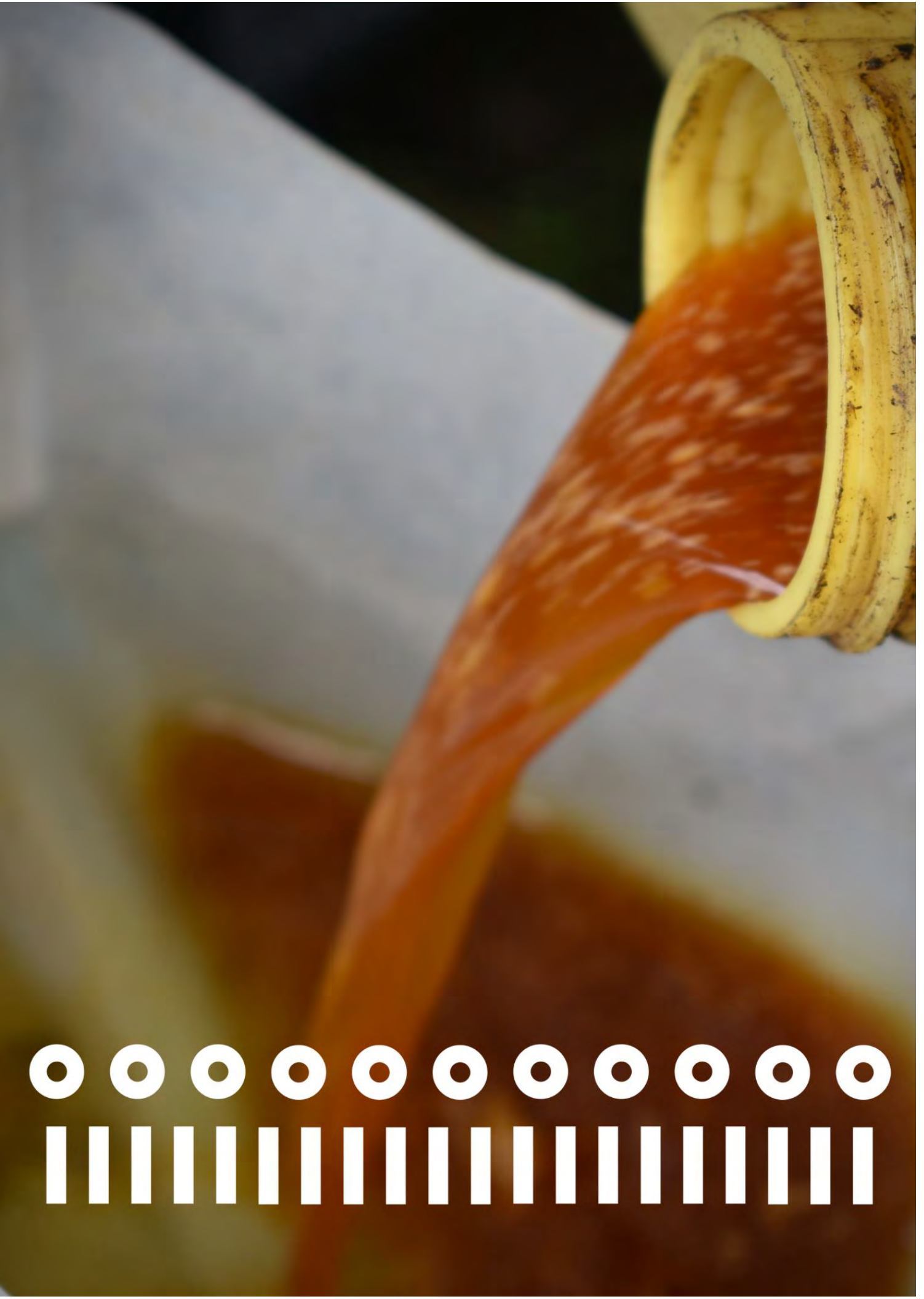


Figura 6. Distribución porcentual del tipo de actores entrevistados en Bolivia, Ecuador y Perú.



4. Contexto mundial y regional para el desarrollo de bioinsumos líquidos

El uso de fermentos líquidos en la pequeña agricultura se da en todo el mundo, con distintas influencias regionales e históricas en América Latina y los Andes. Quizás el factor más influyente sea la promoción de biodigestores para producir biogás que, a su vez, genera energía en zonas aisladas de la región andina. Un segundo factor está en el marco de la ejecución de proyectos de desarrollo, llevados a cabo por ONGs, que promueven los fertilizantes líquidos fermentados, exclusivamente como insumos agronómicos para apoyar a los pequeños productores. Aunque la digestión anaeróbica y los fertilizantes líquidos fermentados hechos en la granja son distintos, ambos utilizan microorganismos para descomponer la materia orgánica y liberar los nutrientes de las plantas en la fermentación. Otra influencia importante es el incremento de la investigación que reconoce la importancia de los microorganismos en la salud del suelo y de las plantas. La prevalencia de los microbios en los fermentos líquidos se ha utilizado para sugerir, a menudo explícitamente, un vínculo con los microorganismos que se ha demostrado que interactúan directamente con las plantas para promover su crecimiento.

A. Digestores anaeróbicos en comunidades rurales y uso de efluentes en cultivos

La aparición de los fermentos líquidos en la agricultura andina tiene su origen en la promoción de los biodigestores domésticos utilizados para cocinar y proporcionar calor. Este proceso se inició a finales de la década de 1970 con el inicio de la crisis energética mundial, que dio lugar a un impulso para buscar alternativas a los combustibles fósiles. Los digestores anaeróbicos utilizan residuos biológicos, como estiércol animal, restos de comida o residuos municipales, en un proceso de descomposición controlada en ausencia de oxígeno para apoyar a los microorganismos que generan biogás, como el metano (CH₄). Un subproducto de este proceso es un efluente rico en nutrientes para las plantas.

La infraestructura básica de un digestor anaeróbico es un pozo revestido y cubierto, o un recipiente sellado, utilizado para albergar los procesos microbianos y capturar el biogás. La mayoría de los biodigestores están diseñados para funcionar de forma continua, con una entrada para añadir insumos y una salida para el residuo líquido. La composición y el ritmo de adición de los insumos se optimizan para la producción de biogás. Los primeros biodigestores sencillos se fabricaron en Asia, de modo que los diseños suelen caracterizarse como "hindúes", "chinos" o "taiwaneses" (Pérez et al. 2014, Garfí et al. 2016).

A mediados de la década de 1980, los digestores chinos de "cúpula fija" hechos con ladrillos y hormigón, fueron ampliamente promovidos en América Latina. En los Andes, programas nacionales financiados por organizaciones no gubernamentales (ONG) europeas apoyaron este esfuerzo. Los países del norte de Europa tienen un historial de experiencia en la producción de biogás, y se hizo un esfuerzo explícito para transferir este conocimiento a la región andina (Gruber y Herz 1996). En ese momento se construyeron 65 biodigestores a pequeña escala en Bolivia y más de 100 en Perú. Todos estos biodigestores, excepto uno, dejaron de funcionar debido a la falta de formación y asistencia continuos. Sin embargo, estos proyectos también documentaron cómo los pequeños agricultores utilizaban el efluente de los biodigestores directamente en los campos con mejoras visibles en los cultivos (Garfí et al. 2016).

La difusión de los biodigestores "tubulares" taiwaneses, fabricados con plástico, creció a través de los esfuerzos agroecológicos de base en los primeros trabajos en Colombia (Botero y Preston 1987). Estos digestores tubulares (Figura 7) son más comunes en los Andes ya que, a veces, están alojados dentro de una estructura construida especialmente para estabilizar las temperaturas a mayor altitud. Estos diseños tienen un coste inicial bajo y son fáciles de instalar. El subproducto de lodo líquido, o "biol", fue promovido como un recurso para aumentar la producción de los cultivos (Martí-Herrero et al. 2014). En los Andes, los programas nacionales de biogás y las ONGs asociadas ensalzaron los beneficios del biol del digestor como enmienda del suelo (Acosta et al. 2013, Warnars y Oppenoorth 2014, Martí-Herrero et al. 2014). De hecho, el coste de un biodigestor doméstico se justificaba por la posibilidad de reducir la compra de fertilizantes para los cultivos (Arrieta Palacios 2016).

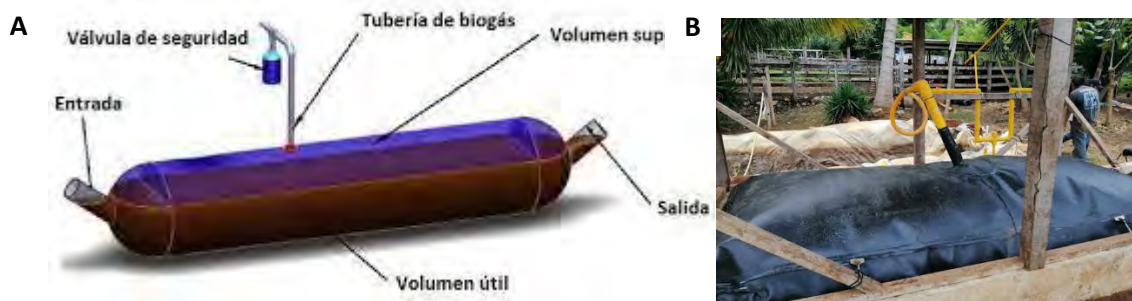


Figura 7: Esquema de un diseño básico de un digestor de tipo tubular, tomado de Garfí et al. (2016) (A). Una imagen de un digestor tubular en funcionamiento de <https://www.permaculturenews.org/2020/10/23/biogas-and-carbon-farming-part-3/ml> (B).

A pesar de los desafíos iniciales, el apoyo al desarrollo de los digestores domésticos sigue vigente. La Red de Biodigestores para Latinoamérica y el Caribe (RedBioLAC) está formada por 55 socios, entre ONGs, centros de investigación y empresas, que representan a 18 países (Garfí et al. 2016). La RedBioLAC celebra conferencias periódicas para avanzar en el desarrollo del biogás y el uso del biol de los efluentes de los digestores en los cultivos. Desde mediados de 2010, los programas nacionales siguen avanzando en los planes de construcción de decenas de miles de digestores domésticos en Bolivia, Perú y otros países de América Latina. (Garwood 2010, Garfí et al. 2016).

B. El movimiento agroecológico promueve los fermentos líquidos como fertilizantes

En América Latina, el desarrollo y la promoción de los fermentos líquidos producidos exclusivamente como enmiendas para los cultivos cobró impulso en la década de 1990. A diferencia de la mayoría de los digestores de biogás, que funcionan de forma continua, estos fermentos se elaboran por lotes, en recipientes sencillos. Las prácticas que utilizan enmiendas fermentadas a base de estiércol en los cultivos andinos tienen orígenes antiguos, globales y regionales.

El uso de fermentos líquidos en los cultivos tiene profundas raíces en el sur de Asia, con preparaciones a base de estiércol, leche y pescado, descritas en textos védicos que datan de antes del año 1000 a.C. (Gore y Sreenivasa 2011, Sarkar et al. 2014). Algunas técnicas ancestrales como el Bokashi -una práctica coreana de fermentación de residuos de alimentos para aplicar al suelo- fueron promovidas ampliamente como práctica agroecológica en América Latina (Garro Alfaro 2016). Estas técnicas son similares a las fermentaciones utilizadas para conservar los alimentos y producir ensilaje para el ganado:

se excluye el aire para inducir la fermentación microbiana de los azúcares que se descomponen parcialmente en ácidos que luego actúan, en parte, como conservantes. En ese sentido, cabe mencionar que las bebidas fermentadas son habituales en los Andes. La chicha se obtiene de la fermentación de granos de maíz, utilizando azúcares como la chancaca para acelerar la fermentación. Aunque no se aplica a los cultivos, la chicha se utilizaba tradicionalmente en ceremonias para promover buenas cosechas (van den Berg 1989).

En los Andes, las culturas pre-hispánicas utilizaban el guano de islas para mejorar la productividad de los cultivos. El guano de islas es un abono natural con alto contenido de fósforo y nitrógeno, que se extraía y se añadía al cultivo. Esta práctica sustentó a grandes poblaciones preincaicas ya en el año 1000 d.C. (Santana-Sagredo et al. 2021) y el comercio de guano de islas impulsó la intensificación de la agricultura en la región y fuera de ella, tanto antes como después del período colonial (Cushman 2017). Aunque no es un análogo directo de los fermentos líquidos contemporáneos, el guano de islas es una enmienda de estiércol para la fertilidad del suelo que todavía se promueve a través del movimiento agroecológico en los Andes.

Un vínculo directo con los fermentos líquidos utilizados en América Latina proviene de Brasil desde principios de la década de 1990. Los agricultores y especialistas en extensión rural combinaron residuos orgánicos recalcitrantes, como el bagazo de la caña de azúcar, con estiércol bovino y añadieron fuentes de carbono ricas en energía (por ejemplo, melaza, leche) para estimular la fermentación. Las sales minerales, como el cloruro de calcio y el sulfato de cobre, se añaden después de la fermentación temprana. Un usuario experimentado, Delvino Magro, aplicó el apelativo "super", adaptado de las formulaciones de los fertilizantes industriales, lo que dio lugar al popular abono foliar líquido conocido como "Super Magro" (Oliveira et al. 2017).





Figura 8: Esquema de un diseño básico de un equipo de fermentación líquida en la finca (A). Una imagen de un recipiente de fermentación en funcionamiento en los Andes (B).

Preparaciones similares aparecen en manuales y literatura de divulgación en toda América Central y del Sur, que hacen hincapié en la adaptación de las recetas a los recursos disponibles localmente, lo que resulta en decenas de formulaciones designadas como "biopreparación", "biofertilizante", "biofermentos" (Restrepo 2001, Garro Alfaro 2016). La mayoría de estas fermentaciones tienen como componente principal al estiércol, pero varían mucho en cuanto a los ingredientes adicionales, como melaza, polvo de roca, orina, ceniza de madera, guano de islas, biomasa vegetal y diversos minerales y sales, preparados en simples recipientes (Figura 8). A menudo, las técnicas se mezclan, combinando la fermentación del estiércol con inoculantes microbianos de origen local, o con preparados minerales similares a los prescritos para los fertilizantes foliares más convencionales (Melendez y Molina 2002). Con el tiempo,

muchas de estas fermentaciones, cuyo ingrediente principal era el estiércol, pasaron a denominarse "biol" en la literatura promocional, al igual que el lodo líquido de los digestores anaeróbicos (Gomero Osorio 2005). En la Tabla 1 se enumeran algunas distinciones básicas entre ambos.

Tabla 1. Comparación de los productos del digestor anaeróbico y de los fermentos líquidos preparados exclusivamente como fertilizantes, incluyendo los materiales, los procesos involucrados y los productos.

	Digestor anaeróbico para biogás	Fermento líquido elaborado en finca
		
Material	<ul style="list-style-type: none"> Flujo simple de residuos (estiércol con suero) Optimiza ingredientes para producción de biogás 	<ul style="list-style-type: none"> Complejo: estiércol, plantas, inorgánicos, azúcares, etc. Optimiza para rápida fermentación, propiedades agroecológicas
Proceso	<ul style="list-style-type: none"> Estrictamente anaeróbico Operación continua 	<ul style="list-style-type: none"> Mayormente en condiciones anaeróbicas Fabricación de un lote en un recipiente
Producto	<ul style="list-style-type: none"> Biogás (ejm. CH₄) Lodo líquido con pH neutral Alto contenido de nutrientes de plantas y materia orgánica recalcitrante 	<ul style="list-style-type: none"> Lodo líquido con pH neutral a ácido Alto contenido de nutrientes de plantas y materia orgánica recalcitrante

C. Reconocimiento de los microorganismos benéficos para la salud del suelo y de las plantas

Otro factor que conduce a la promoción de los fermentos líquidos como enmiendas de cultivos es la investigación que demuestra la importancia de los microorganismos en la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas. Algunos microorganismos específicos estimulan el crecimiento de las plantas a través de la fijación de nitrógeno, la producción de hormonas vegetales, la supresión de enfermedades y otros mecanismos, lo que suscita el interés en el desarrollo de microorganismos como biofertilizantes (Vessey 2003). Esto incluye investigaciones en los Andes, como el aislamiento de bacterias que solubilizan el fosfato (Pérez et al. 2007, Pandey y Yarzabal 2019) y el enriquecimiento de metabolitos fúngicos que estimulan el crecimiento de la quinoa (Ortuño et al. 2013).

El reconocimiento de la importancia de los microorganismos en el crecimiento de las plantas inspiró el desarrollo y la comercialización de los "microorganismos eficientes" (ME) -mezclas de microorganismos que supuestamente promueven el crecimiento cuando se aplican a las plantas (Higa 1989, Singh et al. 2011). Los ME van desde los preparados comerciales, cuya procedencia es muy variada, hasta los enriquecimientos caseros que utilizan la tierra como inoculante inicial. Muchos preparados de fertilizantes líquidos fermentados incluyen inóculos (por ejemplo, ME comerciales o derivados del suelo) y se promocionan como si poseyeran *de facto* un enriquecimiento de microorganismos especializados en promover el crecimiento de las plantas.

Los fermentos líquidos tienen altas concentraciones de nutrientes vegetales que estimulan el crecimiento de las plantas. Sin embargo, la vinculación explícita de los microorganismos que promueven el crecimiento de las plantas con los fermentos líquidos fabricados en las fincas ha fomentado una mística.



5. Tipología de los preparados líquidos aplicados al suelo y a las plantas

El desarrollo de los digestores anaeróbicos para biogás, con uso del efluente denominado "biol" en los cultivos, tuvo una influencia preponderante en la promoción de los fertilizantes líquidos en los Andes. Paralelamente a este proceso se produjo la expansión de los fermentos líquidos utilizados exclusivamente en los cultivos, que tomó fuerza a través de los usuarios experimentados y promotores de la agroecología en América Central y del Sur (Restrepo 1998). Los términos y conceptos relacionados con estas prácticas son distintos, pero tanto la literatura académica como la promocional en los Andes reflejan la mezcla y la superposición de la terminología.

Además, fueron promovidos otros varios insumos líquidos que estimulan el crecimiento de las plantas. Por ejemplo, las mezclas de fertilizantes foliares con micronutrientes utilizan agentes quelantes¹ para mejorar la absorción de nutrientes en las hojas (Melendez y Molina 2002), lo que puede ayudar a las plantas bajo estrés abiótico (es decir, exceso de calor o congelación). Los caldos líquidos con minerales de azufre pueden combatir las plagas de las plantas (estrés biótico). Las suspensiones líquidas² de ceniza de madera pueden tener propiedades tanto nutritivas como antiplagas (Suquilanda 2012). Esta revisión no se centra en estas numerosas formulaciones, sino en los "fermentos" líquidos, que involucran procesos microbiológicos durante su preparación. Los fermentos líquidos pueden utilizarse junto con otros insumos, como los mencionados anteriormente, y muchos fermentos líquidos pueden poseer algunas de las propiedades bioestimulantes de las formulaciones no fermentadas.

En esta sección ofrecemos una tipología de los términos encontrados en la literatura, tanto para familiarizar al lector con los usos más frecuentes como para aclarar conceptos. Además de delinear los términos que aparecen en la presente revisión, esto ayudará en la discusión de los procesos microbiológicos y químicos que ocurren en los fermentos. Se necesita una mayor claridad para que el estado actual del conocimiento sobre los fermentos líquidos se traduzca en una investigación práctica y en su aplicación en los agroecosistemas de los pequeños agricultores.

La figura 9 ofrece una tipología visual de los términos que se encuentran habitualmente en la literatura y describe la relación entre ellos. Un bioestimulante vegetal simplemente proporciona algún impacto positivo en el crecimiento de la planta y es la categoría más amplia que abarca todos los demás insumos. Un bioinsumo es un bioestimulante, pero derivado de alguna fuente orgánica (es decir, no es un fertilizante mineral), como un extracto de plantas o cenizas de madera. El término "biofermento" aparece ampliamente en la literatura promocional e indica que se ha utilizado un proceso de fermentación para producir un bioinsumo (como un té de compost). Un biofertilizante es un enriquecimiento microbiano, ya sea una sepa pura de un solo microorganismo o un consorcio de microorganismos utilizado como inoculante. Un biol es el producto de una fermentación a base de estiércol producida en condiciones

¹ Agentes quelantes: compuesto que une los iones metálicos (como los minerales) e impide que interactúen con otros iones. En los fertilizantes foliares, ayudan a retener la forma de micronutrientes disponible para las plantas para una mejor absorción en los tejidos vegetales. Los compuestos quelantes se producen industrialmente y están muy presentes en la naturaleza.

² Una suspensión es un fluido que contiene partículas sólidas, visibles o microscópicas, que no están disueltas en la solución, por lo que pueden sedimentarse con el tiempo.

anaeróbicas. Un caldo mineral es una dilución o suspensión de minerales (no necesariamente orgánicos) que es un bioestimulante, pero también puede incorporarse a un biofermento.

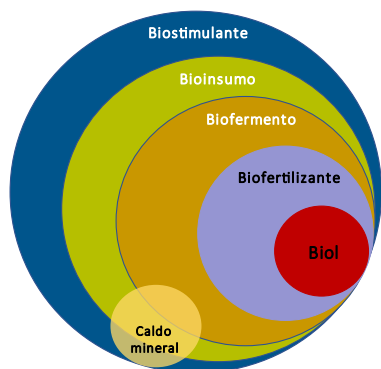


Figura 9. Representación de la relación entre los términos comúnmente encontrados en la literatura sobre preparados líquidos aplicados en los agroecosistemas. Un bioestimulante, es la denominación más amplia - todos los demás preparados son bioestimulantes. Los términos delimitados por círculos más pequeños tienen distinciones más específicas - por ejemplo, un biofertilizante tiene una definición más acotada que un bioinsumo. Un biol tiene propiedades de todos los preparados, como producto de la fermentación de insumos orgánicos, con una abundante población microbiana, y aplicado para estimular el crecimiento de las plantas. Los caldos minerales son preparados líquidos, y aunque no están fermentados, la literatura refleja que pueden mezclarse con otros fermentos.

A continuación, se presentan los términos relevantes de la revisión de literatura. En algunos casos, los términos se utilizan de forma incoherente entre las fuentes. Por ello, ofrecemos más contexto, por ejemplo, en cuanto a cómo se utilizan en la literatura de investigación en comparación con la literatura de promoción en la región andina.

Digestión anaeróbica - Proceso de conversión de residuos -residuos domésticos, estiércol, biomasa de cultivos u otras fuentes orgánicas- mediante el aprovechamiento de una serie de procesos microbianos que convierten la materia orgánica compleja en biogás, como el metano. El lodo líquido (biol) y los sólidos (biosol) restantes suelen utilizarse como fertilizante.

Biogás - Gases producidos por microorganismos a partir de la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Los biogases dominantes son el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), pero también incluyen el amoníaco (NH₃), el gas nitrógeno (N₂), el óxido nitroso (N₂ O), el hidrógeno (H₂) y el sulfuro de hidrógeno (H₂S).

Bioinsumo - Enmienda aplicada a una planta o a un suelo, derivada de material vegetal, animal o microbiano, ya sea fresco o procesado antes de su aplicación, incluyendo plantas o extracto de plantas, excrementos de animales o compost. El uso propuesto puede incluir la mejora de los procesos benéficos del suelo, la fertilización, la estimulación de las hormonas de las plantas, el control de los antagonistas, como las plagas de las plantas, o alguna combinación de estos.

Bioestimulante - En sentido amplio, productos derivados de sustancias orgánicas o inorgánicas o microorganismos utilizados para mejorar el crecimiento de las plantas o aliviar el estrés biótico/abiótico. Incluyen minerales, hormonas, vitaminas y otros compuestos orgánicos. En muchos casos, el modo de acción sobre la respuesta de la planta puede no ser conocido o comprendido. Véase Bulgari et al. (2019), y para el contexto histórico y global, véase Yakhin et al. (2017).

Biofertilizante - Preparaciones de microorganismos, ya sean cepas individuales o consorcios, que se aplican a las semillas, a las plantas o al suelo y que tienen por objeto estimular el crecimiento del cultivo, (Vessey 2003, Peña Borrego et al. 2015). Este término también se utiliza comúnmente en un sentido amplio en la literatura para incluir muchos bioinsumos, como el compost.

Biofermento - Aparece principalmente en la literatura promocional y se refiere a una amplia gama de fermentaciones ya sea de plantas, abonos u otros ingredientes, destinados a ser aplicados a los cultivos y al suelo.

Biol - Parte líquida de un preparado fermentado cuyo componente principal es el estiércol animal. Es utilizado como enmienda foliar. Originalmente el término describía el efluente líquido de la digestión anaeróbica del estiércol animal para producir biogás. También es un preparado a base de estiércol, normalmente con otros insumos, fermentado anaeróbicamente durante 1 a 3 meses, hecho exclusivamente para su uso en los cultivos para mejorar el crecimiento de las plantas.

Biosol - Sedimento sólido que queda después de una fermentación para producir un biol. El biosol tiene un alto contenido en nutrientes para las plantas y puede aplicarse como enmienda del suelo.

Quelatos - Suspensión o dilución de minerales o metales (por ejemplo, hierro, zinc, cobre) mezclados con agentes quelantes, aplicados directamente a las plantas o combinados con fermentaciones.

Digestato - Efluente de purines de un digestor anaeróbico, a menudo aplicado a la tierra como enmienda de la fertilidad del suelo.

Microorganismos eficientes - Mezclas comerciales de microbios que se venden en concentrados líquidos y que se comercializan por contener microorganismos como bacterias de ácido láctico (BAL), levaduras y bacterias fotosintéticas, destinados a beneficiar a las plantas mediante actividades como la fijación del nitrógeno, la producción de hormonas vegetales y la supresión de enfermedades.

Fermentación - En términos generales, la fermentación describe la descomposición de la materia orgánica, llevada a cabo por enzimas generalmente derivadas de microorganismos, normalmente en ausencia de oxígeno. La fermentación también se refiere a un proceso metabólico específico que libera energía a las células a partir de la descomposición parcial de los azúcares en ácidos orgánicos, en ausencia de oxígeno y con la liberación de gas CO₂. (A efectos de esta revisión, nos referimos a la fermentación en sentido amplio, a menos que se especifique lo contrario).

Microorganismos de Montaña - Se trata de un enriquecimiento microbiano derivado de la colecta y fermentación de suelos, a menudo de suelos menos alterados (por ejemplo, de bosques), con la idea de que éstos contienen microorganismos con propiedades singularmente beneficiosas para los cultivos y/o por su actividad en las fermentaciones.

Caldo mineral - Dilución o suspensión mineral líquida, que contiene ingredientes como polvo de roca, ceniza, azufre y otras sales industriales. Una vez mezclados, se añade directamente a las plantas como nutriente, para combatir las plagas o los patógenos, o para estimular su crecimiento.



6. Procesos microbianos y bioquímicos en los fermentos líquidos

El proceso básico que se produce en los fermentos líquidos es la descomposición de la materia orgánica compleja³ por parte de los microorganismos. Esta descomposición da lugar a la producción de biogás (como CO₂ y CH₄) y a la concentración de nutrientes vegetales, como el nitrógeno (N) y el fósforo (P). Los pasos de la digestión anaeróbica están bien estudiados y son una guía útil para entender los fermentos líquidos, incluyendo a los que tienen su origen en los pequeños lotes fabricados en las fincas.

A. Digestión anaeróbica y fermentación líquida: procesos básicos y pasos clave

La materia orgánica utilizada en la digestión anaeróbica, como el estiércol animal y las plantas, es químicamente compleja. Estos materiales contienen mezclas de almidones, fibras, grasas y proteínas, así como pequeñas cantidades de metales y sales, como potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca) y hierro (Fe). En los fermentos líquidos, los microorganismos producen enzimas que descomponen esta mezcla, de forma similar a como se descomponen los alimentos en el estómago. Una vez que las enzimas descomponen las moléculas complejas, las unidades más pequeñas pueden ser consumidas por los microbios para obtener energía. A medida que la materia orgánica se descompone, también libera nutrientes como N, P y azufre (S) en el fermento líquido.

Los humanos utilizamos la energía química almacenada en los enlaces de carbono de nuestros alimentos. Por lo general, esta energía se capta en presencia de oxígeno, o "aeróbicamente". El oxígeno que respiramos ayuda a transferir la energía de los alimentos a nuestro cuerpo mediante un proceso llamado respiración aeróbica. Un subproducto de este proceso es el CO₂ que exhalamos. Los microorganismos llevan a cabo el mismo proceso cuando descomponen la materia orgánica para cosechar la energía que contiene. Cuando no hay oxígeno -las condiciones son anaeróbicas- los microbios pueden capturar sólo una parte de la energía de estos enlaces mediante un proceso llamado fermentación. Los subproductos de este proceso son moléculas orgánicas más pequeñas parcialmente consumidas y CO₂.

Los microorganismos pueden repetir este proceso de fermentación, consumiendo parcialmente estas unidades orgánicas más pequeñas para obtener energía y liberar más CO₂. Una vez que estas moléculas son lo suficientemente pequeñas, un conjunto diferente de microorganismos especializados las consume para obtener energía y se libera gas metano (CH₄) como subproducto. A medida que se consume más energía del material inicial, se pierde más carbono original en forma de gas CO₂ y CH₄ y la actividad microbiana se ralentiza. Lo que queda en el fermento es algo de materia orgánica no digerida, tanto sólida como disuelta en el mismo fermento, así como minerales y nutrientes (es decir, Ca, Fe, K, P, N) que ingresan en el fermento líquido y se concentran más durante el proceso de fermentación.

La digestión anaeróbica es un proceso de varios pasos llevados a cabo por microorganismos, en ausencia de oxígeno. Muchos de los pasos de la digestión anaeróbica para la producción de biogás también pueden ocurrir en otros tipos de fermentaciones, como aquellas que se dan durante el proceso de

³ Orgánico - Una de las acepciones se refiere a los restos materiales de origen biológico, que pueden incluir carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y otros elementos. Este primer significado es la base de la agricultura "orgánica". Una segunda acepción hace referencia a cualquier compuesto químico -independientemente de su origen- que contenga enlaces de carbono e hidrógeno, como los azúcares y el gas metano (CH₄), pero no a los compuestos "inorgánicos" como el amoníaco (NH₄⁺) o el fosfato (PO₄³⁻).

producción de fertilizantes líquidos en la finca. En términos generales, la energía química almacenada en la materia orgánica es liberada por los microorganismos que la utilizan para crecer y reproducirse. Los pasos clave de esta transformación son: la hidrólisis, la acidogénesis y la metanogénesis (Figura 10).

- 1) **Hidrólisis:** La materia orgánica, como los polisacáridos (celulosa, almidón) y las proteínas, se descomponen mediante enzimas. Los polisacáridos se descomponen en azúcares (por ejemplo, glucosa, lactosa) y las proteínas en aminoácidos. Este proceso requiere el aporte de energía de los microorganismos que producen las enzimas.
- 2) **Acidogénesis:** Los azúcares liberados por las enzimas durante la hidrólisis son consumidos por los microorganismos para obtener energía y crecer. La acidogénesis produce CO_2 y pequeños ácidos orgánicos (por ejemplo, lactato, propionato, butirato) denominados ácidos grasos volátiles (AGV), que se consumen posteriormente para producir moléculas aún más pequeñas de ácido acético, más CO_2 , así como gas hidrógeno (H_2) en el proceso.
- 3) **Metanogénesis:** Procesos microbianos especializados que consumen pequeñas moléculas de carbono, como el ácido acético o el CO_2 , para obtener energía y crecer, y que producen CH_4 como subproducto.

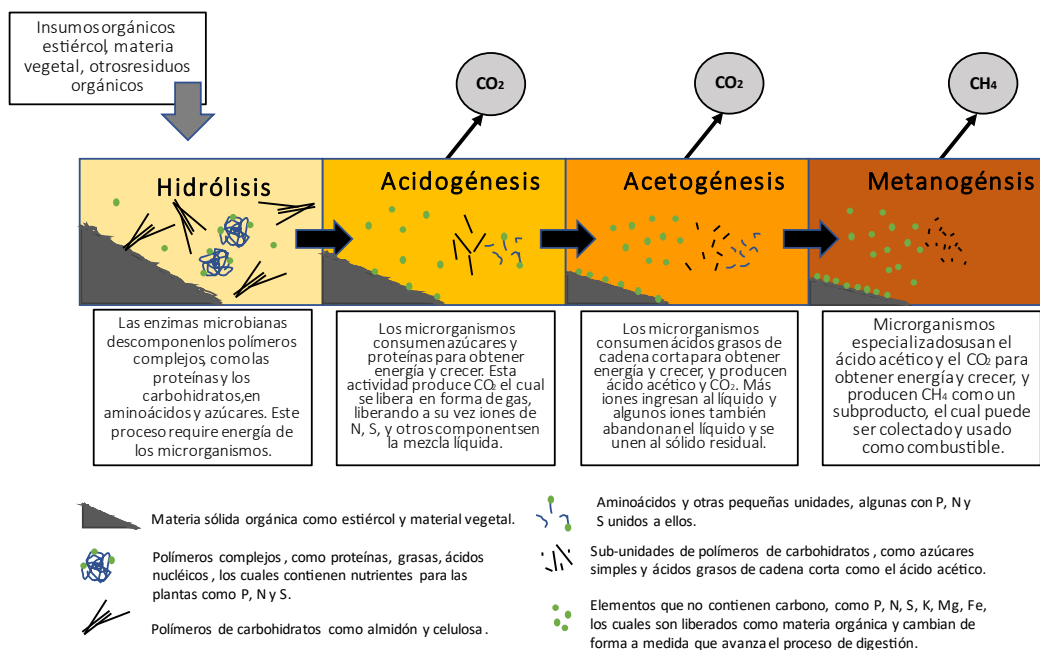


Figura 10. Pasos de la fermentación anaeróbica.

Las condiciones en un digestor anaeróbico deben favorecer cada uno de estos pasos para producir CH_4 . La hidrólisis puede ocurrir con o sin la presencia de oxígeno. Pero la fermentación y la acidogénesis requieren de condiciones anaeróbicas. La metanogénesis necesita condiciones anaeróbicas, así como un pH casi neutro⁴. Los insumos y los procesos de fabricación de biofermentos en la finca pueden no estar optimizados para todos estos pasos. Por ejemplo, la acidogénesis produce AGV, que acidifican el

⁴ pH - Medida, en una escala de 0-14, de la concentración de protones, H^+ , en una solución. El pH neutro se establece en 7. Cuando el pH cae por debajo de 7, las soluciones se vuelven más ácidas. A medida que el pH aumenta por encima de 7, las soluciones se vuelven más básicas o alcalinas.

fermento (bajando el pH hasta 3,5). Si los productos ácidos se acumulan más rápido de lo que pueden consumirse, la metanogénesis se ralentizará o se detendrá. En efecto, si el producto final es muy ácido, esto sería similar a los procesos utilizados para conservar los alimentos mediante el encurtido o para producir ensilado para el ganado.

B. Microorganismos en los fermentos líquidos

Además de la fermentación y la metanogénesis, determinados microorganismos pueden llevar a cabo otras reacciones en condiciones anaeróbicas. Por ejemplo, muchos microbios pueden utilizar alternativas al oxígeno, como el nitrato y el sulfato, para transferir energía de la materia orgánica. Esto se llama respiración anaeróbica, que produce gases como el óxido nitroso, el nitrógeno y el sulfuro de hidrógeno (que tiene el notable olor de los huevos podridos). Además, muchas bacterias fotosintéticas crecen sin oxígeno. Utilizan la luz para obtener energía en lugar de la materia orgánica y también pueden llevar a cabo la fijación del nitrógeno (Bryant y Frigaard 2006). Estos procesos aparentemente exóticos ilustran la complejidad de los fermentos líquidos anaeróbicos y la variedad de posibles productos finales (es decir, diferentes gases).

En la práctica, los pasos básicos de la digestión anaeróbica producen biogás y concentran los nutrientes vegetales liberados de la materia orgánica. Los microorganismos que proliferan en los fermentos líquidos son muy eficaces a la hora de consumir el carbono de fuentes complejas, como el estiércol, mediante la fermentación o la respiración anaeróbica. En los digestores de biogás, esto significa optimizar los microbios para canalizar el carbono de la materia inicial y convertirlo en gas metano. En el caso del biol artesanal elaborado en fincas, esto significa optimizar las condiciones para obtener productos finales que beneficien a los agroecosistemas.

Los fermentos líquidos a base de estiércol pueden contener miles de especies microbianas diferentes (Amani et al. 2010, Li 2013, Sun et al. 2015). La composición de la microbiota varía mucho entre las distintas sustancias digeridas, especialmente en función de los ingredientes (Zhang et al. 2014). Además, las comunidades microbianas de la materia digerida pueden cambiar en respuesta incluso a pequeños cambios en los insumos y las condiciones (Hagen et al. 2014).

Los microbios aislados de los digestores de biogás incluyen aquellos con rasgos que benefician el crecimiento de las plantas, como la fijación de N y la solubilización de fosfatos (Ndubuisi-Nnaji et al. 2020). Sin embargo, la secuenciación del ADN revela que aquellos con rasgos que promueven el crecimiento de las plantas representan menos del 1% de los microorganismos en los digestores (Coelho et al. 2020). Rasgos como la fijación del N y la solubilización del fosfato son energéticamente costosos para los microorganismos, y pueden no conferir una ventaja competitiva cuando el N y el P son abundantes, como ocurre con las fermentaciones que tienen como componente principal al estiércol.

Los fermentos líquidos del estiércol también suponen un riesgo para la salud como flujos de residuos que pueden contaminar el agua y los alimentos con patógenos humanos, como los coliformes fecales (Lansing et al. 2008, Groot y Bogdanski 2013, McCord et al. 2019). La Organización Mundial de la Salud establece normas para el uso de estiércol y aguas grises en la agricultura (WHO 2006). La demanda biológica de oxígeno (DBO) se utiliza como parámetro para evaluar el potencial de los residuos para albergar patógenos. La DBO es una medida de la cantidad de materia orgánica en un líquido basada en la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer este material. Cuanto menor sea la DBO, menos material

descomponible queda en el líquido. Tanto si hay patógenos como si no, los fermentos a base de estiércol tienen una DBO elevada, lo que puede plantear problemas para su uso en el hogar, la producción de cultivos o la comercialización de productos.

C. Insumos y funcionamiento

Saber qué organismos están presentes en un fermento líquido no es un indicador claro de los procesos microbianos en funcionamiento. En cambio, la optimización de la actividad microbiana en los fermentos líquidos comienza con los insumos. La cantidad relativa de carbono y nitrógeno -la relación C:N- es un factor clave que varía ampliamente, desde 10:1 en el estiércol de pollo, 15:1 en el estiércol de vaca, 20:1 en verduras y frutas, hasta 80:1 en el rastrojo de maíz (Xu et al. 2018). Un C:N elevado (abundante en carbono) ralentiza la fermentación. El exceso de N (bajo C:N) inhibe la metanogénesis y no es deseable para la producción de biogás. La mezcla de insumos puede influir en la liberación de nutrientes, a veces de forma imprevisible. Por ejemplo, el estiércol mezclado con hojas de leguminosas puede dar lugar a una cantidad significativamente mayor de N y P disponible para las plantas en el fermento líquido final, en comparación con el estiércol solo, aunque el estiércol contenga mucho más N y P que las hojas (Kataki et al. 2017).

Las propiedades de los insumos influyen en las condiciones de fermentación. Durante este proceso, la producción de ácidos grasos volátiles (AGVs) puede acidificar rápidamente el fermento. La capacidad de un líquido para neutralizar el ácido y resistir los cambios de pH se denomina alcalinidad. Las sustancias que aumentan la alcalinidad son el bicarbonato, el fosfato y el amoníaco, que pueden darse en algunos insumos (estiércol) y no en otros (azúcares refinados). La alcalinidad varía en los insumos (incluida el agua) y cambia con el tiempo a medida que la materia orgánica se descompone durante la fermentación.

Los procesos de fermentación pueden ser monitoreados de numerosas maneras. Como se ha mencionado anteriormente, la DBO mide el contenido de materia orgánica. El pH es un indicador clave: la acidez inhibe la producción de metano, pero un pH bajo refleja la fermentación, y la alcalinidad mide la resistencia a los cambios de pH. El olor también indica el proceso microbiano - los AGV tienen un fuerte olor que va de agrio a rancio. Una forma económica de evaluar tanto la acidez (AGV) como la alcalinidad es medir la conductividad eléctrica⁵ (Aceves-Lara et al. 2012, Robles et al. 2016). Esto mide las partículas cargadas disueltas en el fermento y puede utilizarse para evaluar cuánto diluir los fermentos líquidos antes de añadirlos a los cultivos (Möller y Müller 2012). Una distinción crítica en la utilidad de estas mediciones es si se utilizan para controlar los procesos continuos, como ocurre con la mayoría de los digestores anaeróbicos, o para evaluar el progreso de la fermentación de un solo lote, como ocurre con un biol.

D. Transformación de nutrientes durante y después de la fermentación

Independientemente de los procesos microbianos específicos que se lleven a cabo, durante la digestión anaeróbica y las fermentaciones líquidas se pierde entre el 20 y el 95 % del carbono, como CO₂ y CH₄, y los nutrientes, como N, P, K, S, Ca, Mg y Fe, se concentran en el material restante (Möller 2015). Parte de

⁵ Conductividad - Capacidad de un líquido para conducir una carga eléctrica. Refleja el total de sólidos cargados disueltos en una solución, incluidos los AGV y elementos como el potasio (K⁺), el sodio (Na⁺), el calcio (Ca²⁺).

la materia orgánica original es resistente a la descomposición y permanecerá en forma sólida. Este material "no digerido" -llamado "biosol" en los Andes- posee nutrientes no liberados, y también influye en las propiedades del fermento.

El contenido de nutrientes en el fermento líquido depende de los nutrientes del material inicial (Insam et al. 2015). Al final de la fermentación, la concentración y la forma química de los nutrientes dependerán en gran medida del pH, la alcalinidad y el redox⁶ (Möller y Müller 2012, Mao et al. 2015). De hecho, la pérdida de más carbono en forma de CH₄ (digestión anaeróbica), en comparación con el CO₂ (en los bidones de fermentación de las fincas), probablemente afecta a las propiedades químicas del fermento líquido. Las formas de los nutrientes pueden seguir cambiando después de la fermentación y durante el almacenamiento (Bonten et al. 2014).

El caso del N ilustra cómo pueden variar los productos de la fermentación. Parte del N puede perderse en forma de gas. La mayor parte del N liberado durante la fermentación se disuelve en el líquido del fermento como amoníaco (NH₃), que es altamente soluble⁷ y está fácilmente disponible para las plantas en comparación con el N retenido en el material de partida, como el estiércol. A medida que el fermento se vuelve básico (por encima del pH 7), se puede perder cada vez más NH₃ en forma de gas. A un pH bajo, los fermentos pueden retener más NH₃, pero también puede precipitarse más en forma de sólido, como el carbonato de amonio (Möller y Müller 2012).

Otros nutrientes, como el potasio, tienen mayor probabilidad de permanecer disueltos en el fermento líquido sin cambiar de forma. El fósforo liberado de la materia orgánica durante la fermentación no sale del fermento (es decir, como gas), pero puede transformarse. Por ejemplo, el P puede formar fácilmente minerales de fosfato, como la estruvita, que se "hunden" en el fondo de la fermentación o se combinan con la materia orgánica no digerida (biosol).

Dado que parte del N se pierde en forma de gas, esto puede dar lugar a concentraciones globales de P relativamente más altas (mayor N:P) al final de la fermentación, cuando se tienen en cuenta tanto los líquidos como los sólidos (Massé et al. 2007). La concentración relativa de N, P y otros compuestos varía en función del material inicial, el pH y el equilibrio dinámico⁸ entre las formas solubles en el líquido y las que forman carbonatos y fosfatos sólidos (Möller y Müller 2012).

⁶ Redox - Se refiere a los procesos químicos conocidos como reacciones de oxidación-reducción. La oxidación se produce cuando una molécula pierde electrones y la reducción se produce cuando una molécula gana electrones. Un ejemplo es la oxidación del hierro que da lugar al "óxido" cuando se pierden electrones del hierro. Otro ejemplo es cuando se quema la biomasa vegetal: el oxígeno del aire gana electrones y da lugar a un gas más "reducido", el CO₂. Durante los procesos de fermentación pueden producirse muchas reacciones redox que, por lo general, dan lugar a una ganancia neta de electrones en la mezcla, lo que resulta en un estado químico más reducido. El gas CH₄ está muy reducido, sin embargo, sale del sistema en los digestores anaeróbicos, eliminando efectivamente los electrones. Por el contrario, el carbono de CO₂, que puede predominar en los fermentos de las fincas, está altamente oxidado y también sale del sistema. Esta abundancia de electrones que queda en el fermento influye en la forma química de muchos compuestos.

⁷ Solubilidad - Grado en que un sólido o un gas puede disolverse en un líquido (por ejemplo, el agua). Cuanto mayor es la solubilidad, mayor es la cantidad de una sustancia que puede disolverse en el líquido. Las sustancias que no se disuelven fácilmente son "insolubles".

⁸ Equilibrio dinámico - El concepto describe cómo las reacciones químicas son reversibles. Un ejemplo es la reacción del amoníaco, NH₃, en H₂O para formar amonio, NH₄⁺. NH₃ + H₂O ↔ NH₄⁺ + OH⁻. La reacción es reversible y la concentración de cada compuesto depende de factores como la temperatura y el pH.



7. Contexto andino para el uso de fermentos líquidos y biol

La revisión de la literatura no reveló orígenes antiguos del uso del fermento líquido en los cultivos de los Andes. Junto con el uso del guano de islas (Cushman 2013), el manejo tradicional de la fertilidad del suelo en el altiplano andino incluye la recolección y el almacenamiento de estiércol de camélidos domesticados. El tratamiento posterior puede incluir la aplicación de estiércol en forma de pasta al cultivo de papa en el momento de la siembra (van den Berg 1989, Garcia et al. 2015).

A. El 'biol' en la literatura

No se ha encontrado el origen del término "biol", pero parece corresponderse con el uso de los purines líquidos de los digestores anaerobios y el auge de los preparados fermentados utilizados exclusivamente para los cultivos (Gomero Osorio 2005). Una de las justificaciones de la producción de biogás eran los insumos materiales (estiércol y biomasa residual), predominantemente de origen local y de bajo coste. Del mismo modo, esto se convirtió en el atractivo de los fertilizantes fermentados producidos localmente, para aumentar o desplazar a los fertilizantes de origen costoso. La figura 11 ilustra los insumos de los distintos tipos de biol.

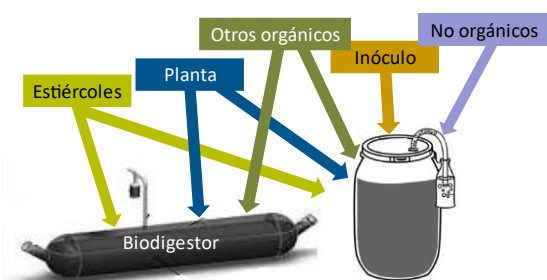


Figura 11: Comparación de los insumos de los biodigestores y del biol de finca, divididos en diferentes categorías. Los biodigestores pueden producir biogás a partir de una multitud de insumos orgánicos, pero normalmente un solo digestor no tiene diversos insumos. Generalmente el biol incluye insumos más diversos de numerosas categorías, incluyendo orgánicos y no orgánicos, e inóculos.

El término "biol" ha cambiado a lo largo del tiempo y sigue teniendo connotaciones mixtas, como hemos observado en la literatura y en las entrevistas. En el presente estudio nos referimos al biol como una fermentación líquida del estiércol, ya sea preparado para la producción de biogás o no. Para el biol hecho exclusivamente para añadirlo a los cultivos, utilizamos el término fermento líquido "hecho en la finca" o el adjetivo "artesanal".

Insumos para los fermentos líquidos

Los fermentos líquidos elaborados en los Andes destacan por su gran diversidad de ingredientes. Sin embargo, esta característica también puede tener su origen en la producción de biogás. En una revisión de los biodigestores que utilizan estiércol se encontraron decenas de otros insumos orgánicos, como restos de comida, plantas forrajeras y residuos de la elaboración de productos lácteos, pescado, frutas y verduras (González y Jurado 2017). En los Andes, el estiércol de camélidos y cuyes tiene un alto contenido de N (Alvarez et al. 2006) lo que provoca un exceso de NH_3 que inhibe la producción de biogás (Ferrer et al. 2009). En esta región, el estiércol se mezcla con biomasa vegetal y otros residuos (Alvarez and Lidén 2008a, 2008b) para reducir la relación C:N del material inicial a rangos entre 15:1 y 45:1 con el fin de optimizar el funcionamiento del digestor para la producción de biogás (Lansing et al. 2010).

Entre la literatura seleccionada para la revisión, aproximadamente 26 fuentes describen el efluente de los digestores de biogás como "biol". La mayor parte de esta literatura tiene poca o ninguna información sobre los insumos específicos del digestor, centrándose en cambio en el uso del biol en los cultivos. Por el contrario, la literatura que cubre el biol hecho en finca enumera los ingredientes y describe la preparación. Casi la mitad de las preparaciones de biol revisadas enumeran el estiércol bovino -de leche o ganado- como el insumo base para la fermentación (Figura 12A). Otras fuentes de estiércol incluían cuy, pollo, oveja, conejo o camélidos. Aproximadamente el 12% de las preparaciones utilizaban mezclas de diferentes estiércoles, y algunos estudios comparan explícitamente las propiedades del biol elaborado con diferentes tipos de estiércol.

El ingrediente más común que se añade al biol artesanal es el azúcar sin refinar, como la melaza (Figura 12B). Otras adiciones comunes son la biomasa vegetal (a menudo especies forrajeras leguminosas), un insumo lácteo (leche o suero) y cenizas de madera. Aproximadamente el 15% de los preparados incluyen algún insumo no orgánico, como fosfato de roca, bórax, zeolita, sulfato de magnesio, sulfato de cobre y otras sales.

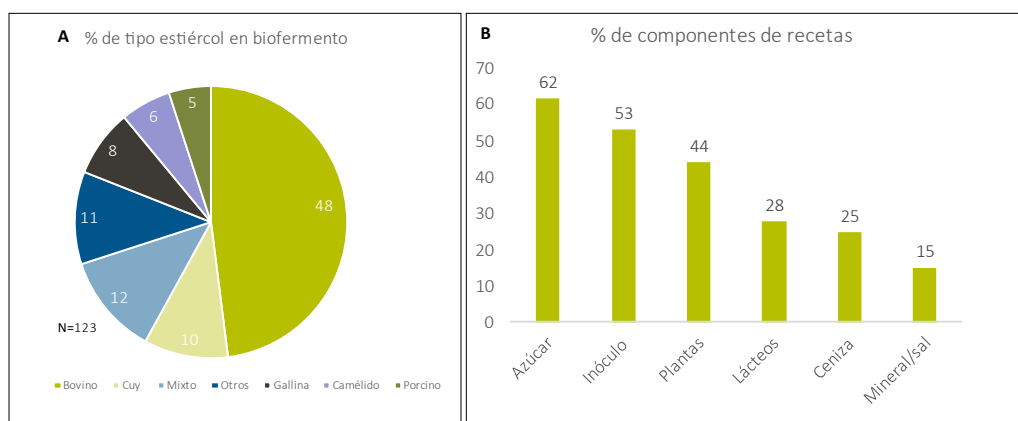


Figura 12. Distribución de los tipos de estiércol utilizados en 123 preparaciones de biol recogidas de manuales, estudios académicos y tesis (A), y proporción de ingredientes del de biol artesanal, sobre 87 preparaciones descritas, que incluían componentes adicionales (B).

B. Papel de los componentes biológicos

La revisión bibliográfica incluyó tanto pruebas experimentales de campo con biol como material promocional dirigido a la preparación y uso de fermentos líquidos en la finca. Las explicaciones sobre la finalidad de cada ingrediente varían según la fuente. El estiércol es la principal fuente de nutrientes, como N, P y K, que se convierten en formas disponibles para las plantas a través de la fermentación. La fermentación del material vegetal también libera nutrientes. Los manuales, en particular, también promueven el uso de las plantas por sus propiedades secundarias, como los compuestos insecticidas que pueden seguir siendo bioactivos después de la fermentación. Las fuentes lácteas aportan tanto una fuente de energía (azúcares) para los microorganismos como nutrientes (N, P, minerales y vitaminas). La figura 13 refleja la diversidad de componentes orgánicos encontrados en el estudio bibliográfico.

Algunas publicaciones se refieren a la adición de azúcar como un estimulante de la fermentación. Los azúcares, aceleran el crecimiento microbiano, pero no contienen nutrientes vegetales sustanciales. Los azúcares no refinados contienen micronutrientes y trazas de metales pesados, como plomo, cadmio y

arsénico (Quiñones Ramirez et al. 2016). El papel de muchos minerales no orgánicos no se describe a menudo, aunque las sales, como los sulfatos de zinc, hierro y cobre, son micronutrientes comunes en las formulaciones de los fertilizantes foliares (Melendez y Molina 2002). Los insumos como el bórax y el carbonato de calcio también actúan como amortiguadores de la acidez generada durante la fermentación.

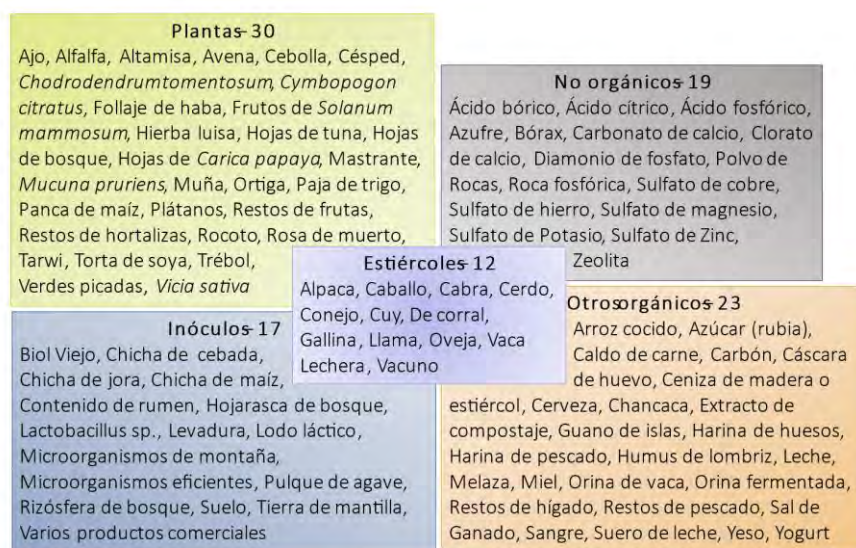


Figura 13: Todos los ingredientes añadidos al biol encontrados en la revisión (investigación, literatura promocional y académica), divididos en cinco categorías: plantas, estiércoles, otros orgánicos, no orgánicos e inóculos. Los números se refieren a la cantidad de insumos dictados dentro de cada categoría.

Este estudio sugiere que los inóculos, como la levadura, ayudan al proceso de fermentación, mientras que los inóculos de tierra o de ME están destinados a aportar microorganismos benéficos para las plantas. En el caso de estos últimos, la bibliografía afirma que tales inóculos comparten bacterias promotoras del crecimiento de las plantas con el biol. Incluso sin inoculación, los insumos como el estiércol y los productos lácteos llevan consigo comunidades microbianas distintas que sembraron eficazmente las fermentaciones.

Inóculos microbianos
 Se atribuyen numerosos beneficios agronómicos a los ME (Higa 1994). Los informes sobre los efectos positivos de los ME en las plantas son poco claros e inadecuados y, en algunos casos, los beneficios se derivan de los nutrientes del inóculo más que de cualquier efecto directo de los microorganismos (Mayer et al. 2010, Owen et al. 2015). No es probable que los microbios con rasgos de fijación de N o solubilización de fosfatos se vean favorecidos en los fermentos líquidos compuestos mayormente por estiércol y ricos en nutrientes para las plantas. De hecho, los microorganismos con estos rasgos se aíslan y enriquecen utilizando medios de cultivo que no contienen N ni P soluble (Pérez et al. 2007, Baldani et al. 2014). Las bacterias solubilizadoras de fosfatos pueden tener claros beneficios en ciertos suelos (Alori, et al. 2017) pero también pueden disminuir rápidamente tras su introducción en el suelo. (Khan et al. 2007). Los beneficios de algunos inóculos microbianos pueden, en última instancia, no ser prácticos o rentables para los pequeños agricultores (Aguilar Carpio et al. 2015).

C. Proceso de fermentación y control

A pesar de la gran diversidad de ingredientes, los pasos básicos para fabricar biol son similares, ya sea en un reactor de biogás o de manera artesanal en la finca, destinados a los cultivos. Esto incluye materia prima rica en nutrientes (por ejemplo, el estiércol), condiciones anaeróbicas y un diseño que permita la extracción de gas. Los manuales varían en cuanto a los detalles de la preparación del biol artesanal: algunos se limitan a enumerar los insumos y las cantidades, otros añaden pasos como cortar las plantas en trozos pequeños para promover la descomposición o, en el caso del INIAP (Ecuador), tienen tablas con los valores de los nutrientes de diferentes insumos orgánicos para ayudar a la formulación.

Casi todos los bioles artesanales a base de estiércol (descritos en revistas, manuales, tesis académicas) son preparaciones anaerobias, con pocas excepciones (Carrasco Nina et al. 2018). Los manuales especifican recipientes sencillos para condiciones anaeróbicas, con una válvula en la parte superior para permitir el intercambio de gases, a menudo a través de una manguera conectada a una botella de plástico con una trampa de agua. En algunos casos, los equipos de fermentación están dotados de un mecanismo para mezclar los ingredientes y acelerar la fermentación. El tiempo mínimo de fermentación indicado para el biol artesanal es de 30 días, aunque más de la mitad de los manuales recomiendan tiempos de fermentación más largos, de hasta 120 días. Se recomienda que el equipo de fermentación (contenedor del biol) permanezca en un lugar bajo sombra y con temperaturas estables.

Condiciones de fermentación

Las bajas temperaturas a gran altitud ralentizan la fermentación. En los Andes muchos digestores se construyen dentro de recintos que atrapan el calor (Alvarez y Lidén 2008c). Los metanógenos requieren temperaturas estables y un pH casi neutro (Alvarez y Lidén 2008c, Garfí et al. 2016) pero, en general, la fermentación óptima se produce bajo una temperatura estable y moderada. La mezcla puede promover una fermentación más completa al reducir la sedimentación (Alvarez y Lidén 2008c, Garfí et al. 2016). Evitar el frío y asegurar que los ingredientes estén bien mezclados (incluyendo la reducción del tamaño de los insumos, como el material vegetal, para que los microorganismos tengan acceso a la materia orgánica) son factores igualmente importantes para que el fermento líquido hecho en la finca acelere la fermentación.

D. Manuales y promoción del biol en los Andes

Los manuales que promueven el biol provienen de las ONG y de las entidades del gobierno (Tabla 2). Las instituciones afiliadas a la promoción del biogás, como USAID, HIVOS y Biosistema, son las que menos detalles tienen sobre la preparación del biol. El manual de Biobolsa aboga por enmendar el biol derivado del biogás con los fertilizantes industriales, urea y ácido fosfórico, antes de aplicarlo a los cultivos. Algunos manuales (CEDEPAS en Perú) promueven materiales que pueden ser costosos y más difíciles de adquirir, como el sulfato de hierro y el bórax. La mayoría de los manuales (AGRUCO y PROINPA en Bolivia, FOCONDES e ITDG en Perú, FONAG, INIAP y ECHO en Ecuador) promueven ingredientes de fácil adquisición, como cenizas, diversas plantas y melaza. Entre todos los manuales, el porcentaje de estiércol que se añade al biol oscila entre el 3 y el 48%, y la mayoría de los manuales recomiendan aproximadamente el 25% de estiércol (con el agua formando la mayor parte del resto) del volumen total de la fermentación.

Tabla 2. Selección de manuales de la revisión bibliográfica, con título, afiliación, país de origen, tipo de biol⁹.

Título	Afiliación	País	Biol
Producción de biol supermagro	Centro Ecuménico de Promoción y Acción Social (CEDEPAS)	Perú	Artesanal
Preparación y uso del biol	Soluciones Prácticas - Grupo de Desarrollo Tecnológico Intermedio (ITDG)	Perú	Artesanal
Manual de biología	Biobolsa	México	Biogás
Manual de elaboración de productos naturales para la fertilidad de los suelos	Agroecología Universidad Cochabamba (AGRUCO)	Bolivia	Artesanal
Producción de biol abono líquido natural y ecológico	Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIA)	Perú	Artesanal
Producción y uso de abonos orgánicos	Fondo de cooperación para el desarrollo social (FOCONDES)	Perú	Artesanal
Manual de producción de abonos orgánicos	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)	Ecuador	Artesanal
Guía de agroecología para una agricultura resiliente	Oficina de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Comisión Europea (ECHO)	Ecuador	Artesanal
Manual de biopreparados para la agricultura ecológica	Ministerio de Agricultura (Minagri)	Chile	Artesanal
Manual para elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos	Fondo para la Protección del Agua (FONAG)	Ecuador	Artesanal
Manual técnico: Instalación y uso de biogás	USAID, CARE	Perú	Biogás
El Biol: Biofertilizante casero para la producción ecológica	PROINPA	Bolivia	Artesanal
El Biol: El fertilizante Supremo	Personas HIVOS no limitadas	n.d.	Biogás

La tabla 3 refleja cómo los manuales definen las propiedades y usos del biol. Más del 90% de los manuales describen el biol como una pulverización foliar, mientras que aproximadamente la mitad utiliza el término "biofertilizante" y todos aplican el término "abono". Un tercio de los manuales describe el biol como un producto que contiene hormonas vegetales, la mitad le atribuye propiedades insecticidas y más del 75% menciona la eficacia contra las "plagas". Todos los manuales elaborados en la región andina mencionan la eficacia del biol para las plantas que se recuperan de heladas o granizadas. Aproximadamente la mitad de los manuales se centran exclusivamente en el biol, y otra mitad incluye otras prácticas como la preparación de compost, caldos minerales, bokashi u otros insumos orgánicos.

Tabla 3. Texto seleccionado de los manuales de promoción que describen las propiedades del biol.

Afiliación	Propiedades de biol, citada de manual
CEDEPAS	<i>descomposición aeróbica de diversos materiales orgánicos y minerales, utilizados como abono foliar.</i>
ITDG	<i>Es un abono foliar orgánico, ... proceso de fermentación anaeróbica de restos de estiércol, residuos de cosecha</i>
Biobolsa	<i>Abono orgánico líquido de la descomposición de estiércoles, plantas verdes, y ausencia de oxígeno</i>
AGRUCO	<i>...materia orgánica sometida a una actividad microbiana, que se transforma en ácidos, fitohormona y minerales</i>
INIA	<i>...descomposición anaeróbica... mezcla de estiércol, alfalfa picada, roca fosfórica, leche, pescado, entre otros.</i>
FOCONDES	<i>...abono foliar orgánico, preparado de estiércol fresco y otros ingredientes orgánicos,... donde no ingresa aire.</i>
INIAP	<i>fermentación anaeróbica de plantas de olores fuertes y leguminosas picadas, mezcladas con estiércol fresco.</i>
ECHO	<i>abonos líquidos, proceso anaeróbico... leche, melaza da energía, excremento de ganado, levadura</i>
Minagri	<i>Abono foliar orgánico, producto de la fermentación anaeróbica de restos orgánicos, estiércol, residuos de cosecha</i>
FONAG	<i>abono foliar... se prepara con diferentes estiércoles que se deben fermentar durante dos a tres meses.</i>
USAID	<i>Biol y biosol como abonos naturales para cultivos.</i>
PROINPA	<i>fertilizante foliar, producción casera, fermentación anaeróbica de desechos orgánicos de origen animal y vegetal</i>
HIVOS	<i>El biol es de residuos animales a lo cual al añadirle orina... acelera el proceso de compostaje</i>

⁹ Referencias de manuales: Biobolsa n.d., Aliaga n.a., Colque et al. 2005, Alvarez 2010, Chungara Atalaya et al. 2010, Mosquera 2010, Feican Mejia 2011, Infante Lira 2011, FONCODES 2014, Warnars and Oppenoorth 2014, Guzñay D. 2015, Tapia Tapia 2016.

Los tipos de estiércol y la cantidad añadida al biol varían entre el 3-48% en los manuales que describen la preparación, así como la gama de otros ingredientes (Tabla 4). Los tiempos de fermentación recomendados oscilan entre los 30 y los 120 días. En general, los manuales sugieren que el biol puede utilizarse en todo tipo de cultivos, incluyendo verduras, frutas, cereales y pastos. La mayoría de los manuales especifican una concentración para la aplicación de biol, que va desde el 0,25% hasta el 50% de dilución en agua (Tabla 4), pero no una tasa de aplicación, como el volumen por área de campo de un cultivo. La mitad de los manuales indican una frecuencia de aplicación, que varía entre cada 10-15 días o 2-12 veces a lo largo del crecimiento del cultivo, dependiendo del tipo de cultivo y de la fase de crecimiento de la planta (Tabla 4). Casi la mitad de las guías mencionan también el valor de los sólidos restantes, o biosol, como enmienda de la fertilidad del suelo. Menos de la mitad de los manuales enumeran las propiedades químicas del biosol. Las concentraciones reportadas para N, P, Ca, Mg, por ejemplo, variaron en órdenes de magnitud entre los diferentes manuales, y los rangos para el pH de 3,59 a 7,5. Para el análisis posterior de las propiedades químicas y microbiológicas del biol no utilizamos los datos de estos manuales.

Tabla 4: Resumen de la preparación y el uso del biol recogido en los manuales de promoción. La afiliación corresponde a la institución que elaboró el manual (véase la Tabla 3). Estiércol se refiere al tipo de estiércol y al porcentaje (%) que se añade para preparar el biol, así como a otros ingredientes prescritos para la preparación (n.d. si no figuran). Días se refiere al rango de días para la fermentación, Conc. se refiere a la concentración del biol para su aplicación en el campo (% diluido en agua), y la frecuencia de aplicación del biol (d.=días).

Afilación	Estiércol (%)	Otros ingredientes	Días	Conc.	Frec.
CEDEPAS	n.d.	22 Leche, melaza, sulfato de zinc, magnesio, hierro, cobre, bórax, harina de hueso, sangre, restos de hígado, restos de pescado	30-45	1-5%	c/ 10-15 d.
ITDG	Cuy, ganado vacuno	25 Melaza, cáscara de huevo, ceniza, suero de leche, sal de ganado, chicha de cebada	60-90	2.5-10%	n.d.
Biobolsa	Bovino o porcino	n.d.	Urea, diamonio de fosfato, ácido cítrico, ácido fosfórico	n.d.	0.25-33% 2-12 veces
AGRUCO	Vaca	25 Jugo de alfalfa o haba, ceniza	30-60	10-20%	c/ 10-15 d.
INIA	Ovino, vaca, cuy, gallina	19 Pescado, ceniza, azúcar rubia, alfalfa, ortiga, orin de vaca, leche, roca fosfórica, chicha de cebada	30-120	n.d.	n.d.
FOCONDES	Vaca o cuy	27 Planta leguminosa (alfalfa, trebol), melaza, ceniza, suero de leche, chicha, levadura	90-120	5-25%	c/ 10-15 d.
INIAP	Vaca, chanco, cuy, pollo	14 Plantas (por ejemplo, altamisa, ortiga, ruda, turpac, alfalfa, poroto), frutas de ají, cáscara de huevo, ceniza, melaza, leche, minerales, levadura	90	n.d.	n.d.
ECHO	Ganado	10 Leche, melaza, <i>Mucuna p.</i> , hoja de cana, cebolla, ajo, hierba luisa, mastrante, rosa de muerte, ceniza, roca fosfórica, MM, levadura	30	2.5-5%	n.d.
Minagri	Vacuno	48 Leguminosas forrajeras	90+	15-20%	3-5 veces
FONAG	Cuy, gallina, vaca	3 Melaza, ceniza, cualquier desperdicio orgánico que tenga a mano	n.d.	5-7.5%	n.d.
USAID	n.d.	n. a.	n.d.	2.5-10%	n.d.
PROINPA	Vaca, cerdo, conejo, u otro	25 Ceniza, leche o suero, chancaca, follaje de plantas leguminosas, follaje de plantas repelentes, inóculo 'Biograd	40-90	5%	c/ 15 d.
HIVOS	n.d.	n.d.	n.d.	17-50%	n.d.

E. Preparación y uso del biol en el campo

Las entrevistas con los agricultores y los promotores se utilizaron para resumir el conocimiento del biol, su preparación y su uso en el campo. Todos los entrevistados hablan del biol elaborado en la finca y no del asociado al biogás. Bajo este enfoque se captó la forma en que se describen los bioles y los factores que se consideran fundamentales para su preparación. Las respuestas se resumieron para múltiples entrevistas en todas las regiones y países y, cuando fue posible, se hicieron comparaciones basadas en factores geográficos como la región y la altitud.

Tabla 5. Resumen de la descripción del biol, preparación y aportes de los agricultores y promotores en Ecuador, Bolivia y Perú

PROVINCIA		BIOL Y PREPARACIÓN	INGREDIENTES
ECUADOR	AZUAY	DESCRIPCIÓN: fitoestimulante, biofertilizante, abono orgánico, biofertilizante foliar, buen material.	IRREMPLAZABLES: agua sin cloro, estiércol, panela, hierbas (ají, ajo, ruda, cebolla, ortiga), frutas, chicha, levadura, molibdato de amonio. COMPRAR: estiércol, melaza, leche, minerales, polvillo de arroz, sulfatos, cobre, bórax
		ELABORACIÓN: anaeróbico, (dos considera aeróbico), considerar ciclos lunares, adición de minerales, ubicación del tanque, mezcla 2 veces por semana.	
	PICHINCHA	DESCRIPCIÓN: fermentación anaeróbica, estiércol de rumiante, biofertilizante, bioenergizante, té de estiércol, fertilizante orgánico, biopreparado.	IRREMPLAZABLES: estiércol, melaza, ceniza, suero, microorganismos de montaña levadura, polvo de roca, leguminosas, hierbas fuertes. COMPRAR: sulfatos, melaza, polvo de piedra, minerales, suero de lecha, cal.
		ELABORACIÓN: anaeróbico, (uno considera aeróbico), estiércol fresco, agua sin cloro.	
BOLIVIA	COCHABAMBA	DESCRIPCIÓN: biofertilizante, abono foliar, equilibrador de nutrientes.	IRREMPLAZABLES: estiércol fresco de vaca, ceniza y hierbas leguminosas, chancaca, agua pura, alfalfa, 'no hay receta 'única'. COMPRAR: recipiente, leche, chancaca
		ELABORACIÓN: anaeróbico, (uno considera aeróbico), estiércol fresco y leguminosa picada, ubicación del tanque, cosecha - burbujeo en la botella.	
	LA PAZ	DESCRIPCIÓN: biofertilizante, fermentado líquido, abono fermentado, abono natural, bioinsumo.	IRREMPLAZABLES: estiércol fresco de vaca, estiércol de gallina, chancaca, alfalfa. COMPRAR: recipiente, leche, azúcar, levadura, muña, artemisa
		ELABORACIÓN: anaeróbico, (uno considera aeróbico), mezcla homogénea, calidad de agua.	
	ORURO	DESCRIPCIÓN: biofertilizante foliar, abono orgánico foliar, bioinsumo líquido.	IRREMPLAZABLES: estiércol fresco de vaca, levadura, chancaca, agua, muña. COMPRAR: leche, azúcar, levadura, alfalfa
		ELABORACIÓN: anaeróbico, mezcla homogénea.	
PERÚ	ÁNCASH	DESCRIPCIÓN: biofermento, abono foliar, abono orgánico, biofertilizante, alimento de la planta.	IRREMPLAZABLES: estiércol, melaza, alfalfa, trébol, guano de islas, leche, tierra negra, ceniza, roca fosfórica, vísceras de pescado, ME. COMPRAR: levadura, vísceras de pescado, guano de islas, azúcar, ME, sales minerales.
		ELABORACIÓN: anaeróbico, (uno considera aeróbico), mantener lejos de niños, temperatura, cantidad de ingredientes.	
	HUÁNUCO	DESCRIPCIÓN: abono orgánico, foliar alternativo, fitoestimulador, químico natural	IRREMPLAZABLES: estiércol, chancaca, hierbas, cáscara de plátano, alfalfa, pescado, mineral zinc, magnesio, boro, cenizas, cáscara de huevos, COMPRAR: recipiente, levadura, harina de pescado, guano de islas, azúcar, ME, minerales
		ELABORACIÓN: anaeróbico, recordar tiempos, mezcla y hierbas picadas	
	LIMA	DESCRIPCIÓN: fertilizante foliar, abono foliar, fertilizante líquido orgánico.	IRREMPLAZABLES: estiércol, chancaca, hierbas, suero, levadura, potasio, fósforo, ME. COMPRAR: levadura, vísceras de pescado, sangre, estiércol, leche o suero, cal, ME.
		ELABORACIÓN: anaeróbico, (uno considera aeróbico), no llena el recipiente.	

Los agricultores y los promotores describieron aspectos críticos de la preparación de los fermentos líquidos (Tabla 5). En siete de las ocho provincias evaluadas en los tres países, se recopilieron al menos dos docenas de variaciones de términos para describir el biol, como "biofertilizante", "abono foiliar", "fitoestimulador" y "bioinsumo líquido". Casi todos mencionaron la importancia de utilizar estiércol fresco y mantener la mezcla aislada para garantizar condiciones anaeróbicas. También se señalaron las recomendaciones sobre la mezcla periódica de los ingredientes, la ubicación del recipiente para la temperatura, y la seguridad y el uso de agua no clorada. Los entrevistados también consideran que una fuente de azúcar y plantas es un ingrediente necesario, pero muchos otros ingredientes, como la inclusión de sales minerales, variaron entre las regiones.

La disponibilidad y la mezcla de insumos fue notablemente distinta entre las regiones. En Perú, la inclusión de residuos de pescado y ME parecía ser distinta, y los ingredientes comprados variaban, incluyendo el estiércol en las regiones de Ecuador. En en la provincia de Oruro (Bolivia), un agricultor declaró **"...tenemos que comprar de La Paz, muña, altamisa, alfalfa, porque en el altiplano está seco. Lo único que conseguimos en nuestra zona, es la bosta de vaca y el suero de la leche"**. Un agricultor de Pichincha (Ecuador) señaló: **"Determinar de manera adecuada las cantidades de cada ingrediente en el biol es el proceso más importante para asegurar su calidad."**

Los agricultores entrevistados en el campo identificaron indicadores empíricos de la fermentación completa y de cuándo un biol está listo para su uso. Entre ellos figuraba un aroma de fermentación alcohólica, que algunos denominaban "olor a chicha", y un color superficial que iba del ámbar al verdoso, pero nunca negro. Algunos informaron del crecimiento microbiano en forma de manchas blancas en la superficie como un indicador deseable de una fermentación avanzada.

Los agricultores indicaron tiempos de fermentación que oscilaban entre los 14 y los 150 días (Tabla 6). Se observó poca correspondencia entre la altitud (y por lo tanto la temperatura) y los tiempos de fermentación reportados. En Pichincha, a una altitud de 2.300 metros, se reportaron tiempos de 30-90 días, mientras que, en Áncash, a 3.150 metros, los agricultores reportaron fermentaciones de 10-15 días y en Cochabamba, a 4.200 metros, fermentaciones de 21 días. En todas las regiones, la mayoría de los entrevistados informaron de tiempos de fermentación ideales entre 30 y 60 días. Sin embargo, la gran variabilidad en las respuestas a los tiempos de fermentación no indica un patrón claro basado en la localidad o la altitud, ni una correspondencia con las propiedades del producto final.

De los 93 promotores y agricultores entrevistados, sólo 16 informaron de la dosis y/o la frecuencia de aplicación del biol; y 38 indicaron únicamente la frecuencia de uso (Tabla 6). Al igual que los hallazgos de la revisión bibliográfica, las dosis y frecuencias variaron considerablemente. Las entrevistas reflejan que la dosis más común en la región andina es la dilución del 5% de biol en agua (1:20). No hubo información específica sobre la cantidad aplicada por unidad de superficie de campo. Aunque la mayoría de los agricultores indican la misma dosis para todos los tipos de cultivos, en algunos casos se utilizan dosis específicas para una determinada planta o una plaga o enfermedad concreta. La frecuencia de aplicación de biol más comúnmente reportada fue cada 15 o 20 días (Tabla 6).

Tabla 6: Región y altitud en metros sobre el nivel del mar con días de fermentación, concentración (% de biol) y frecuencia de aplicación, según testimonios de agricultores y promotores.

Provincia	Altitud (m.s.n.m.)	Tiempo de fermentación (días)	% Biol (aplicación)
Azúay	2500-3400	20-80	5% (cada 30-60 días)
			5% (1x lechuga - 2x fresa)
			5.5% (cada 15-30 días)
			5% foliar o 2.5% suelo (n.a.)
Pichincha	1890-3000	14-90	5% (depende del cultivo)
			2.5-10% (1x inicio de ciclo)
			10% (cada 15 días)
			0.2% (cada 8 días)
			25% (cada 7-15 días)
Cochabamba	2750-4200	21-30	4-80% (2-3 veces)
			85% (cada 7-14 días)
La Paz	3700	90-150	5-11-1% (cada 15 días)
Oruro	3670-3834	30-150	n.a.
Áncash	2160-3860	20-120	5-8.1% (cada 7 días)
			0.5%-1% (cada 10-12 días)
Huánuco	2000-3250	25-80	5% (cada 10 días)
			17.6% (cada 15 días)
Lima	2250	30-90	n.a.



8. Propiedades del biol en los Andes

Para evaluar las propiedades químicas de los fermentos líquidos, extrajimos datos de artículos de investigación y tesis académicas. Casi todas estas investigaciones se refieren al fermento como "biol", ya sea derivado de las sustancias digeridas de la producción de biogás o de un fermento hecho en la finca. Al igual que la variabilidad de los insumos de biol en los manuales (Tabla 5), las tesis y los artículos de investigación también reflejan diversos insumos (Figura 13) y preparaciones. En el caso de los estudios de investigación que informan de la cantidad de componentes iniciales e incluyen análisis químicos, comparamos los valores de nutrientes de los bioles.

A. Nutrientes en los fermentos líquidos

Nitrógeno - Para analizar la relación entre la cantidad de estiércol añadida y el N en los bioles, comparamos 54 preparaciones de fermentos de dieciocho estudios que utilizaron métodos analíticos similares y convertimos todas las unidades a ppm de N total. Un mayor contenido de estiércol utilizado en la preparación se asoció con una mayor concentración de N tras la fermentación (Figura 14A). El N total aumentó con la cantidad de estiércol, en aproximadamente 77 ppm por cada aumento porcentual del contenido de estiércol. Sin embargo, esta relación no fue particularmente fuerte, con una gran variación entre los estudios, y concentraciones que oscilaban entre 132 y 6500 ppm.

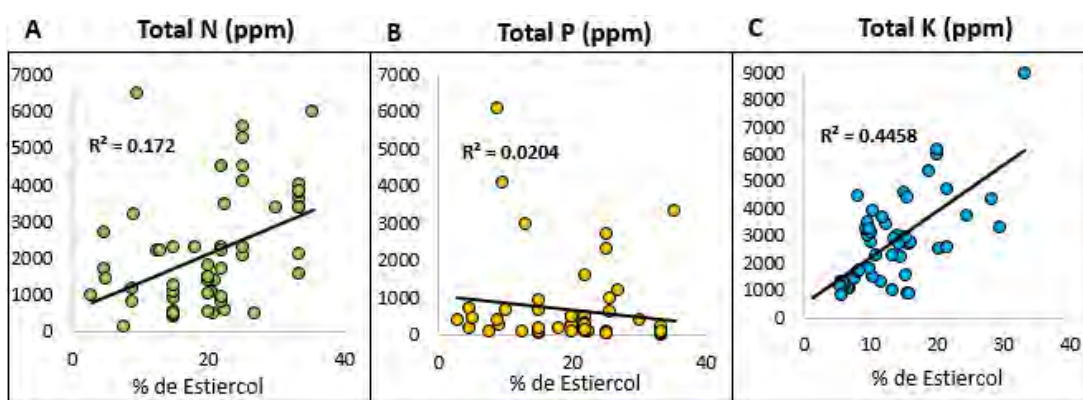


Figura 14. Relación entre el contenido de nutrientes en partes por millón (ppm) y el contenido de estiércol como porcentaje del volumen total del fermento líquido. A) La concentración de N (N total Kjeldahl) de 54 preparaciones distintas de 18 estudios. B) La concentración de P, de 56 preparaciones de 20 estudios. C) La concentración de K de 51 preparaciones distintas de 15 estudios.

Varios factores podrían contribuir a esta correlación relativamente baja. En primer lugar, estas comparaciones incluyeron todos los tipos de estiércol encontrados en las fuentes seleccionadas, aunque el 85% de estos estudios utilizaron estiércol bovino. El contenido de N del estiércol varía según la especie animal y según la dieta (Möller y Müller 2012). Algunos estudios también incluyen otras fuentes de N, como los productos lácteos, aunque éstos no se añadieron en grandes cantidades.

Al menos tres factores adicionales explican el contenido variable de N con el aumento del estiércol. En primer lugar, una fermentación lenta o incompleta podría dar lugar a una menor liberación de N y a un mayor contenido de N en el material inicial. En segundo lugar, parte del N puede perderse en forma de gas, como NH_3 , N_2O o N_2 , durante la fermentación o el almacenamiento. En tercer lugar, el N liberado

durante la fermentación podría cambiar de forma debido al pH u otros factores químicos y acumularse con los sólidos del biosol.

Fósforo - Una comparación de 56 preparaciones de veinte estudios indica que, a medida que se añade más estiércol, la concentración de P en el biol después de la fermentación permanece relativamente constante (Figura 14B). A diferencia del N, el P presente en el material inicial permanece después de la fermentación. Este hallazgo indica que, en muchos casos, a medida que se añade más estiércol, hay un límite en la cantidad de P, liberado durante la fermentación, que puede disolverse en el fermento líquido, quedando el resto como sedimento en el fondo o unido a otros sólidos.

Un examen más detallado de estudios específicos refleja cómo la concentración de P puede variar entre los fermentos. Ito et.al. (2006) compararon los fermentos líquidos de doce explotaciones diferentes, la mitad de las cuales añadieron de 1 a 14 Kg de fosfato de roca. El fosfato de roca parecía no influir en la concentración de P en el biol, y varios bioles sin fosfato añadido tenían una mayor concentración de P. Por el contrario, el mismo estudio comparó varias fermentaciones preparadas en laboratorio. Las que tenían suero de leche añadido tenían el P más alto. Esto indica además cómo el material inicial y la química del biol pueden influir en la concentración de nutrientes en el fermento final.

Otros nutrientes - En los estudios realizados, el K muestra la relación más fuerte entre el contenido inicial de estiércol y la concentración final en biol (Figura 14C). Al igual que el P, el K no puede escaparse durante la fermentación, pero es más soluble y permanece disuelto en el fermento líquido en un rango de pH. La variación entre los estudios depende de factores como el tipo de estiércol, la dieta de los animales y la interacción con otros ingredientes. Muchos fermentos de estos estudios tienen minerales añadidos, como Mg, Ca, cobre, boro y manganeso, todos ellos micronutrientes vegetales utilizados en los fertilizantes foliares (Fageria et al. 2009). Sin embargo, en nuestro estudio, estos micronutrientes también fueron abundantes en muchos bioles sin estos suplementos minerales añadidos.

Ninguna de las publicaciones informó del contenido de azufre en los bioles. El azufre es un importante nutriente vegetal, sujeto a la transformación biológica durante la fermentación, produciendo gas de sulfuro de hidrógeno (H_2S). La documentación sobre el azufre en los digestatos de estiércol también parece faltar en los estudios globales (Möller y Müller 2012).

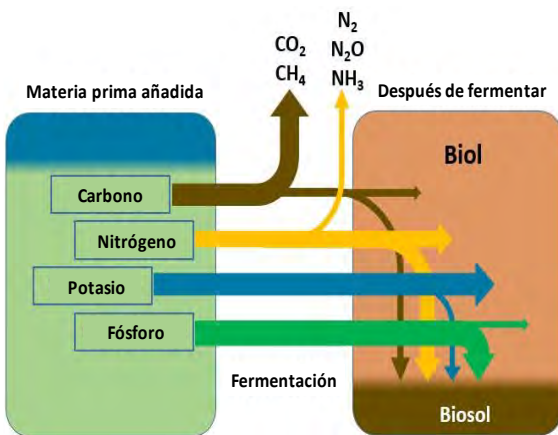


Figura 15. Trayectoria de los elementos clave de las materias primas -carbono, nitrógeno, potasio y fósforo- durante y después de la fermentación. La anchura de las flechas representa cantidades generalizadas de los destinos de cada elemento. Grandes cantidades de carbono salen en forma de gases como el CO₂ y el CH₄, parte del carbono permanece diluido y suspendido en el biol, y el carbono resistente a la descomposición forma un biosol sedimentado. Algunos gases de nitrógeno salen como N₂, N₂O y NH₃, grandes cantidades entran en el biol y en el biosol. El potasio entra fácilmente en el biol. La mayor parte del fósforo forma minerales y se combina con el biosol.

Un factor importante en el cálculo de la concentración de nutrientes en el biol, particularmente para el N y el P, es el método en el que se toma la muestra del fermento. Este detalle no se explica en la mayoría de los estudios recogidos en esta revisión, pero puede explicar la alta variación en las concentraciones de nutrientes. Los procedimientos estándar para el análisis de muestras de digestato (es decir, las muestras de la Tabla 7) requieren filtrar los sólidos (APHA 1998). La concentración de N relativamente alta y la gran variabilidad en las muestras de biol en la Figura 14 sugieren que los sólidos no siempre se filtraron, y que algunas muestras contienen sólidos en suspensión con una alta concentración de N. Esto demuestra la dificultad de analizar y comparar entre preparaciones complejas. Entre los estudios revisados los sólidos totales variaron ampliamente debido a las diferentes cantidades de estiércol y a la adición de otros ingredientes añadidos a las fermentaciones.

Nutrientes en la digestión anaeróbica de los Andes

Una revisión de los digestores de biogás en los Andes muestra la variación en el contenido de N en el digestato (Tabla 7). El porcentaje de N en los sólidos de la digestión del estiércol de vaca fue de 3,05%, y para el estiércol de cuy varió entre 2,93-5,44% de N, lo que se convierte aproximadamente en 30.500 y 29.300 - 54.400 ppm, respectivamente. El total de N en la fracción líquida fue de 271 ppm en el digestato de vaca y de 185-380 ppm en el de cuy, lo que supone aproximadamente dos órdenes de magnitud menos que el porcentaje de N en los sólidos. Además, del N en las fracciones líquida y sólida, casi todo estaba en la forma de NH_4^+ disponible en la planta (Tabla 7). Estos rangos de N en las fases sólida y líquida del digestato son similares a los encontrados en una revisión global de los contenidos de nutrientes del digestato (Nkoa 2014).

Tabla 7: Parámetros químicos de los fermentos líquidos de los estudios de los digestores anaeróbicos en los Andes (de Garfí et al. 2016), una revisión global (de Nkoa et al. 2014) y los bioles de esta revisión. Los parámetros incluyen el porcentaje de sólidos totales, el porcentaje de N total en sólidos, el N total en líquido, el N amoniacal (NH_4) en líquido, el P medido como fosfato ($\text{P}_2 \text{O}_5$) en líquido y el pH.

Parámetro	Digestores anaeróbicos		Bioles
	Andes **	Global ***	Esta revisión
Sólidos totales (%)	0.9 - 2.7	1.5 - 45.7	n.d.
N* total - sólidos (%)	2.9 - 5.4	3.1 - 14.0	n.d.
N* total - líquidos (mg/L)	185 - 380	120 - 910	132 - 6500
N-NH ₄ (mg/L)	165.5 - 210	150 - 680	114 - 980
P-P ₂ O ₅ (mg/L)	130.2 - 134.5	40 - 260	9 - 423
pH	7.1 - 7.5	7.3 - 9.0	3.7 - 9.2

*Nitrógeno Kjeldahl total. ** de Garfí et al. (2016). *** de Nkoa (2014)

Idea clave: Después de la fermentación, los nutrientes de las plantas, como el N y el P, aparecen en tres fases: disueltos en el fermento líquido, en sedimentos sólidos (biosol) y en sólidos no descompuestos suspendidos en el fermento líquido. La concentración relativa de nutrientes como el N y el P varía entre estas fases.

B. pH de los fermentos líquidos

El pH de los fermentos líquidos es un indicador clave de las propiedades químicas: el pH desciende a medida que aumenta la acidez. Cuando los microorganismos descomponen los azúcares en AGV, se genera acidez (por ejemplo, acidogénesis), lo que hace bajar el pH. Si el pH vuelve a aumentar, esto indica que los AGV están siendo consumidos por los microorganismos, aliviando la acidez.

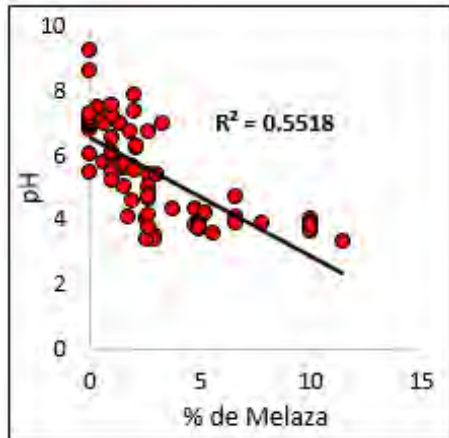


Figura 16: Azúcar sin refinar (melaza) añadida al biol como porcentaje del volumen total y del pH del fermento líquido. Derivado de 86 preparaciones distintas de 25 estudios publicados.

En los Andes, encontramos que la mayoría de los bioles son ácidos, con un pH promedio de 5,48 (n=86). A modo de comparación, una revisión del digestato de las plantas de biogás en los Andes que utilizan estiércol de vacas, cuyes o llamas, tuvo un rango de pH de 7,10-7,50 entre 10 estudios (Garfí et al. 2016). El menor pH de los bioles que no son de biogás indica una fermentación con procesos microbianos distintos a los de la producción de biogás.

Encontramos un claro patrón de pH más bajo (más acidez) con un mayor porcentaje de azúcares, como la "melaza", añadidos a la fermentación (Figura 16). Esto sugiere que el suministro de azúcares "por adelantado" acelera el crecimiento microbiano y la producción de acidez. Por el contrario, las fuentes de carbono más complejas, como el estiércol animal y la biomasa vegetal, tienen menos contenido en azúcares y producen una fermentación más gradual, ya que la hidrólisis libera azúcares y los AGV se consumen, lo que evita la acumulación de ácido.

Nitrógeno y pH en los fermentos líquidos

Durante la fermentación y la digestión anaeróbica, hasta el 50% del N del estiércol se convierte en NH_3 disponible para las plantas (Bonten et al. 2014). Este NH_3 puede perderse como gas a pHs superiores a 7 (Möller y Müller 2012) especialmente con un almacenamiento más prolongado y una mayor manipulación (Tran et al. 2011). Un pH más bajo reduce la pérdida de N.

Idea clave: Gran parte de la bibliografía describe la adición de azúcar como un estimulante de la fermentación y la formación del biol. La adición de azúcar es una excelente fuente de energía para un rápido crecimiento microbiano, pero puede no estimular la descomposición del estiércol y la liberación de nutrientes. En los mismos estudios de la figura 14, no encontramos ninguna relación entre la adición de azúcar y la concentración de N (teniendo en cuenta el % de estiércol), lo que sugiere que el azúcar añadido no estimula la liberación de nutrientes del estiércol.

C. Biosol

Sólo dos estudios informan del análisis químico del biosol. En cada uno de ellos, la concentración de N fue similar en el biol y en el biosol, pero la concentración de P fue sustancialmente mayor en el biosol (Aguirre López 2017, Cabos Sánchez et al. 2019). Esto se ajusta a las observaciones de una revisión de las sustancias digeridas anaeróbicamente en los Andes, en los que el P en los sólidos de la materia digerida se concentra aproximadamente diez veces respecto a los valores del estiércol inicial (Garfí et al. 2016). Esto resulta en una mayor concentración de P, en relación con el N (es decir, menor N:P) después de la digestión, pero la mayor parte del P se encuentra en los sólidos del digestato y no en el fermento líquido (Tabla 7).

Varios manuales reconocen el valor nutritivo del biosol como enmienda del suelo. Otros sugieren filtrar los biolíquidos a través de un paño o un tamiz antes de su aplicación como pulverización foliar. Las diferencias en las propiedades de los nutrientes entre el biol líquido y el biosol, e incluso las partículas finas en el líquido, suponen un reto tanto para la estandarización y comparación de los análisis, como para la aplicación de los productos de la fermentación a las plantas.

Sólidos y contenido de nutrientes

La naturaleza de la materia orgánica cambia durante la fermentación. Los azúcares y otras fuentes de energía simples se consumen primero, dejando las grasas y fibras complejas, que pueden entrar en la fracción líquida (Tambone et al. 2009). Esto da lugar a partículas finas de material orgánico estable, resistente a la descomposición (Tambone et al. 2019) que pueden contener altas concentraciones de N y P (Tambone et al. 2017). Mientras que la concentración de N puede ser similar entre los líquidos y los sólidos, la concentración de P es generalmente varias veces mayor en los sólidos (Kataki 2017). La forma del P también depende del pH, con fosfatos de calcio y magnesio que se forman como sólidos a medida que aumenta el pH (Möller y Müller 2012). Los lodos de los digestores anaeróbicos suelen tratarse con ácido para "extraer" más nutrientes de los sólidos que, de otro modo, podrían perderse durante el almacenamiento (Möller 2015).

Idea clave: La forma de "cosechar" un fermento líquido puede determinar su valor agronómico. Por ejemplo, si los sólidos se "resuspenden" o se filtran, y si las partículas finas pueden aplicarse mediante pulverizadores foliares. El biosol tiene abundantes nutrientes para las plantas, especialmente P, así como materia orgánica estable. El alto contenido de N (como NH_3) en el biosol es vulnerable a una rápida pérdida por volatilización (off-gassing) después de cosechar el biol. El "enjuague" del biosol con agua adicional puede eliminar N que podría aplicarse a las plantas.

D. Microbiología y bioquímica

La literatura que reporta datos microbiológicos de los bioles se centra en la presencia de patógenos comunes en los estiércoles, como los coliformes fecales (Tabla 8). Tres estudios que utilizaron inóculos microbianos comerciales informaron de la reducción de coliformes fecales tras la fermentación en comparación con el estiércol inicial (Rojas Párraga 2014, Aguirre López 2017, Moreno Ayala 2019). Sin

embargo, la reducción de coliformes fecales también se produjo sin inoculantes, tanto en el biol de biodigestor (Soria Fregoso et al. 2001) como en el biol artesanal (Ulloa-Cuzco 2015). Garfí et al. (2016) descubrieron que las fermentaciones a mayor temperatura reducían los coliformes fecales en los digestores. El control de los patógenos humanos sigue siendo una preocupación para la manipulación del biol y su aplicación a los cultivos.

Algunos estudios informan de la presencia de microorganismos potencialmente beneficiosos (Ito 2006), como las bacterias lácticas (BAL), pero también reflejan la gran variabilidad de las comunidades microbianas presentes en los fermentos líquidos, incluso entre los bioles de un mismo estudio (Robalino Robalino 2011, Villacís-Aldaz et al. 2016). Sólo una investigación estimó los cambios en las bacterias beneficiosas a lo largo del tiempo, con un aumento de la población durante 121 días de fermentación (Díaz Montoya 2017). De biol de biogás en Perú, Coaguila et al. (2019) cultivaron bacterias fijadoras de N y bacterias nitrificantes. En Costa Rica, Xiu Canche (2018) encontró una baja diversidad microbiana (evaluada mediante técnicas moleculares) en las preparaciones de microorganismos de montaña y biol, y sugirió que el crecimiento de algunos microbios había sido inhibido por las sales minerales añadidas.

Tabla 8: Resumen de los resultados de los datos microbiológicos recogidos en la bibliografía revisada. Todos los estudios utilizaron parámetros basados en medios de cultivo para evaluar las comunidades. El "(+)" representa la detección positiva de un organismo y el "(-)" significa que no hay detección.

Microbios detectados en biol	Referencia
Coliformes fecales: (+) en cuyinaza, (-) en biol (-) biosol.	Aguirre López 2017
Biol de biodigestor, disminuyo coliformes totales.	Bastidas 2019
De biodigestor: (+) bacterias mesófilas, nitrificantes, actinomicetos.	Coaguila 2018
Bacterias mesófilas aumenta entre 31-121 días en bioles.	Díaz Montoya 2017
12 bioles artesanales (-) coliformes, (+) <i>Lactobacillus</i> sp.	Ito 2006
Fermentación estiércol de ovino: baja coliformes fecales a cero.	Medina et al. 2015
Coliformes fecales y <i>Lactobacillus</i> sp.: + en estiércol, menos en biol.	Moreno Ayala 2019
Coliformes fecales: (-) en biol.	Peralta-Veran 2016
Coliformes fecales y <i>Lactobacillus</i> sp. (+) heces de alpaca (-) biol.	Quiñones Ramírez 2016
24 bioles con distintos inóculos (+) <i>Bacillus</i> sp. (+ y -) <i>Lactobacillus</i> sp. (+ y -) hongos	Robalino Robalino, 2011
Entre más altas dosis de ME, menos conteo de coliformes.	Rojas Parraga 2014
Coliformes (+) en estiércol, (-) en biol.	Soria Fregoso et al. 2001
Coliformes fecales: (+) en preparación, (-) en biol.	Ulloa-Cuzco 2015
Detectado en ME: <i>Aspergillus</i> sp., <i>Rhizopus</i> sp., <i>Alternaria</i> sp., <i>Penicillium</i> sp.	Villacís-Aldaz 2016

Más de la mitad de los bioles estudiados incluyen algún tipo de inóculo (Tablas 4 y 5), que van desde levaduras, pasando por fermentos de plantas y suelo, hasta inóculos comerciales como el ME. En la mayoría de los estudios no está claro el impacto de la adición del inóculo. Algunos estudios examinaron explícitamente el efecto de las BAL en la disminución del pH del biol (Quiñones Ramírez et al. 2016). Sin embargo, no encontramos un patrón claro entre la inoculación y el pH del biol. Algunos bioles inoculados tienen un pH neutro y otros sin inoculación desarrollan un pH ácido. No encontramos evidencia de que las BAL aceleren la fermentación de fuentes orgánicas complejas como el estiércol.

Tres estudios en los Andes estimaron las hormonas vegetales en el biol, incluyendo el ácido giberélico (García Fernández 2015), auxinas, citoquinas (Díaz Montoya 2017) y ácido indolacético (Rojas Párraga 2014) aunque no todas se detectan de forma consistente. Un estudio de ocho bioles artesanales encontró abundantes concentraciones de alcaloides, y presencia variable de saponinas, taninos y fenólicos (Orellana et al. 2013). Los estudios realizados fuera de los Andes informan que los materiales digeridos anaeróbicamente contienen vitaminas, hormonas vegetales y otros compuestos orgánicos diversos, ya sean remanentes de material introducido, como las plantas, o producidos por los microorganismos (Möller y Müller 2012, Li et al. 2016). Gran parte de esta complejidad y su impacto en los cultivos y el suelo sigue sin explorarse en la investigación, y es difícil de separar del efecto estimulante de los nutrientes de las plantas.

Bacterias del ácido láctico

Las BAL se utilizan en una serie de aplicaciones de fermentación, y se han propuesto como biofertilizantes (Lamont et al. 2017). Se ha demostrado que las cepas aisladas de BAL tienen propiedades que promueven el crecimiento de las plantas (Giassi et al. 2016) al actuar como agentes de control biológico (Shrestha et al. 2014) y producir compuestos antifúngicos (Gupta y Srivastava 2014). No obstante, las BAL son taxonómicamente diversas y no está claro si las cepas con rasgos beneficiosos para las plantas pueden crecer y multiplicarse en los fermentos líquidos que tienen como componente principal el estiércol. La secuenciación del ADN muestra que las BAL son una pequeña fracción de las comunidades microbianas en los digeridos anaeróbicos del estiércol (Sun et al. 2015).

Urra et al. (2020b) compararon un fermento líquido comercial y un fermento líquido hecho en la finca con melaza, suero de leche, hojarasca de roble, salvado de trigo y polvo de basalto, ninguno de ellos con estiércol. Ambos tenían un pH ácido de entre 4,2 y 4,4. La secuenciación del ADN del producto comercial reveló que más del 80% de los microbios eran BAL, mientras que el fermento líquido hecho en la finca tenía una diversidad microbiana mucho mayor, con menos del 25% de los microbios identificados como BAL.

Incluso si las BAL cultivadas en los fermentos líquidos no tienen rasgos beneficiosos para las plantas, pueden aportar propiedades favorables al fermento. La orina fermentada con BAL disminuye el pH, reduce la pérdida de amoníaco (y por lo tanto el olor) y mejora el valor del fertilizante (Andreev et al. 2017). El ácido láctico producido por las BAL puede antagonizar patógenos como *E. coli* y *Salmonella* (Wang et al. 2015) que pueden estar presentes en los fermentos líquidos.



9. Agronomía y crecimiento de las plantas

A. Efectos en las plantas

Las investigaciones de la región examinan el efecto del biol en una serie de cultivos, como el maíz, la quinoa, la papa y hortalizas como la cebolla, el calabacín y las espinacas. Los estudios varían en factores como la tasa y la frecuencia de aplicación del biol, la comparación con otros fertilizantes y los rasgos de las plantas que se miden. Dada la variedad de preparaciones de biol (por ejemplo, tipos de abonos, otros ingredientes) y la gama de cultivos probados, no resumimos las relaciones entre las propiedades específicas del biol y la respuesta de los cultivos.

Diez estudios no muestran ningún efecto del biol en los cultivos y dieciocho informan de algún efecto significativo. De ellos, dos informaron de un efecto negativo sobre el cultivo y 16 de efectos significativos y positivos sobre los rasgos de la planta (Tabla 9). Dieciséis estudios compararon exclusivamente bioles (por ejemplo, preparaciones contrastadas, o tasas de aplicación) sin comparación con otros insumos de fertilidad, y varios informan de efectos positivos en comparación con un control de agua. Diversos estudios también informaron sobre efectos positivos con concentraciones de biol superiores a las recomendadas en la mayoría de los materiales de promoción (es decir, > 30%).

Tabla 9: Cultivo(s) evaluadas, si se observó un efecto significativo, positivo o negativo, y notas clave.

Cultivo	Significativo	Si o No (+ o -), Notas	Referencia
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Si (+)	Biol mejor que agua, pero no del producto comercial.	Andino Villafuerte 2011
<i>Solanum tuberosum</i>	Si (+)	Biol aumenta el rendimiento en comparación con el tratamiento químico por casi 14%.	Araque Ipiales 2019
<i>Lactuca sativa L.</i>	Si (+)	Biol a 50% aumento cosecha.	Cardeña Curo 2012
<i>Pisum sativum l.</i>	Si (+)	Mejor cosecha c/ biol (no supermagro o té de estiércol).	Carlos I. y Estrada R. 2019
<i>Zea mays L.</i>	Si (+)	Maíz más alto con biol a los 30 días de germinación.	Chontal et al. 2019
<i>Allium cepa l.</i>	Si (+)	Biol a 50% aumento rendimiento junto fertilizante químico.	Coaguila et al. 2019
<i>Lactuca s. y Brassica o.</i>	Si (+)	Biol 'bovino' y de cuy mejor que biol de cerdo.	Criollo et al. 2011
<i>Plukentenia volubili</i>	Si (+)	Biol incrementó el número de flores y frutos.	Díaz et al. 2014
<i>Allium cepa</i>	Si (+)	Mejor rendimiento con biol a 20%.	Flores Mamani 2015
<i>Hordeum vulgare</i>	Si (+)	Aumento c/ biol de cuy a 30%, (no c/ ovino o vacuno)	Gómez Huanca 2018
<i>Solanum tuberosum</i>	Si (+)	Biol de ovino a 12,5% mejor que de bovino, conejo.	Guato Guato 2016
<i>Cucurbita pepo L.</i>	Si (+)	Menos insectos, rendimiento mayor c/ dosis de 10%.	López Segura 2015
<i>Chenopodium q.</i>	Si (+)	Mejor rendimiento, significativo, con biol a 60%.	Mamani R. y Aliaga Z. 2017
<i>Lactuca sativa</i>	Si (+)	Aumento en rendimiento biol a 6% cada 15 días.	Pomboza-Tamaquiza et al. 2016
<i>Spinacea oleracea</i>	Si (+)	Aumento del rendimiento, biol a 40% y 100%.	Siura et al. 2016
<i>Hordeum vulgare</i>	Si (+)	Mejor rendimiento biológico al 50%.	Tumiri 2019
Maíz, fava, calabaza	Si (+/-)	Biol mejor que agua para maíz. Frijol peor con biol. Calabaza - depende tipo de biol.	Ebel 2020
<i>Capsicum asp.</i>	No	No hay diferencia significativa de dosis hasta el 15% de biol.	Álava Mendieta 2015
<i>Allium cepa</i>	No	No hubo efecto significativo hasta el 40%.	Bello Moreira 2016
<i>Chenopodium q.</i>	No	Biol a 50% no afecto en rendimiento.	Borda Mercado 2013
<i>Solanum ssp.</i>	No	Sin efecto con biol hasta el 50%.	Condori-Mamani et al. 2017
<i>Solanum tuberosum</i>	No	Peor que el uso de fertilizante NPK.	Cutipa Chura 2007
<i>Raphanus sativus</i>	No	No hay diferencias con el uso de biol.	León Becerra 2018
Maíz chola	No	Biol no dio mejor crecimiento.	Moreno Ayala 2019
<i>Rosa spp.</i>	No	No efecto contra nemátodos, biol a 3%.	Rosero Chávez 2018
<i>Chenopodium p.</i>	Si (-)	Con biol más días para madurar.	Ramírez Ochoa et al. 2016

Pocos estudios reportan la frecuencia de aplicación, pero entre los que aplicaron biol en intervalos de 15 días o menos, (Criollo et al. 2011, Lopez Segura et al. 2015, Pomboza-Tamaquiza et al. 2016) parecía más probable un efecto positivo. El biol diluido al 40% - 60% (en agua) impactó positivamente en el

crecimiento de las plantas (Siura et al. 2016, Mamani Reynoso and Aliaga Zeballos 2017, Coaguila et al. 2019, Tumiri 2019). Pomboza-Tamaquiza et. al. (2016) informaron sobre efectos significativos en el crecimiento de los cultivos con un 6% de biol en agua, aunque su biol contenía aportes de nutrientes excepcionalmente altos, incluyendo un 20% de leche cruda y un 5% de harina de huesos.

Al menos dos estudios aplicaron fertilizante químico suplementario al comparar diferentes dosis de biol, en cebolla (*Allium cepa* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y ninguno mostró un efecto significativo del biol sobre los rasgos de la planta (Borda Mercado 2013, Bello Moreira et al. 2016). Tres estudios encontraron que las altas concentraciones de biol redujeron la germinación de las semillas, posiblemente debido al bajo pH o a las elevadas sales presentes en el biol (Medina et al. 2015, Quiñones Ramirez et al. 2016, Aguirre López 2017). Dos estudios examinaron las plagas de las plantas, en *Cucurbita pepo* L. donde el biol redujo la presión de los insectos (Lopez Segura et al. 2015) y en *Rosa sp.* en la que el biol no mostró ningún impacto significativo sobre una serie de plagas de insectos y hongos (Rosero Chávez 2018).

Un único estudio controló el aporte total de N por hectárea, al examinar la respuesta de la papa (*Solanum tuberosum*) al fertilizante industrial comparado con la adición de biol complementada con compost comercial (Araque Ipiales 2019). El compost se aplicó de manera en que una adición de 20 aplicaciones de biol a una dilución del 50%, igualara la tasa de N aplicada por el fertilizante industrial. Ningún tratamiento incluyó sólo compost. Además, se aplicaron numerosos insumos adicionales para controlar las plagas en todos los tratamientos. El rendimiento de la papa fue un 14% mayor en los tratamientos con biol y compost en comparación con el fertilizante industrial.

Una comparación de fermento líquido comercial, fermento hecho en la finca, y NPK mineral, sobre el rendimiento del maíz no mostró diferencias después de una temporada, y un rendimiento significativamente mayor con NPK en el segundo año, siendo la enmienda hecha en la finca la que tuvo el menor rendimiento (Urra et al. 2020b). Un estudio paralelo encontró una mejora significativa del rendimiento de la lechuga con fermentos líquidos en comparación con la adición de NPK industrial (Urra et al. 2020a). Una comparación de los fertilizantes orgánicos (incluido el supermagro) no mostró ningún beneficio para el rendimiento del maíz ni ninguna diferencia cuando se utilizó junto con el suplemento de fertilizante industrial aplicado en una proporción del 50%. (Vázquez Gálvez et al. 2014). Estos resultados indican que el efecto de los fermentos líquidos puede depender del tipo de cultivo.

Fertilización foliar

La evidencia sugiere que la aplicación foliar de macro y micronutrientes puede ser rápidamente adsorbida por las hojas cuando está en forma soluble y a veces cuando está quelada, particularmente cuando las plantas están visiblemente estresadas por la deficiencia de nutrientes (Fageria et al. 2009). La aplicación foliar de hidrolizados de proteínas (extractos vegetales), por ejemplo, puede beneficiar el crecimiento y el rendimiento de los cultivos (Colla et al. 2017) tanto por un efecto directo de fertilización como por la estimulación de las vías fisiológicas de las plantas de cultivo que responden al estrés biótico y abiótico (Ertani et al. 2017).

Idea clave: Los fermentos líquidos pueden mejorar la función del ecosistema del suelo a corto plazo, incluyendo la disponibilidad de N, la respiración del suelo, la renovación del carbono del suelo, la agregación del suelo y el almacenamiento de agua. Los impactos sobre la salud del suelo pueden medirse en la finca utilizando parámetros estándar (O'Neill et al. 2021) y considerando adaptaciones a las condiciones locales, como la disponibilidad de P en los suelos de los Andes, para los que la aplicación de biosoles puede ser apropiada.

B. Fermentos líquidos y suelo

Numerosos estudios en los Andes informan de los resultados de las pruebas de rutina del suelo durante los ensayos de campo, pero no antes y después de la aplicación de biol. Un único estudio en Costa Rica sobre suelos plantados con plátano no encontró ninguna diferencia en los nutrientes del suelo después de la aplicación de biol, pero sí un aumento en la biomasa microbiana y en la respiración del suelo (Ortega Bonilla 2013). El coste de los análisis de los fermentos y del suelo, así como su carácter interdisciplinario, pueden limitar la preponderancia de este tipo de estudios.

Fermentos líquidos y suelo

La aplicación de fermentos líquidos al suelo aumenta la disponibilidad de N pero puede provocar pérdidas de N a altas tasas de aplicación (Rigby and Smith 2013). A través de la digestión, la concentración de P aumenta aún más que la de N, pero predomina en los sólidos (biosol), por lo que las plantas absorben más N de los fermentos recién aplicados en relación con el P (Hao et al. 2016). Muchos estudios comparan los purines de digestión anaeróbica aplicados al suelo con los fertilizantes minerales; algunos muestran un mayor rendimiento de los cultivos con estos últimos (Lee et al. 2020) y otros no muestran diferencias en el rendimiento entre ambos (Ren et al. 2020). La variabilidad en la respuesta de los cultivos puede depender de si las comparaciones se hacen sobre la base del N total o del N disponible para la planta en los fermentos líquidos, ya que numerosos estudios también muestran que los fermentos líquidos estimulan los procesos del ecosistema del suelo (Möller y Müller 2012).

Los microorganismos de los fermentos líquidos impulsan transformaciones bioquímicas, pero parecen no persistir una vez aplicados al suelo. Numerosos estudios informan de efectos significativos sobre el crecimiento de las plantas y las propiedades del suelo tras la aplicación de fermentos líquidos sin que se produzcan cambios significativos en la comunidad microbiana del suelo (Sapp et al. 2015, Coelho et al. 2020, Urrea et al. 2020b). Aunque la composición de la comunidad microbiana del suelo no muestre alteraciones, Albuquerque et al. (2012) se encontró que los fermentos líquidos aumentan la biomasa microbiana y la actividad enzimática del suelo. Insam et. al. (2015) también descubrieron que el digestato de estiércol reducía los patógenos del suelo.

Un estudio en el que se comparó el fermento líquido comercial y el biol hecho en la finca, encontró que ambos mejoraban significativamente las propiedades del suelo (respiración, disponibilidad de N y actividad enzimática) en comparación con la aplicación de NPK industrial (Urrea et al. 2020b). El efecto de los fermentos en la materia orgánica del suelo (MOS) depende de los tipos de insumos utilizados para hacer los fermentos líquidos. Los insumos fácilmente degradables, como la biomasa de las leguminosas, parecen producir un material digerido que contribuye poco a la MOS, mientras que insumos como el bagazo de maíz pueden dar lugar a fermentos que aumentan la MOS (Möller 2015). Al igual que con la variación del tipo de cultivo, los impactos de los fermentos líquidos pueden variar en función del tipo de suelo y del historial de manejo (Urrea et al. 2020a).

Idea clave: Aunque la evidencia es muy variable, la revisión sugiere que el biol puede mejorar el crecimiento de los cultivos, especialmente cuando se aplica en concentraciones más altas, o con mayor frecuencia. Ningún estudio informa de los efectos del biol después de un daño físico como el que ocasionan las heladas, sin embargo, como fertilizantes foliares, pueden aliviar el estrés abiótico.

C. Conocimiento y uso del biol en los Andes

Las prácticas agroecológicas en los Andes incluyen una variedad de estrategias de manejo de cultivos y nutrientes (Chilon Camacho 2011, Jacobsen et al. 2014). La complejidad de la preparación y aplicación de los fermentos líquidos puede impactar en la adopción de esta práctica por parte de los agricultores. El uso de biol de los biodigestores frente a la preparación y uso de biol artesanal puede diferir en términos de enfoques prácticos para el manejo de nutrientes. A través de la literatura y las entrevistas, examinamos el estado de uso del biol por parte de los pequeños agricultores en los Andes.

Al entrevistar a los agricultores que participaron en una intervención de una ONG agroecológica del centro de Ecuador, Soto (2010) observó que los participantes adoptaban el lenguaje de la agroecología, pero quizá no las prácticas en sí. Entre los agricultores, el conocimiento del uso de biol era limitado, aunque se aceptara su utilidad en el marco de las prácticas agroecológicas. Ríos (2009) informó sobre un productor de Ecuador que utilizaba biol para controlar las plagas en las papas, en lugar de productos químicos. Esto requería visitas más frecuentes al campo para aplicar el biol, a cambio se obtienen plantas con mayor vigor y resistencia a las heladas. Sin embargo, el rendimiento no era equiparable al de los cultivos que recibían tratamiento con fertilizantes químicos, pero el coste de los insumos era menor. Este resultado precipitó el desarrollo de un grupo de mujeres en la comunidad que comenzó a preparar el biol de forma colectiva, para después comercializarlo como fuente de ingresos.

Tales observaciones sugieren que el conocimiento de la preparación y el uso del biol no está tan extendido como la conciencia de su valor potencial. La relativa complejidad del uso de biol puede prestarse a la preparación colectiva (por ejemplo, entre una cooperativa de mujeres como se mencionó anteriormente) y una división en las prácticas entre el promotor, el fabricante y el usuario. Mientras que el uso del compost estaba muy extendido entre los agricultores entrevistados en Huancayo, Perú, el uso del biol era aislado (Chávez Soto y Elescano Lopez 2017). El biol requiere de una comprensión y un conocimiento más profundos, desde la formulación hasta la preparación y la aplicación.

En Junín, Perú, Córdor Quispe (2010) señala la importancia de la participación de los agricultores en los cursos de formación. Los agricultores que asistieron a repetidas capacitaciones poseían una comprensión más profunda de las prácticas holísticas y del uso de biol en comparación con los asistentes ocasionales. Las actividades de participación de los agricultores en las capacitaciones también distinguieron a los productores que finalmente utilizaron esta tecnología, y aumentaron el intercambio de conocimientos entre los agricultores y los promotores. Esto concuerda con los hallazgos de que la promoción de prácticas complejas, como la conservación del suelo en los Andes, es más eficaz con una combinación de apoyo técnico de arriba hacia abajo (top-down) y prácticas participativas entre los agricultores (Posthumus et al. 2010).

El caso de los Yapuchiri en Bolivia nos ilustra el uso del biol como una práctica especializada construida a lo largo del tiempo. Un productor informa que la preparación y uso regular de biol tomó dedicación, pero ahora es lo suficientemente común como para mantener un suministro constante (Pardo Valenzuela y Caballero Espinoza 2018). Otros miembros de la comunidad buscan a los Yapuchiri para acceder al biol. Los vecinos que inicialmente se mostraban escépticos observaron resultados positivos cuando el biol se prepara y se aplica correctamente a los cultivos. Los entrevistados señalaron el valor de producir biol en lugar de viajar para comprar insumos agrícolas. Algunos también señalaron que otros agricultores intentaron copiar la preparación del biol y vender las fórmulas, pero no tuvieron éxito.

Idea clave: La preparación y el uso del biol hecho en la finca puede depender de la formación y de los procesos participativos. El biol derivado del biogás es distinto en el sentido de que la preparación, la disponibilidad y el valor agronómico están dictados principalmente por la optimización de la producción de biogás. Las organizaciones miembros de RedBioLAC, que desarrollan digestores anaeróbicos domésticos en toda América Latina, han hecho del biol un elemento central de promoción y adopción, como un valioso fertilizante con potencial como fuente de ingresos comercializable (Garwood 2010) que puede compensar el coste de la instalación de un digestor anaeróbico doméstico (Arrieta Palacios 2016). Los programas que promueven el biol artesanal como práctica agroecológica se enfrentan a una serie de retos distintos en comparación con la promoción del biol derivado de los biodigestores.

Encontramos poca literatura sobre la práctica real del uso de biol por parte de los agricultores en los Andes. Un estudio sobre la producción orgánica en la costa de Ecuador utilizando biol puede ser relevante para otras regiones (Santos 2011). En la transición a las prácticas orgánicas en el cacao (*Theobroma cacao*), la transferencia de conocimientos a través de la extensión - talleres regulares y capacitaciones de campo - fue fundamental para traducir la información técnica sobre el biol al uso en la finca. Al preparar el biol, los agricultores solían trabajar colectivamente, en grandes grupos o en parejas, lo que mejoraba la adopción y la aplicación del biol. Antes de la rehabilitación de la producción de cacao, el 87% de las explotaciones no utilizaba ninguna pulverización foliar, y tras los esfuerzos de extensión dedicados, el 92% de los productores utiliza biol.

Las entrevistas en Bolivia, Ecuador y Perú reflejan una amplia gama de percepciones sobre los usos y los impactos del biol en la planta y en el suelo. En Cochabamba, los agricultores y promotores afirmaron que el biol ayuda al desarrollo del cultivo aportando minerales y hormonas vegetales, y promueve la floración en la papa, el maíz, la quinua, el tarwi y otras plantas. En cambio, un promotor de PROINPA afirmó que en muchos casos el biol sólo es útil en el desarrollo temprano del cultivo. En los tres países encuestados, los entrevistados afirmaron que el biol mejora el desarrollo de las plantas y da la impresión de un mayor vigor de las mismas (Tabla 10).

Especialmente en Bolivia, los agricultores destacaron el uso de biol en las plantas después de las heladas o las granizadas. Un agricultor de la comunidad de Japo Kasa, ayllu Majasaya, declaró ***"He utilizado para la helada, para la granizada ha sido bueno. Para la granizada ese rato hay que fumigar"***. Otro agricultor, que trabaja con PROSUCO en la comunidad de Suramaya, municipio de Caquiaviri, señaló: ***"Una vez que cae granizo o helada, inmediatamente hay que fumigarlo, para que se recupere rápido la planta. Según mi concepto, es como si estuviera echando con abono"***. Y un promotor de campo en Salinas Garci de Mendoza: ***"...la recuperación de la planta después de la helada, le ayuda en un 80%, por otra parte, algunos productores lo ocupan para recuperar después de un ataque de granizada."***

Los entrevistados también informan que utilizan el biol como plaguicida y para mejorar la calidad del suelo (Tabla 10). En Bolivia, un agricultor de Puqui afirma que el biol ***"...hace que la tierra sea más fértil para la planta, que tenga nutrientes, para que la plantita sea más resistente, y tenga un mejor crecimiento"***. En Ecuador, un agricultor de Guarquí, dice del biol: ***"al incrementar la vida en el suelo, aumenta la retención de humedad y por lo tanto las frecuencias de riego bajan, la planta está más vigorosa y no le afectan tanto el ataque de plagas y enfermedades. Y en cuanto a la producción, las cosechas son mejores, más grandes, vigorosas y en mayor cantidad"***. Muchos de los impactos percibidos son difíciles de discernir, como el aumento de la biodiversidad o la mejora del ecosistema. Al señalar que

el biol puede considerarse una panacea, un promotor de HEIFER en Azuay, Ecuador, declaró *"... algunos agricultores, al observar los resultados en campo, suelen sobrestimar el efecto de los bioles y dejan de trabajar otras herramientas que complementan el sistema ecológico de producción..."*. La revisión de la literatura sugiere que, en el mejor de los casos, el biol puede complementar otras técnicas agroecológicas, y existe el riesgo de confundir los beneficios del biol con otras técnicas o bioinsumos.

Tabla 10. Percepciones de agricultores y promotores de Ecuador, Bolivia y Perú, sobre uso e impacto del biol.

PROVINCIA		USOS	IMPACTOS PERCIBIDOS
ECUADOR	AZUAY	bioestimulante - fertilizante de suelo y microbiota - repelente - mejora calidad y rendimiento - absorción de nutrientes	mejora en el suelo (vida microbiana) - planta con mayor vigor - recuperación y proliferación de la biodiversidad - cuida el medio ambiente
	PICHINCHA	recuperar el suelo y la microbiota - corregir deficiencias - estimula la germinación - promover cultivos y fruta - repelente de plagas	mejora el suelo y la producción - mayor vigor - incremento en la producción y los ingresos económicos - mejor salud y alimentación - corta dependencia del comercio de agrotóxicos
BOLIVIA	COCHABAMBA	mejorar el desarrollo de almáciguera plantas, flores en primera etapa, hortalizas, papas, maíz, quinua, tarwi - recuperar cultivos de las heladas y granizadas	mayor vigor de la planta (aumenta follaje) - crecimiento de planta - mayor producción - recuperación y proliferación de la biodiversidad
	LA PAZ	promover el desarrollo de la planta - aportar minerales - recuperar cultivos de las heladas y granizadas	mayor vigor en la planta - incremento en la producción (en relación con quienes usan agroquímicos) - mayor resistencia a heladas y granizos
	ORURO	abono foliar, uso en todo tipo de cultivo, - mejorar estructura del suelo - fortalecer planta (defensas) - repelente de animales - recuperar cultivos de granizadas y heladas	mejorar del suelo - cuidado del medio ambiente - mayor vigor de la planta (follaje) - mayor resistencia a plagas (mejor respuesta del grano) - incremento en la producción
PERÚ	ANCASH	abono foliar - desarrolla planta y suelo - mayor rendimiento - insecticida, fungicida - recupera cultivo de heladas	mejora el suelo - mayor vigor en la planta, (recuperación de marchitez) - incremento en la producción - recuperación de la biodiversidad - mejora el cultivo (más flores, más hojas, más brotes) - menor incidencia de enfermedades
	HUANUCO	abono foliar - promueve microorganismos del suelo - desarrollo de la planta - pesticida	mejora el suelo - mayor vigor de la planta y la producción (frutos) - permite la producción continua de hortalizas
	LIMA	fitoestimulante - aportar nitrógeno - corregir deficiencias - repelente - desarrollo de la planta	mejora el suelo - mayor vigor en la planta - calidad de productos cosechados - incremento en la producción

D. Bioinsumos adicionales en los Andes

Nuestra revisión encontró otros bioinsumos innovadores en la región andina. Estos incluyen el uso novedoso de insumos orgánicos tradicionales como el estiércol de camélidos y el tarwi para un mejor manejo de los nutrientes (Chilon Camacho 2011) y el aislamiento de microorganismos del suelo con potencial como biofertilizantes (Franco et al. 2011). El uso de fermentos líquidos para la gestión de nutrientes puede asociarse junto con estas prácticas en desarrollo.

Los suelos andinos contienen microbios adaptados al frío con propiedades promotoras del crecimiento vegetal (Yarzabal y Chica 2017, Pandey y Yarzabal 2019). Se han aislado bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre asociadas a la quinua (Choque Estrada 2017). De la papa se han aislado bacterias que reducen la presión de las plagas y mejoran el crecimiento del tubérculo (Oswald et al. 2010) y se han aislado hongos con capacidad para solubilizar el fósforo (Pineda 2014). Las bacterias y hongos nativos aislados, cultivados en grandes lotes y aplicados en pulverizaciones foliares, aumentan el rendimiento de la quinua (Ortuño et al. 2013). Los metabolitos secundarios extraídos de las cepas nativas aisladas de *Trichoderma sp.* también aumentan el rendimiento del grano en la quinua (Ortuño et al. 2017). Además, se han recogido microbios benéficos a través de redes de agricultores mediante el aislamiento de hongos y bacterias de los abonos agrícolas (Franco et al. 2011). Todos ellos tienen potencial como biofertilizantes para los cultivos andinos, al margen de su uso biológico.

El uso de biol puede integrarse con aplicaciones innovadoras de los recursos nutritivos tradicionales para mejorar la fertilidad del suelo (Chilon Camacho 2011, Garcia et al. 2015). Estos incluyen la incorporación de nutrientes de la orina con compost para las papas (Condori-Guarachi et al. 2018) o enfoques colectivos para el manejo y el uso del compost a través de redes de agricultores (Mamani Falcon 2018). Una encuesta realizada en Costa Rica entre los agricultores que utilizan biol reveló que todos utilizaban al menos otra enmienda de fertilidad y, a menudo, varios insumos (Xiu Canche 2018). El uso del biol en los sistemas agroecológicos de los Andes requerirá de una cuidadosa evaluación de cómo se compara esta práctica con otros enfoques de manejo de los cultivos y del suelo, y de las posibles compensaciones (trade-offs) en tiempo y materiales. Por ejemplo, los agricultores de Argentina que están realizando la transición a al manejo agroecológico de *Amaranthus cruentus* L. descubrieron que el efluente de un simple biodigestor tenía un mayor impacto positivo en el rendimiento que la aplicación de vermicompost, pero el rendimiento no era tan grande como con la aplicación de biofertilizante fúngico de *Trichoderma* sp. (Cabanillas et al. 2017).



10. Experiencia de los agricultores y los promotores en los Andes

Las entrevistas con agricultores y promotores de campo se utilizaron para resumir las experiencias de aprendizaje y formación sobre el uso del biol, así como las perspectivas de futuro con relación a esta práctica, y para evaluar qué factores favorecen o no el uso del biol. Este sondeo incluyó a personas que han experimentado con el biol pero que desistieron de su uso. Con más de 100 entrevistas realizadas, se intentó recoger las declaraciones más repetidas y representativas de la gama de opiniones de muchas fuentes entre ocho provincias andinas de Bolivia, Ecuador y Perú.

A. Transmisión de conocimientos y espacios de aprendizaje

Se recopilaron testimonios para comprender los métodos y herramientas utilizados para transmitir los conocimientos sobre el uso de la biol, así como las limitaciones en el proceso de aprendizaje. En la tabla 11 se refleja un resumen de las respuestas en todas las provincias evaluadas. Cabe destacar que los comentarios incluyen tanto las experiencias de los entrevistados como los prejuicios que reflejan las percepciones del aprendizaje y la formación para el uso de biol.

En todas las regiones, los entrevistados citaron la demostración de los resultados en el campo como clave para comunicar los resultados. El diálogo de saberes, el intercambio de experiencias y los enfoques "de campesino a campesino" son puentes útiles para la propagación del uso de biol y otros bioinsumos. Un caso por excelencia es el de los Yapuchiri, o agricultores sabios, en el altiplano boliviano. Los entrevistados señalaron que su participación hace más efectivas las actividades de enseñanza y práctica de campo. En las provincias estudiadas, los testimonios muestran la escasa participación de las autoridades locales y entidades gubernamentales en la promoción del uso de biol y otras prácticas relacionadas. En la mayoría de los casos han sido las ONG las que han asumido este papel. Los puntos débiles de estas intervenciones son su corta duración, la dependencia de los donantes para permanecer o la propensión a cambiar el enfoque de la intervención.

Las entrevistas reflejan fuertes prejuicios sobre las razones por las que los agricultores no han adoptado el uso de biol. La falta de interés, la envidia, la resistencia al cambio, la falta de conocimientos, y la pasividad son las razones por las que los agricultores desisten del uso del biol. Un promotor de la biofábrica BIOTOP en Bolivia comenta: **"... el agricultor, como agricultor, no asume todavía lo que es orgánico, para él, lo más fácil necesita, y los productos químicos, son fáciles de utilizar"**. Un especialista en agricultura de Pichincha señaló **"... las personas no logran comprender los principios elementales para la producción de bioles, lo cual ha dificultado su adopción en campo"**.

Tabla 11. Resumen de las reflexiones de las entrevistas sobre los métodos de aprendizaje de uso de biol y los desafíos, registradas por promotores y agricultores en Bolivia, Ecuador y Perú.

PROVINCIA		COMENTARIOS SOBRE MÉTODOS Y ESPACIOS DE APRENDIZAJE SOBRE BIOL
ECUADOR	AZUAY	Métodos: Capacitaciones de largo plazo, diálogo de saberes, campesino a campesino, compartir experiencias y práctica grupal, talleres para los interesados, intercambio de experiencias entre productores, charlas, consultas por WhatsApp, demostraciones en campo. Dificultades: Falta de tiempo y dinero, desinterés, resistencia a nuevos conocimientos, falta de paciencia, riesgo por la transición a la agroecología (asumir las pérdidas que esto conlleva), actitud pasiva de productores, grupos numerosos, falta de información, no hay dificultad.
	PICHINCHA	Métodos: sobre recetas, talleres teóricos y prácticos (incluye efectos negativos de agrotóxicos en la salud humana, y beneficios de bioinsumos), visitas al campo, cursos de agroecología, permacultura Dificultades: Temas teóricos, falta de tiempo, desinterés, requiere explicación detallada de procesos y demostración de resultados en parcelas, acceso a materiales, resistencia a nuevos conocimientos, malas experiencias en capacitaciones, incomprensión de los principios, hábito de uso de agroquímicos, no hay dificultad.
BOLIVIA	COCHABAMBA	Métodos: Campesino a campesino, práctica grupal seguida de práctica individual, preparación y aplicación de bioles, información sobre efectos negativos de agroquímicos, talleres teóricos y prácticos con acompañamiento, Yapuchiri capacita con parcela demostrativa, no específica. Dificultades: Falta de paciencia, falta ver resultados en campo, desconocimiento de la agroforestería, comprensión del biol (no es una panacea), desinterés, envidia, resistencia a nuevos conocimientos, falta de acompañamiento, malas experiencias previas, abordaje superficial.
	LA PAZ	Métodos: Parcelas demostrativas, intercambio de experiencias, campesino a campesino, revisión de bibliografía, capacitaciones con Yapuchiris, capacitaciones teóricas y prácticas, no específica. Dificultades: Comprensión del biol (no es plaguicida), desinterés, limitada accesibilidad a ingredientes, limitado acceso a las comunidades, falta de seguimiento del proyecto, envidia, falta de dedicación, tiempo prolongado de fermentación.
	ORURO	Métodos: Campesino a campesino, intercambio de experiencias teóricas y prácticas, Yapuchiri capacita con parcela demostrativa, apoyo en materiales audiovisuales y medios digitales, autodidacta, asesoría de técnicos e ingenieros agrónomos. Dificultades: Hábito de uso de agroquímicos, resistencia a nuevos conocimientos, no creen en impactos positivos del biol, alta rotación de autoridades en comunidades, desinterés, tiempo prolongado de fermentación.
PERÚ	ÁNCASH	Métodos: Taller demostrativo, uso de volantes, asistencia técnica personalizada, campesino a campesino, reparten recetas, visitas a parcelas, charlas en asambleas, videos, no específica. Dificultades: Falta de sensibilización, envidia (capacitación a una pequeña población), no creen en impactos positivos del biol, limitado acceso a las comunidades, falta de demostraciones en campo, malas experiencias con técnicos, grupos muy numerosos, idioma local (quechua), hábito de uso de agroquímicos.
	HUÁNUCO	Métodos: Campesino a campesino, parcelas demostrativas, taller demostrativo, intercambio de experiencias, personal técnico que permanece 2-3 meses, trabajo en fortalecimiento organizacional, abastecimiento de productos o insumos, cosecha. Dificultades: Desinterés, envidia, no creen en impacto positivo del biol, hábito de uso de agroquímicos, falta de tiempo, limitado acceso a las comunidades, falta de conocimiento y acompañamiento.
	LIMA	Métodos: Capacitaciones, recetas y clases demostrativas a grupos de jóvenes, profesores y organizaciones comunales, prácticas grupales y después práctica individual, intercambio de experiencias entre organizaciones de productores, no específica. Dificultades: Falta de tiempo, hábito de uso de agroquímicos, búsqueda de resultados más rápidos, falta de sensibilización, desinterés, no específica.

B. Factores que favorecen o desfavorecen el uso de biol

Para entender la adopción y la sostenibilidad del uso de biol por parte de los agricultores, se evaluaron tres factores: 1) beneficios percibidos, 2) perspectivas de futuro con relación al uso de fermentos líquidos, 3) aspectos económicos, sociales y ecológicos que favorecen el uso de biol frente al uso discontinuado. Los resúmenes de las respuestas reflejan observaciones, creencias y aspiraciones

concretas. Los informes de los agricultores sobre los beneficios del uso de biol convergieron en general en las ocho provincias del estudio, en orden de prioridad: mejor calidad y rendimiento de los cultivos, lo que conlleva mayores ingresos; ahorro en la compra de insumos y productos agroquímicos, mayor autonomía (es decir, reducción de la dependencia de los productos agroquímicos); mejora de la calidad y la fertilidad del suelo; menor incidencia de plagas y enfermedades y costes asociados; mejor salud en términos de alimentos nutritivos; cuidado del medio ambiente, recuperación de la biodiversidad y restauración de los ecosistemas (Tabla 12).

En cuanto a las perspectivas de futuro, las aspiraciones de los agricultores reflejan que muchos de los entrevistados están en proceso de transición a la agroecología (Tabla 12). Consideran que el crecimiento de la producción agroecológica y el acceso al mercado mejorarán su calidad de vida, pero sólo si los consumidores valoran los productos agroecológicos. En La Paz, Azuay y Pichincha los agricultores mencionan que el uso de bioinsumos debería ser fomentado por entidades estatales y privadas a través de incentivos, para promover la transición hacia la agroecología. En Azuay, los agricultores mencionan un deseo de transición a la producción ganadera 100% agroecológica. En Huánuco los agricultores afirman que la agroecología sólo será viable si el Estado limita los agroquímicos en lugar de promover su uso. En Cochabamba, los agricultores mencionan que la formación en las escuelas ayudará a crear conciencia y responsabilidad en el cuidado del medio ambiente. Si bien muchos de estos agricultores y promotores expresan los beneficios del uso de biol, gran parte de sus perspectivas de futuro están ligadas a factores que son una aspiración o que no están bajo su control.

Tabla 12. Beneficios percibidos y perspectivas de futuro con relación al uso de biol, según declaraciones de los agricultores y promotores en Bolivia, Ecuador y Perú.

PAÍS	BENEFICIOS PERCIBIDOS	PERSPECTIVA DE FUTURO
ECUADOR	-Económico (ingresos/ahorro) -Mejora la salud, el suelo y medio -Calidad de productos -Menor incidencia de plagas -Autonomía y empoderamiento (corta dependencia con agroquímicos, estatus del productor) -Cuidado de semillas.	-Una transición orgánica, por la crisis económica y ambiental, -Recuperar el suelo -Mantener intercambio de conocimientos -Sector público y privado promueve la producción orgánica con subsidios, comercialización de productos agroecológicos -Los consumidores demandan alimentos sanos y nutritivos -Mayor venta de bioinsumos -Quebrar dependencia con agroquímicos -Mayores ingresos económicos y el prestigio por el conocimiento.
BOLIVIA	-Mejor rendimiento, calidad de productos -Económico (ingresos/ ahorro) -Mejora suelo, menor incidencia de plagas -Alimentos sanos -Autonomía y empoderamiento (Yapuchiris) -Facilidad de manejar cultivo. -Recuperación de saberes locales.	-El biol como parte de una transición orgánica -Consumidores conscientes y productos orgánicos accesibles -Mejores técnicas de uso de bioles -Organizaciones de productores promueven el bioinsumo - Mayor énfasis en la ganadería -Mayor ingreso económico, espacio de venta garantizado, conocimientos sobre bioles se transmiten a jóvenes -Incentivos para la producción orgánica -Mayor conciencia del cuidado del medio ambiente -Alcanzar cosecha de 43 quintales por hectárea -Bioles mejorados, amplia difusión entre asociaciones de productores de quinua, oportunidades de comercialización de bioinsumos.
PERÚ	-Mejor salud, alimentos sanos -Intercambio de experiencias -Económico (ingresos/ahorro) -Mejor calidad del suelo -Cuidado del medio ambiente - Cohesión social.	-El consumidor demanda productos orgánicos -Recuperación de prácticas ancestrales -Elaborar mejores bioles y promover su uso -Contribuir la salud de los consumidores -Más agricultores se animan por la producción agroecológica, sector público apoya la transición -Sector público prioriza la salud y prohíbe consumos de alimentos con agroquímicos -Más oportunidades para comercializar bioinsumos -Uso de bioles más difundido, -Comercializar bioinsumos -Continuar el uso y la experimentación.

Cuando se les pidió que reflexionaran sobre los factores que favorecen o desfavorecen el uso del biol, los agricultores reiteraron muchos de los motivos anteriores, pero también revelaron opiniones muy arraigadas sobre las prácticas agrícolas y el contexto socioeconómico (Tabla 13). Los resultados visibles en el campo son un factor primordial que favorece el uso de biol, así como el menor coste de producción al utilizar más recursos disponibles en la producción de la finca. Sin embargo, los productores también expresaron los beneficios de trabajar en grupos como un aspecto que favorece el uso del biol - esto parece reconocer el apoyo de las ONG, los grupos de agricultores y la cohesión social y la organización asociada, tanto como cualquier apoyo técnico relacionado con el uso del biol. De hecho, los agricultores de Azuay afirmaron que la resistencia sociopolítica al movimiento agroecológico impide la difusión de estas

prácticas, indicando la influencia del movimiento en sí mismo y por encima de la difusión de estas prácticas específicas.

Los agricultores que desistieron del uso de biol señalan como principales motivos la falta de interés y de tiempo (Tabla 13). Un gran número de promotores lo atribuyen a factores de actitud como el desconocimiento de los efectos negativos de los agroquímicos sobre la salud y el medio ambiente, y la percepción de los beneficios por encima de la sostenibilidad o la resistencia a nuevos conocimientos y prácticas. Sin embargo, estas opiniones también son expresadas por algunos que indicaron que la asistencia técnica en el campo era pobre o inadecuada (Tabla 11). Una formación deficiente en el campo podría dar lugar, al menos, a una falta de coincidencia de expectativas entre promotores y productores. Varios entrevistados expresan que el proceso de producción, a menudo complicado, disuade del uso de biol.

Tabla 13. Resumen de los factores que favorecen y no favorecen el uso del biol declarado por los agricultores y promotores en Bolivia, Ecuador y Perú.

PAÍS	FAVORECE LA PRÁCTICA	NO FAVORECE LA PRÁCTICA
ECUADOR	-Acceso a alimentos sanos y nutritivos -Sin agroquímicos, mejora calidad de vida, menor incidencia de plagas, mayores ingresos económicos - Permite diversidad de cultivos -Empoderamiento de campesinos - Reutilización de desechos de la finca -Intervenciones de ONGs y algunos programas estatales, que han fundado bases para el desarrollo agroecológico -Resistencia sociopolítica de movimientos agroecológicos y la mejor comercialización -Bajo costo del proceso	-Capacitación inadecuada, falta de comprensión de los procesos -Dificultad con la certificación orgánica -Creer que el biol soluciona todos los problemas del cultivo -Disponibilidad de materiales (recipiente) -Trabajar con estiércol, sangre o rumen de animales es considerado sucio -Falta de tiempo, trabajo recae sobre las mujeres -Competencia ejercida por la agroindustria, desempleo y migración a la ciudad -Creer que lo agroecológico demanda mucho esfuerzo -Políticas públicas que promueven agroquímicos -En Azuay, la mayoría de productores son mujeres mayores de 50 años -Idiosincrasia rígida y desvalorización -Los consumidores no valoran la producción agroecológica
BOLIVIA	-Resultados a la vista -Bajo coste del proceso -Alimentos nutritivos que mejoran la salud y el medio ambiente -Uso de recursos locales - Preventivo contra las plagas -Cohesión a la comunidad -Conexión con la naturaleza. -Empoderamiento del productor -Reglas de uso y aplicación - Mayores ingresos económicos -Mayor rendimiento -Valorización y recuperación de saberes.	-Impaciencia con el tiempo de fermentación -Seguimiento, difusión, capacitaciones inadecuadas -Falta de conciencia sobre el medio ambiente - Resistencia al cambio -Creer que biol no da resultados, que el azúcar atrae gorgojos -Pereza, idiosincrasia rígida -Costumbre y facilidad de uso de agroquímicos -Recursos limitados (estiércol, dinero) -Falta de tiempo - Consumidor no valora producto agroecológico -Competencia que ejerce la industria de agroquímicos -No hay costumbre de preparar propios bioinsumos -Aplicación inadecuada.
PERÚ	-Buena salud, calidad de vida, cuidado del medio ambiente -Mayor rendimiento, ingreso económico -Diálogo de saberes -Organizaciones que promueven la práctica -Más conciencia sobre cuidado de medio ambiente -Mayor demanda por productos agroecológicos -Mejor producción, conciencia sobre efectos de uso de agroquímicos, nutrición del suelo -Relación estrecha con promotores, -Recuperación de saberes ancestrales.	-Crear que producir orgánico es más costoso -Suelos muertos, y constante presencia de plagas -Competencia de la industria agroquímica -Falta de conocimiento de los procesos -Consumidor no valora agroecología -Acceso al estiércol -Idiosincrasia rígida, de productor y consumidor -Falta de apoyo de las autoridades -Costumbre por los agroquímicos y resistencia al cambio - Impaciencia -Machismo -Difícil acceso a comunidades alejadas - Analfabetismo -Doble discurso (producción orgánica para autoconsumo, agroquímicos para venta)-Facilidad para comprar agroquímicos, ausencia del estado en promoción de esta práctica.

Las reservas sobre el uso de biol también se deben a consideraciones socioales y políticas más amplias. Entre ellas se encuentran las ideas negativas sobre la manipulación del estiércol y la preocupación por la certificación orgánica si se aplican coliformes fecales a los cultivos a través del biol. El contexto social, político y económico de cada provincia también influye en esta práctica. El coste de los insumos materiales, como el contenedor de plástico o la disponibilidad de estiércol, es limitante. En Azuay, Ecuador, la influencia del movimiento agroecológico contribuye a interiorizar el valor de la agricultura sostenible y de prácticas como el uso del biol. Por otro lado, en Oruro, Bolivia, la producción de quinua está dominada por la agroexportación, y el uso de bioinsumos está condicionado por las exigencias del mercado exterior.



11. Consideraciones finales y próximos pasos

Esta revisión sobre los fermentos líquidos aplicados por los pequeños agricultores en los Andes refleja una amplia evidencia de los beneficios positivos para las plantas y el suelo. Sin embargo, tanto la literatura disponible como las entrevistas de campo muestran una gran variabilidad e incertidumbre en cuanto a las propiedades de estos bioinsumos y su utilidad en los agroecosistemas. Las evaluaciones adicionales del uso del biol en los agrosistemas de pequeños agricultores andinos deberían abordar cuestiones básicas relacionadas con los propios fermentos y con la forma en que se integran en los sistemas agroecológicos.

La tabla 14 propone un enfoque para futuras evaluaciones y estudios. Los ingredientes de los fermentos líquidos son fundamentales para el proceso de fermentación y la utilidad agronómica del biol. Cualquier evaluación de estos materiales iniciales debe considerar igualmente el contexto agroecológico más amplio, como por ejemplo si el estiércol disponible se utiliza adecuadamente para el biol, y qué opciones adicionales de manejo de nutrientes pueden complementar el uso del biol. La supervisión del proceso (es decir, el pH) durante la preparación de biol en la finca ayudará a reducir la variabilidad en la evaluación del valor agronómico del biol, al igual que las aproximaciones más cuidadosas sobre cómo se cosechan y aplican el biol y el biosol, que tienen un valor agronómico diferente. Por último, las propiedades del biol - especialmente las vinculadas a los insumos materiales- deben evaluarse con más detalle, tanto en lo que respecta a los riesgos potenciales, como los patógenos humanos, como a los beneficios para la salud de las plantas y el suelo. La integración cuidadosa de las cuestiones básicas que vinculan el uso del biol y los agroecosistemas contribuirá a abordar la alta variabilidad de los resultados agronómicos y las incertidumbres expresadas por los profesionales y los usuarios. A continuación, se detallan otros vacíos de información.

Tabla 14. Resumen de consideraciones y recomendaciones a nivel de insumos materiales, de proceso y de evaluación de productos para el uso de fermentos líquidos (columna izquierda) dentro de sistemas agroecológicos (columna derecha).

	Fermento líquido hecho en finca	Sistema agroecológico
Material	Herramienta para evaluar el valor nutricional de los insumos. Por ejm: estiércol + biomada de plantas + ceniza=total N, P, C. Permitiría estimación de aporte al agroecosistema y comparación entre formulaciones.	Evaluar en finca los insumos para la elaboración del biol. ¿Es sensato desviar el estiércol a fertilizante para el manejo de nutrientes del suelo para una granja determinada? ¿Tiene sentido la inversión en ciertos materiales como el contenedor y algunos ingredientes?
Proceso	Monitoreo básico de temperatura, pH, conductividad e incluso el olor y emisiones de gas para evaluar el progreso de la fermentación y las propiedades del biol.	Biol, partículas sólidas, biosol tienen propiedades nutricionales diferentes. Se debería evaluar cómo estos componentes son separados y aplicados en cada suelo y cultivo local.
Producto	Medición de los nutrientes contenidos en los insumos y en los productos del biol. Monitoreo de patógeno y reducción de riesgos.	Cuál es el rol más amplio del biol + biosol en el agroecosistema (ejm. Compost y rotación de cultivos).

A. Vacíos de información y prioridades para la investigación

Insumos y monitoreo - La diversidad de insumos utilizados en los fermentos líquidos permite posibilidades para adaptar los ingredientes a cada localidad, pero es también un reto para la estandarización de dichos fermentos. Una herramienta para calcular la relación C:N y el valor de los nutrientes de los insumos que, a su vez, permitirían estimar las propiedades finales en el biol después de la fermentación es un aspecto para abordar en próximas investigaciones (Tabla 14). Una vez estimadas las propiedades de

los insumos, el monitoreo de parámetros como el pH y la conductividad arrojará información que permitirá hacer comparaciones entre los fermentos líquidos y que podría utilizarse para informar sobre mejores prácticas. Estos pasos implican la estandarización de los cálculos para los insumos (en términos de nutrientes) y las medidas del estado de las fermentaciones a lo largo del tiempo. En última instancia, estos datos servirían para brindar información sobre el uso agronómico, como las tasas de aplicación y la adaptabilidad a los suelos y cultivos locales.

Inóculos - Un gran número de inóculos y fermentos líquidos comerciales son comercializados y vendidos. En algunos casos, estos productos se someten a cuidadosos ensayos agronómicos, como los bioinsumos comerciales producidos por PROINPA en Bolivia. No obstante, las pruebas de los beneficios de los inoculantes comerciales en las plantas suelen ser insuficientes (Owen et al. 2015). Las afirmaciones sin fundamento corren el riesgo de propagar mitos sobre los aportes de los inoculantes y pueden distorsionar sus beneficios reales. Este punto debe ser considerado en futuros estudios.

Análisis económico - Varias tesis académicas de nuestra revisión incluyeron información básica sobre el coste de los insumos de los fermentos líquidos en comparación con el de los fertilizantes comerciales, lo que sugiere un beneficio relacionado al uso de biol por los rendimientos de la producción de cultivos. A menudo no se consideran numerosos costes adicionales, como el coste y la accesibilidad de los grandes contenedores de plástico para la fermentación en las zonas rurales de los Andes. Los promotores y los agricultores en el campo también citaron rutinariamente los beneficios económicos del uso de biol como una de las motivaciones principales para la adopción de esta práctica. En general, se requiere de un análisis económico más amplio y crítico de los impactos en los ingresos de los hogares por el uso de fermentos líquidos fabricados en la finca.

Salud humana - La manipulación de estiércol y fermentos de estiércol conlleva el riesgo de contaminar el agua y los alimentos con patógenos. Debido a ello, se requiere investigar sobre los fermentos líquidos fabricados en las fincas, pero también alinear las normas y el seguimiento con la MOS y otros organismos, tanto por cuestiones de seguridad en los hogares como por la capacidad de comercializar los cultivos utilizando prácticas agroecológicas seguras. En cuanto a salud humana, también es preocupante la exposición al vapor de NH₃ y la acumulación de niveles tóxicos de Zn, Cu y Mn en los suelos, especialmente con el uso repetido del material digerido a altas tasas iniciales (Nkoa 2014).

Integración en el agroecosistema - Esta revisión sugiere que el biol funciona mejor junto con prácticas como las enmiendas de compost. Las investigaciones futuras deberían tener en cuenta cómo encaja el biol en enfoques más amplios de la gestión de agroecosistemas, el uso de recursos y los medios de vida sostenibles. Por ejemplo, el uso del estiércol es fundamental para el manejo de la fertilidad del suelo en muchas pequeñas explotaciones, y desviar el estiércol para producir biol puede no ser beneficioso para algunos productores. El biol debe desarrollarse en un contexto del mantenimiento de la agrobiodiversidad en las comunidades andinas, incluyendo el cultivo de plantas destinadas a mejorar las condiciones de crecimiento en los campos y a mantener la salud familiar (Arias Andramunio 2017).

B. Conclusiones y recomendaciones

El uso de fermentos líquidos en los cultivos de los Andes se debe principalmente al desarrollo de biodigestores domésticos y a la influencia del movimiento agroecológico que promueve prácticas innovadoras de manejo de la fertilidad de las plantas y del suelo. El efluente de los biodigestores a base

de estiércol pasa a llamarse biol cuando se aplica a los cultivos. Se han realizado numerosas investigaciones sobre el proceso de digestión anaeróbica y la aplicación del material digerido al suelo y a las plantas. Esta información es relevante para el biol fabricado en la finca, aunque las propiedades finales pueden ser distintas del biol de biogás.

Los principales productos de los fermentos líquidos a base de estiércol son los macro y micronutrientes vegetales liberados durante la fermentación. Otros productos, como los microorganismos benéficos o las hormonas vegetales, que pueden existir en el biol, son menos conocidos y más difíciles de evaluar. Esta revisión sugiere que los nutrientes liberados en los fermentos líquidos dependen de los insumos iniciales (por ejemplo, el contenido de N y P de la fuente de estiércol), pero también de completar el proceso de la fermentación y de si los nutrientes están en forma líquida o sólida después de la fermentación.

Las propiedades de los ingredientes iniciales también influyen en el proceso de fermentación, especialmente en valores como el C:N y la alcalinidad. Las temperaturas estables reducen el tamaño del material inicial, así como los ingredientes vegetales aceleran la fermentación. Los ingredientes añadidos al biol artesanal, como los productos vegetales o lácteos, pueden agregar nutrientes vegetales. También se suelen adicionar azúcares, como la melaza, que parecen estimular el crecimiento microbiano y contribuir a la acidez (descenso del pH), pero no hay pruebas de que esto facilite la liberación de nutrientes de los insumos primarios, como el estiércol.

Los inoculantes microbianos, como las levaduras o las bacterias lácticas, pueden contribuir a la fermentación de fuentes de carbono como los azúcares añadidos. No se han encontrado pruebas de que los inoculantes del suelo o de los ME provoquen el crecimiento y la abundancia de microorganismos benéficos para las plantas. Las condiciones de los fermentos líquidos favorecen a los microbios que prosperan en condiciones de alta disponibilidad de nutrientes y de energía procedente del carbono, y las investigaciones demuestran que estos microorganismos no persisten en el suelo tras la aplicación del fermento líquido.

El pH de la fermentación y del producto final tienen un fuerte efecto sobre las formas químicas de los nutrientes vegetales en el biol. A un pH más alto (es decir, neutro y alcalino), se puede perder más nitrógeno como vapor de NH_3 . Un almacenamiento más prolongado y una mayor manipulación liberan más NH_3 con el tiempo. Con un pH ácido, se retiene más nitrógeno en el biol y se mantiene más P en forma soluble.

Incluso con una fermentación óptima, muchos sólidos permanecen en los fermentos líquidos del estiércol, como finas partículas de materia orgánica y sedimentos. Estos sólidos tienen una alta concentración de nutrientes para las plantas. La materia orgánica fina no digerida, si se mezcla y suspende, contiene un alto contenido de nutrientes. Los sólidos sedimentados (biosol) tienen un alto contenido de materia orgánica y de fósforo.

La evidencia sugiere que el uso de biol es beneficioso para los cultivos, principalmente debido a los nutrientes de origen vegetal que son añadidos como fertilizante foliar, y que pueden ayudar a la recuperación de los cultivos que se encuentran bajo estrés biótico y abiótico. El uso de biol en diferentes tipos de cultivos y en suelos específicos debe ser evaluado para optimizar los beneficios que aporta en cada contexto. La aplicación de biol en el suelo puede alterar la función del ecosistema de este, incluyendo el aumento de la mineralización del N y la respiración del suelo. El monitoreo de parámetros

de la salud del suelo puede ayudar a evaluar los procesos clave de la aplicación de biol, ya sea directa o indirecta.

Existe investigación limitada sobre el uso de biol por parte de los pequeños agricultores. Los múltiples pasos para seguir, así como la complejidad de la preparación y la aplicación parecen restringir, en cierta medida, el uso de estos fermentos líquidos a quienes tienen un alto grado de formación o experiencia con el ensayo y error para maximizar los beneficios en los cultivos. Las técnicas de preparación colectivas y los procesos de formación con métodos participativos parecen ser la clave del éxito de la promoción y de la práctica sostenida. La optimización del uso del biol artesanal en los agroecosistemas puede ser distinta a la del biol generado por un biodigestor.

Los fermentos líquidos tienen el potencial de transportar patógenos humanos, como los coliformes fecales. El control de la contaminación empieza por minimizar la presencia de microorganismos nocivos en el estiércol. Existen algunas pruebas de que la fermentación, especialmente durante períodos más largos y a temperaturas más elevadas, puede reducir el número de patógenos. Esto plantea retos para la salud de los hogares, así como para la comercialización y la certificación de las cosechas.

También se necesitan varios factores adicionales para obtener los máximos beneficios del uso de biol. Estos incluyen: 1) la desmitificación de sus propiedades, potencialmente exacerbadas por la publicidad de biofertilizantes comerciales no comprobados, 2) un análisis económico o de ciclo de vida más completo del material necesario y de los beneficios agronómicos, y 3) una evaluación de los beneficios o riesgos para la salud y la nutrición de los hogares.

Tras una extensa búsqueda bibliográfica, se encontró una gran necesidad de investigación básica sobre la preparación, las propiedades y el uso de los fermentos líquidos. Aquí enumeramos varias prioridades para avanzar en la investigación y la aplicación de los biofermentos artesanales:

- ❖ Desarrollar una herramienta de uso sencillo para calcular los contenidos de nutrientes combinados del biol y su rendimiento estimado en los cultivos en los que se aplica (quizás en un formato digital sencillo). Esto ayudaría a estandarizar la preparación de fermentos líquidos con diversos ingredientes de fácil obtención en cada contexto local.
- ❖ Algunas medidas sencillas para optimizar el proceso de fermentación son: reducir la superficie (es decir, trocear) de los insumos, como las plantas, mantener la fermentación a temperaturas moderadas, sin extremos, y prolongar los tiempos de fermentación cuando la temperatura ambiente es más baja.
- ❖ El seguimiento básico del progreso de la fermentación debe incluir la medición del pH y, especialmente, de la conductividad eléctrica (CE). Estos parámetros son mucho más fáciles y baratos de medir que las concentraciones de nutrientes. No existe un pH o una CE óptimos, sino que la clave es hacer un seguimiento a lo largo del tiempo de fermentación para evaluar cuándo se estabiliza cada medida, lo que indica que la fermentación se está ralentizando. Estos parámetros pueden correlacionarse con indicadores indirectos simples, como las emisiones de gases visibles, el olor o el color, estimados en las fincas.
- ❖ Debería estudiarse el efecto de la adición de diferentes tasas de hidratos de carbono, como la melaza, sobre la liberación de nutrientes del estiércol. Esto podría incluir la medición del efecto

del biol artesanal en el crecimiento de las plantas -quizás la adición de carbohidratos sea más importante para cambiar el pH del biol u otras propiedades que para acelerar la liberación de nutrientes del estiércol, según la respuesta de los cultivos.

- ❖ Existen altos niveles de nutrientes para las plantas en los sólidos y en las pequeñas partículas suspendidas en el biol. Experimentos sencillos deben llevarse a cabo para estimar el efecto del filtrado grueso o fino del biol, o de la resuspensión de sedimentos finos para que estén presentes en el biol, seguido de una aplicación controlada a los cultivos para estimar la respuesta de los nutrientes. El biosol contiene un alto nivel de nutrientes y carbono estable y debería considerarse una enmienda del suelo, en particular para aumentar la materia orgánica del suelo y el P.
- ❖ Las recomendaciones anteriores se centran en la preparación, el procesamiento y la estandarización óptimos de los fermentos líquidos. Junto con esta optimización, es necesario realizar estudios agronómicos básicos. Estos incluyen: determinar la frecuencia y la tasa de aplicación de biol en los rasgos de las plantas para diferentes cultivos y el seguimiento de la salud del suelo (química, biológica y física) con aplicación de biol.



Referencias

- Aceves-Lara, C.-A., E. Latrille, T. Conte, and J.-P. Steyer. 2012. Online estimation of VFA, alkalinity and bicarbonate concentrations by electrical conductivity measurement during anaerobic fermentation. *Water Science and Technology* 65:1281–1289.
- Acosta, F., H. Marti, and L. Gonzales. 2013. Plan del Programa Nacional de Biodigestores en Perú. Lima: HIVOS.
- Aguirre López, E. W. 2017. Producción de biofertilizante mediante fermentación de la cuyinaza por bacterias del género *Lactobacillus* aisladas del fermento de la chicha de cebada. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Católica Sedes Sapientiae. Facultad de Ingeniería Agraria. Carrera de Ingeniería Ambiental, Lima.
- Álava Mendieta, L. D. 2015. Biol enriquecido con diferentes dosis de bacterias ácido lácticas y su influencia en la productividad de pimiento (*Capsicum annum* l) ESPAM 2012.
- Aliaga, N. n.a. Producción de biol supermagro. Centro Ecuémico de Promoción y Acción Social Norte (CEDEPAS Norte), Peru.
- Alvarez, F. 2010. Preparacion y uso del biol. Intermediate Technology Development Group-Practical Action, Peru.
- Amani, T., M. Nosrati, and T. R. Sreekrishnan. 2010. Anaerobic digestion from the viewpoint of microbiological, chemical, and operational aspects — a review. *Environmental Reviews* 18:255–278.
- Andino Villafuerte, W. A. 2011. Evaluación de tres tipos de bioles en la producción de frejol (*Phaseolus vulgaris* L. Var. Calima), en verde. Presentado como requisito parcial para obtener el titulo de ingeniero agrónomo, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales. Escuela de Ingeniería Agronómica, Riobamba - Ecuador.
- APHA. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th edition. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington, USA.
- Araque Ipiales, L. M. 2019. Evaluación del rendimiento y calidad nutricional del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), var. super chola, bajo aplicaciones de biol mejorado, comunidad San Luis de Agualongo, parroquia San Juan de Ilumán, cantón Otavalo.
- Arias Mamani, F. 2018. Evaluación de niveles de fertirrigación y dinámica de absorción de nutrientes en el cultivo de coliflor (*Brassica oleracea* L.) en invernadero en la estación experimental de Patacamaya. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo, Universidad mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. Carrera de Ingeniería Agronómica., La Paz-Bolivia.
- Arrieta Palacios, W. J. O. 2016. Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado.
- Barrientos Guillén, E. 2014. Utilización de diferentes dosis de biol en la producción de zanahoria (*Daucus carota* L.) en el distrito de Pisac-Cusco. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Carrera Profesional de Agronomía, Cusco-Peru.
- Bastidas Guanopatin, J. A. 2019. Evaluación de un proceso de fermentación con microorganismos de montaña, como postratamiento para efluente producido en un biodigestor anaerobio. B.S. thesis, Quito: UCE.
- Bello Moreira, I. P., H. É. V. Delgado, C. G. V. Baque, R. R. M. Chila, X. E. A. Muentes, and M. del C. A. Chanca. 2016. Fertilización foliar con Biol en cebolla de bulbo (*Allium cepa* l.) valorando rendimiento. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNR* 0:017–025.

- van den Berg, P. J. M. 1989. "La tierra no da así no más": los ritos agrícolas en la religión de los Aymara-cristianos de los Andes. Amsterdam: Centrum voor Studie en Documentatie van Latijns Amerika (CEDLA).
- Biobolsa. (n.d.). Manual de Biol. Sistema Biobolsa.
- Bonten, L. T. C., K. Zwart, R. P. J. J. Rietra, R. Postma, H. de, and S. L. Nysingh. 2014. Bio-slurry as fertilizer: is bio-slurry from household digesters a better fertilizer than manure? a literature review.
- Borda Mercado, M. R. 2013. Producción de quinua orgánica (*Chenopodium quinoa* willd) cv.'Pasankalla` para exportación con diferentes dosis de guano de isla combinado con biol, en valle interandino. Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Agrónoma, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Escuela Profesional y Académica de Agronomía, Arequipa-Peru.
- Botero, R., and T. R. Preston. 1987. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), Cali, Colombia.
- Bryant, D. A., and N.-U. Frigaard. 2006. Prokaryotic photosynthesis and phototrophy illuminated. *Trends in Microbiology* 14:488–496.
- Bulgari, R., G. Franzoni, and A. Ferrante. 2019. Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions. *Agronomy* 9:306.
- Cabanillas, C., M. Tablada, L. Ferreyra, A. Pérez, and G. Sucani. 2017. Sustainable management strategies focused on native bio-inputs in *Amaranthus cruentus* L. in agro-ecological farms in transition. *Journal of Cleaner Production* 142:343–350.
- Cabos Sánchez, J., C. B. Bardales Vásquez, C. A. León Torres, and L. A. Gil Ramírez. 2019. Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo. *Arnaldoa* 26:1165–1176.
- Cando, S., and L. Malca. 2017. Desarrollo de un abono orgánico líquido tipo biol usando un proceso anaerobio en bio-reactores simples. *Manglar* 13:35–40.
- Cardeña Curo, N. 2012. Efecto de tres tipos de biol y dos densidades de siembra en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. Great Lakes) en condiciones del centro agronómico K'ayra. Universidad San Antonio Abad del Cusco. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Carrera Profesional de Agronomía, Cusco-Peru.
- Carlos Inga, Y. P., and C. T. Estrada Roque. 2019. Efecto de aplicación de tres biofertilizantes orgánicos sobre el rendimiento de tres variedades de arveja (*Pisum sativum* L.) en el distrito de Yanahuanca provincia de Daniel Alcides Carrión. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela de Formación Profesional de Agronomía Yanahuanca, Yanahuanca-Peru.
- Carrasco Nina, K. E., E. Chilon Camacho, and C. Mena Herrera. 2018. Efecto de tres niveles de abono orgánico líquido aeróbico en la producción de espinaca (*Spinacea oleracea* L.) en el Centro Experimental Cota Cota. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 5:79–88.
- Chávez Soto, W. M., and D. M. Elescano Lopez. 2017. Saberes tradicionales agrícolas para la conservación del medio ambiente en la Comunidad Campesina de Pucará, Huancayo–2017.
- Chilon Camacho, E. 2011. Compostaje Altoandino, seguridad alimentaria y cambio climático. *CienciAgro Journal de Ciencia y Tecnología Agraria. CienciAgro* 2.
- Chontal, M. A. H., C. J. L. Collado, N. R. Orozco, J. V. Velasco, A. L. Gabriel, and G. L. Romero. 2019. Nutrient content of fermented fertilizers and its efficacy in combination with hydrogel in *Zea mays* L. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 8:309–315.

- Choque Estrada, R. 2017. Influencia de tres bacterias fijadoras de nitrógeno con y sin abonamiento en suelo degradados, en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en la Estación Experimental de Patacamaya. Thesis.
- Chungara Atalaya, A., G. Zeballos Flores, and J. Claros Reynaga. 2010. Procesos y difusión de experiencias: conservación de suelos y prácticas agroecológicas. Zona biocultural Subcentral Waca Playa, Tapacarí. AGRUCO. BIO ANDES.
- Coaguila, P., R. Bardales, and O. Zeballos. 2019. Digestatos procedentes de la obtención de biogás a partir de purines vacunos en la producción de cebolla en zonas áridas. *Scientia Agropecuaria* 10:119–124.
- Coelho, J. J., A. Hennessy, I. Casey, C. R. S. Bragança, T. Woodcock, and N. Kennedy. 2020. Biofertilisation with anaerobic digestates: A field study of effects on soil microbial abundance and diversity. *Applied Soil Ecology* 147:103403.
- Colque, T., D. Rodríguez, A. Mujica, A. Canahua, V. Apaza, and S. E. Jacobsen. 2005. Producción de biol abono líquido natural y ecológico. Estación Experimental Illpa-Puno. Page 12. Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria - INIA, Puno, Peru.
- Cóndor Quispe, P. 2010. Influencia de la metodología campesino a campesino, en la adopción del abono líquido o biol en comunidades del Alto Cunas, región Junín. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Condori-Guarachi, D., P. Condori-Mamani, and E. Quispe-Condori. 2018. Efecto de aplicación de abono orgánico y fertilizante líquido orina humana fermentada sobre la fertilidad del suelo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de el alto. *Journal of the Selva Andina Biosphere* 6:3–10.
- Condori-Mamani, P., M. G. Loza-Murguía, H. N. Sainz-Mendoza, J. Guzmán-Calla, F. Mamani-Pati, F. Marza-Mamani, and D. E. Gutiérrez-González. 2017. Evaluación del efecto del biol sobre catorce accesiones de papa nativa (*Solanum* spp.) en la estación experimental kallutaca. *Journal of the Selva Andina Biosphere* 5:15–28.
- Criollo, H., T. Lagos, E. Piarpuezan, and R. Pérez. 2011. The effect of three liquid bio-fertilizers in the production of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata). *Agronomía Colombiana* 29:415–421.
- Cushman, G. T. 2013. *Guano and the Opening of the Pacific World: A Global Ecological History*. Cambridge University Press.
- Cushman, G. T. 2017, September 26. Guano, Intensive Agriculture, and Environmental Change in Latin America and the Caribbean. <http://oxfordre.com/latinamericanhistory/view/10.1093/acrefore/9780199366439.001.0001/acrefore-9780199366439-e-113>.
- Cutipá Chura, Z. 2007. Efecto de excreta de lombriz y biol vs fertilizantes químicos sobre rendimiento y calidad de tubérculos de papa nativa (*Solanum tuberosum* spp andigena). Tesis para obtener el grado de Magister Scientiae, Universidad Nacional del Altiplano Puno. Escuela de Post Grado. Maestría en Agricultura Andina. Especialidad Agroecología, Puno, Peru.
- Díaz Montoya, J. A. 2017. Características fisicoquímicas y microbiológicas del proceso de elaboración de biol y su efecto en germinación de semillas. Tesis para obtener el grado de Magister Scientiae en Suelos, Universidad Nacional Agraria La Molina. Escuela de Posgrado. Maestría en Suelos, Lima, Peru.
- Díaz, N., and J. Luis. 2014. Efecto de la fertilización bioorgánica en el rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Díaz, P., C. Tello, and L. Arévalo-López. 2014. Efecto del uso de tutores y aplicación de biofertilizantes en el crecimiento y desarrollo de *Plukenetia volubilis* L. "sacha inchi." *Folia Amazónica* 23:119–130.

- Díaz Plasencia, S. L. 2017. Elaboración de abono orgánico (biol) para su utilización en la producción de alfalfa (*Medicago sativa* V. Vicus) en Cajamarca. Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el título profesional de ingeniero Ambiental y Prevención de riesgos, Universidad Privada Antonio Guillermo Urreló. Facultad de Ingeniería. Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos, Cajamarca, Peru.
- Ebel, R. 2020. Efecto de biofertilizantes foliares sobre el rendimiento de un policultivo con maíz. CIENCIA ergo-sum 27.
- Fageria, N. K., M. P. B. Filho, A. Moreira, and C. M. Guimarães. 2009. Foliar Fertilization of Crop Plants. *Journal of Plant Nutrition* 32:1044–1064.
- Feican Mejia, C. 2011. Manual de producción de abonos orgánicos. INIAP-Estación Experimental Austro, Cuenca, Ecuador.
- Flores Mamani, R. 2015. Aplicación de biol y distanciamientos entre plantas en “cebollita china” *Allium cepa* L. var. *Aggregatum* en invierno en San Román-Puno. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, Puno, Peru.
- FONCODES. 2014. Producción y uso de abonos orgánicos : biol, compost y humus. Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social - FONCODES, Peru.
- Franco, J., G. Main, O. Navia, N. Ortuño, and J. Herbas. 2011. Improving productivity of traditional Andean small farmers by bio-rational soil management: the potato case. *Revista Latinoamericana de la Papa* 16:270–290.
- Garavito, O., and L. Gomero. 2020. Relación entre la producción de biogás y biol a partir de restos de trucha y estiércol vacuno. *South Sustainability* 1:e008–e008.
- García, F. 2005. Relación entre la población microbológica y el contenido de nutrientes en un abono orgánico fermentado AOF. *Cultura Científica*:5–12.
- García Fernández, M. E. 2015. Análisis de la rentabilidad de la producción de Biol en la Planta de Digestión Anaerobia de latinoamericana de Jugos SA. B.S. thesis, Quito: USFQ, 2015.
- García, M., B. Condori, and C. D. Castillo. 2015. Agroecological and Agronomic Cultural Practices of Quinoa in South America. Pages 25–46 *Quinoa: Improvement and Sustainable Production*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Garfí, M., J. Martí-Herrero, A. Garwood, and I. Ferrer. 2016. Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60:599–614.
- Garro Alfaro, J. 2016. El suelo y los abonos orgánicos. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, San Jose, Costa Rica.
- Garwood, A. 2010. Network for biodigesters in Latin America and the Caribbean: case studies and future recommendations. Inter-American Development Bank.
- Gomero Osorio, L. 2005, June. Los biodigestores campesinos una innovación para el aprovechamiento de los recursos orgánicos. *LEISA Revista de Agroecología*:25–27.
- Gómez Huanca, A. M. 2018. Solución nutritiva de biol a base de estiércol de cuy (*Cavia porcellus* L.) ovino (*Ovis aries*) y vacuno (*Bos taurus*) en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en Puno. Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Agrónoma, Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, Puno, Peru.
- Gore, N. S., and M. N. Sreenivasa. 2011. Influence of liquid organic manures on growth, nutrient content and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in the sterilized soil. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 24.
- Groot, L. de, and A. Bogdanski. 2013. Bioslurry = brown gold? A review of scientific literature on the co-product of biogas production. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

- Gruber, E., and H. Herz. 1996. The role of small-scale biogas production in rural areas for sustainable development in Germany and Peru. *Energy for Sustainable Development* 3:58–63.
- Guato Guato, S. E. 2016. Influencia de tres abonos organicos tipo biol en la población de la pulguilla en papa (*Solanum tuberosum*) variedad Puca Shungo. Presentado como requisito parcial para obtener el título de ingeniero agrónomo, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cevallos- Ecuador.
- Guzñay D., C. 2015. Guía agroecológica para una agricultura resiliente en la parte baja de la Subcuenca del río Daule en Ecuador. *Agrónomos y Veterinarios Sin Fronteras*.
- Hagen, L. H., V. Vivekanand, R. Linjordet, P. B. Pope, V. G. H. Eijsink, and S. J. Horn. 2014. Microbial community structure and dynamics during co-digestion of whey permeate and cow manure in continuous stirred tank reactor systems. *Bioresource Technology* 171:350–359.
- Higa, T. 1989. Effective Microorganisms: A New Dimension for Nature Farming:99–104.
- Higa, T., and G. N. Wididana. 1991. The Concept and Theories of Effective Microorganisms T. Higa and G. N. Wididana University of the Ryukyus, Okinawa, Japan. Pages 118–124.
- Infante Lira, A. 2011. Manual de biopreparados para la Agricultura Ecologica. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile, Santiago, Chile.
- Insam, H., M. Gómez-Brandón, and J. Ascher. 2015. Manure-based biogas fermentation residues – Friend or foe of soil fertility? *Soil Biology and Biochemistry* 84:1–14.
- Ito, S. 2006. Caracterización y evaluación de los factores que determinan la calidad nutricional e inocuidad en la Producción de fertilizantes orgánicos fermentados.
- Jacobsen, E.-S., H. D. Bosque Sanchez, R. J. Trigo Riveros, W. Rojas, and M. Pinto Porce. 2014. Uso Competente de cultivos andinos de alto valor. Page 400. Universidad Mayor de San Andres, La Paz, Bolivia.
- Kataki, S., S. Hazarika, and D. C. Baruah. 2017. Assessment of by-products of bioenergy systems (anaerobic digestion and gasification) as potential crop nutrient. *Waste Management* 59:102–117.
- Lansing, S., R. B. Botero, and J. F. Martin. 2008. Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bioresource Technology* 99:5881–5890.
- León Becerra, E. G. 2018. Evaluación de la eficacia de bioles en un cultivo hortícola. Tesis para obtener el grado de Ingeniero en Biotecnología de Recursos Naturales, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Carrera de Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales, Cuenca, Ecuador.
- Li, X., J. Guo, R. Dong, B. K. Ahring, and W. Zhang. 2016. Properties of plant nutrient: Comparison of two nutrient recovery techniques using liquid fraction of digestate from anaerobic digester treating pig manure. *Science of The Total Environment* 544:774–781.
- Li, Y.-F. 2013. An integrated study on microbial community in anaerobic digestion systems. Ph.D., The Ohio State University, United States - Ohio.
- Lopez Segura, P. V., L. A. G. Candell, and G. G. Izaguirre. 2015. Elaboración Artesanal de un Biol y su Efecto Repelente. *Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible*. ISSN 1988:5245.
- Luje Asimbaya, J. L. 2018. Elaboración de Bioles producidos a partir de desechos del camal municipal de Cayambe (Sangre y Rumen). B.S. thesis, Quito: UCE.
- Mamani Falcon, E. 2018. Comportamiento agronomico de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) con la aplicacion de harina de rocas y compost, en la comunidad Chuca provincia Pacajes - Altiplano Central. Thesis.
- Mamani Reynoso, F., and S. Aliaga Zeballos. 2017. Efectos de aplicación con biol en la producción de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Apthapi- Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica - UMSA* 3:713–717.
- Mao, C., Y. Feng, X. Wang, and G. Ren. 2015. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45:540–555.

- Martí-Herrero, J., M. Chipana, C. Cuevas, G. Paco, V. Serrano, B. Zymła, K. Heising, J. Sologuren, and A. Gamarra. 2014. Low cost tubular digesters as appropriate technology for widespread application: Results and lessons learned from Bolivia. *Renewable Energy* 71:156–165.
- Massé, D. I., F. Croteau, and L. Masse. 2007. The fate of crop nutrients during digestion of swine manure in psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors. *Bioresource Technology* 98:2819–2823.
- Mayer, J., S. Scheid, F. Widmer, A. Fließbach, and H. R. Oberholzer. 2010. How effective are “Effective microorganisms” (EM)? Results from a field study in temperate climate. *Applied Soil Ecology* 46:230–239.
- McCord, A. I., S. A. Stefanos, V. Tumwesige, D. Lsoto, M. Kawala, J. Mutebi, I. Nansubuga, and R. A. Larson. 2019. Anaerobic digestion in Uganda: risks and opportunities for integration of waste management and agricultural systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*:1–10.
- Medina, A., L. Quipuzco, and J. Juscamaita. 2015. Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores. Pages 116–124 *Anales Científicos. Universidad Nacional Agraria La Molina*.
- Melendez, G., and E. Molina. 2002. Fertilización foliar: principios y aplicaciones. *Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, Costa Rica*.
- Miranda Ruiz, E. 2018. Efecto de tres tipos de abono orgánico líquido (biol) en la etapa de desarrollo en vivero de bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Martius) en Pucallpa Perú. *TZHOECOEN* 10:371–382.
- Möller, K. 2015. Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 35:1021–1041.
- Möller, K., and T. Müller. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences* 12:242–257.
- Moreno Ayala, L. A. 2019. Calidad de abonos orgánicos a partir del estiércol porcino y su efecto en el rendimiento del maíz chala. Tesis para obtener el grado de Magister Scientiae en Producción Animal, Universidad Nacional Agraria La Molina. Escuela de Postgrado. Maestría en Producción Animal, Lima, Perú.
- Mosquera, B. 2010. Abonos orgánicos: Protegen el suelo y garantizan alimentación sana. Manual para elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos. Abonos orgánicos Protegen el suelo y garantizan alimentación sana Manual para elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos (FONAG), Ecuador.
- Ndubuisi-Nnaji, U. U., U. A. Ofon, N. U. Asamudo, and V. M. Ekong. 2020. Enhanced Biogas and Biofertilizer Production from Anaerobic Codigestion of Harvest Residues and Goat Manure. *Journal of Scientific Research and Reports*:1–13.
- Nkoa, R. 2014. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 34:473–492.
- Oliveira, D., S. Schneider, and F. C. Marques. 2017. Contextualização e práticas criativas na agricultura ecológica de Ipê e Antônio Prado/RS: o biofertilizante Super Magro como objeto epistêmico. *Desenvolvimento e Meio Ambiente* 41.
- Orellana, T., P. Manzano, E. Chávez, O. Ruiz, R. León, A. O. Manzano, and E. Peralta. 2013. Estándares de fermentación y maduración artesanal de Bioles. *Yachana Revista Científica* 2.
- Ortega Bonilla, R. M. 2013. Evaluación del efecto de la aplicación de dos recetas de biofermentos (bioles) sobre propiedades físicas, químicas y microbiológicas de un suelo dedicado al cultivo del banano (*Musa AAA*) en el Caribe de Costa Rica.
- Ortuño, N., J. Antonio Castillo, M. Claros, O. Navia, M. Angulo, D. Barja, C. Gutierrez, and V. Angulo. 2013. Enhancing the Sustainability of Quinoa Production and Soil Resilience by Using Bioproducts Made with Native Microorganisms. *Agronomy-Basel* 3:732–746.

- Ortuño, N., J. Antonio Castillo, C. Miranda, M. Claros, and X. Soto. 2017. The use of secondary metabolites extracted from *Trichoderma* for plant growth promotion in the Andean highlands. *Renewable Agriculture and Food Systems* 32:366–375.
- Oswald, A., P. C. Velez, D. Z. Dávila, and J. A. Pineda. 2010. Evaluating soil rhizobacteria for their ability to enhance plant growth and tuber yield in potato. *Annals of Applied Biology* 157:259–271.
- Oviedo Santamaría, C. A. 2014. Guía de elaboración de productos fertilizantes a partir del reciclaje de desechos sólidos (descarne) existente en la industria tenería Victoria localizada en el parque industrial de Ambato, provincia Tungurahua. Tesis para la obtención del título de Bioquímico Farmacéutico, Universidad Regional Autónoma de los Andes. Facultad de Ciencias Médicas. Carrera de Bioquímica y Farmacia, Ambato, Ecuador.
- Owen, D., A. P. Williams, G. W. Griffith, and P. J. A. Withers. 2015. Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. *Applied Soil Ecology* 86:41–54.
- Pandey, A., and L. A. Yarzabal. 2019. Bioprospecting cold-adapted plant growth promoting microorganisms from mountain environments. *Applied Microbiology and Biotechnology* 103:643–657.
- Pardo Valenzuela, R. S., and A. Caballero Espinoza. 2018. Elementos constitutivos de las prácticas del modelo yapuchiri: estudio de caso de un yapuchiri en la comunidad de Cutusuma, provincia Los Andes del departamento de La Paz. PhD Thesis, Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Ciencias Sociales.
- Paucar Malpica, L., and M. E. Quispe Astucuri. 2015. Producción y evaluación de la calidad del biogas y biol en un biodigestor usando estiércol de codorniz de la granja V.A. Velebit S.A.C. ubicada en el distrito de Lurigancho - Chosica. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Peña Borrego, M. D., M. R. de Zayas Pérez, and R. M. Rodríguez Fernández. 2015. La producción científica sobre biofertilizantes en Cuba en el período 2008-2012: un análisis bibliométrico de las revistas cubanas. *Cultivos Tropicales* 36:44–54.
- Peñafiel R., W., and D. Ticona G. 2015. Elementos nutricionales en la producción de fertilizante biol con diferentes tipos de insumos y cantidades de contenido ruminal de bovino-Matadero Municipal de La Paz. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 2:87–90.
- Peralta-Veran, L., J. Juscamaita-Morales, and V. Meza-Contreras. 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* 15:1–10.
- Pérez, E., M. Sulbarán, M. M. Ball, and L. A. Yarzabal. 2007. Isolation and characterization of mineral phosphate-solubilizing bacteria naturally colonizing a limonitic crust in the south-eastern Venezuelan region. *Soil Biology and Biochemistry* 39:2905–2914.
- Pérez, I., M. Garfí, E. Cadena, and I. Ferrer. 2014. Technical, economic and environmental assessment of household biogas digesters for rural communities. *Renewable Energy* 62:313–318.
- Pineda, B. 2014. Hongos solubilizadores de fosfato en suelo de páramo cultivado con papa (*Solanum tuberosum*).
- Pomboza-Tamaquiza, P., O. A. León-Gordón, L. A. Villacís-Aldaz, J. Vega, and J. C. Aldáz-Jarrín. 2016. Influencia del biol en el rendimiento del cultivo de *Lactuca sativa* L variedad Iceberg. *Journal of the Selva Andina Biosphere* 4:85–92.
- Posthumus, H., C. Gardebroek, and R. Ruben. 2010. From Participation to Adoption: Comparing the Effectiveness of Soil Conservation Programs in the Peruvian Andes. *Land Economics* 86:645–667.
- Quiñones Ramirez, H., W. Trejo Cadillo, and J. Juscamaita Morales. 2016. Evaluación de la calidad de un abono líquido producido vía fermentación homoláctica de heces de alpaca. *Ecología Aplicada* 15:133.

- Ramírez Ochoa, D. E., R. Chipana Rivera, and M. A. Echenique Quezada. 2016. Aplicación de biol y riego por goteo en diferentes cultivares de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en la estación experimental Choquenaria. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 3:30–38.
- Restrepo, J. 1998. La idea y el arte de fabricar los abonos orgánicos fermentados: aportes y recomendaciones. Simas.
- Restrepo, J. 2001. Elaboración de fertilizantes orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares: experiencias con agricultores en Mesoamerica y Brasil. Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA), San Jose, Costa Rica.
- Ríos, M. I. 2009. El biol y las mujeres de Chitacaspi, una experiencia de producción alternativa. *Letras Verdes*:4–5.
- Robalino Robalino, H. S. 2011. Evaluación de la actividad biológica y nutricional del biol en diferentes formulaciones y la respuesta a su aplicación en cultivos de arroz (*Oriza sativa*) y maíz (*Zea mays*), en Guayas. Tesis para obtener el grado de Magister en Biotecnología Agrícola con mención en Agricultura Orgánica., Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil, Ecuador.
- Robles, A., E. Latrille, J. Ribes, N. Bernet, and J. P. Steyer. 2016. Electrical conductivity as a state indicator for the start-up period of anaerobic fixed-bed reactors. *Water Science and Technology* 73:2294–2300.
- Rojas Párraga, H. R. 2014. Estudio del efecto de la aplicación de microorganismos efectivos en la calidad del biol en un proceso de biodigestión anaeróbica. Tesis para obtener el título de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias, Lima, Peru.
- Rojas-Pérez, F., D. J. P. López, S. Salgado-García, J. J. Obrador-Olán, and J. Arreola-Enríquez. 2020. Elaboración y caracterización nutrimental de abonos orgánicos líquidos en condiciones tropicales. *Agro Productividad* 13.
- Rosero Chávez, Y. M. 2018. Evaluación de la incidencia y severidad de nemátodos y artrópodos plaga en el cultivo de rosas (rosa SPP.) variedad Freedom, en la finca flor de Azama, cantón Cotacachi, provincia Imbabura.
- Santana-Sagredo, F., R. J. Schulting, P. Méndez-Quiros, A. Vidal-Elgueta, M. Uribe, R. Loyola, A. Maturana-Fernández, F. P. Díaz, C. Latorre, V. B. McRostie, C. M. Santoro, V. Mandakovic, C. Harrod, and J. Lee-Thorp. 2021. ‘White gold’ guano fertilizer drove agricultural intensification in the Atacama Desert from ad 1000. *Nature Plants* 7:152–158.
- Santos, A. 2011. Determinants factors of bio-fertilizer and technical adoption to rehabilitate cocoa farms variety “national” in Guayas and El Oro provinces-Ecuador. Gent: Ghent University.
- Sarkar, S., S. S. Kundu, and D. Ghorai. 2014. Validation of ancient liquid organics - Panchagavya and Kunapajala as plant growth promoters. *Indian Journal of Traditional Knowledge* Vol.13(2):398-403.
- Singh, J. S., V. C. Pandey, and D. P. Singh. 2011. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture Ecosystems & Environment* 140:339–353.
- Siura, S., C., I. Montes, and S. Dávila. 2016. Efecto del biol y la rotación con Abono Verde (*Crotalaria juncea*) en la producción de Espinaca (*Spinacea oleracea*) bajo cultivo orgánico. *Anales Científicos* 70:1–8.
- Soria Fregoso, M. de J. S., R. F. Cerrato, J. E. Barra, G. A. González, J. T. Santos, L. B. Gómez, and G. P. Pérez. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana* 19:353–362.
- Soto, M. 2010. LA CIUDAD VISITA AL CAMPO Redefining the relationship between producers and consumers in the Ecuadorian Andes. College of Atlantic.

- Sun, L., P. B. Pope, V. G. H. Eijsink, and A. Schnürer. 2015. Characterization of microbial community structure during continuous anaerobic digestion of straw and cow manure. *Microbial Biotechnology* 8:815–827.
- Suquilanda, M. 2012. PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE CULTIVOS ANDINOS. Page 199. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Ecuador.
- Tapia Tapia, V. 2016. Manual técnico: Instalación y uso de biogas. USAID, CARE, Lima, Peru.
- Toalambo Yumbopatin, M. C. 2013. Aplicación de abonos orgánicos líquidos tipo biol al cultivo de mora (*Rubus glaucus* Benth). Trabajo de investigación estructurado de manera independiente como requisito para optar el título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ambato, Ecuador.
- Tumiri, E. T. 2019. Comportamiento productivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en dos cortes con riego por aspersión con la aplicación de Biol bovino en la Estación Experimental Choquenaira. *Apthapi* 5:1475–1495.
- Ulloa-Cuzco, J. 2015, July. Valoración de tres tipos de bioles en la producción de rábano (*Raphanus sativus*). Tesis para obtener el título de Magister en Gestión y Auditorías Ambientales, Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales, Piura, Peru.
- Urrea, J., I. Alkorta, I. Mijangos, and C. Garbisu. 2020a. Commercial and farm fermented liquid organic amendments to improve soil quality and lettuce yield. *Journal of Environmental Management* 264:110422.
- Urrea, J., I. Mijangos, L. Epelde, I. Alkorta, and C. Garbisu. 2020b. Impact of the application of commercial and farm-made fermented liquid organic amendments on corn yield and soil quality. *Applied Soil Ecology* 153:103643.
- Ushñahua, L. Q., W. B. Quispe, and O. T. Cruz. 2011. Evaluación de la calidad de biogas y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de PVC. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica* 14.
- Vázquez Gálvez, G., R. F. Magallón, and L. F. C. Torres. 2014. Evaluación de biofertilizantes líquidos en la producción de elote y grano en maíz. e-CUCBA.
- Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil* 255:571–586.
- Villacís-Aldaz, L., L. Chungata, P. Pomboza, and O. León. 2016. Compatibilidad y tiempo de sobrevivencia de cuatro microorganismos benéficos de uso agrícola en biol. *Journal of the Selva Andina Biosphere* 4:39–45.
- Warnars, L., and H. Oppenoorth. 2014. El biol: el fertilizante supremo. Estudios sobre el biol, sus usos y resultados. Page 49. Hivos people unlimited.
- WHO. 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater - Volume 4: Excreta and greywater use in agriculture. Geneva, Switzerland.
- Xiu Canche, P. A. 2018. Efectos de bioles en brócoli (*Brassica oleracea*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en la zona hortícola de Cartago, Costa Rica. Tesis para optar por el grado de Magister Scientiae en Agroforestería y Agricultura Sostenible, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Escuela de Posgrado, Turrialba, Costa Rica.
- Xu, R., K. Zhang, P. Liu, A. Khan, J. Xiong, F. Tian, and X. Li. 2018. A critical review on the interaction of substrate nutrient balance and microbial community structure and function in anaerobic co-digestion. *Bioresource Technology* 247:1119–1127.
- Yakhin, O. I., A. A. Lubyantsev, I. A. Yakhin, and P. H. Brown. 2017. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Frontiers in Plant Science* 7.
- Yarlequé, P., and V. Lucia. 2020. Aprovechamiento de residuos vitivinícolas mediante biodigestión anaerobia con estiércol vacuno para producir abono líquido en San Antonio – Cañete. Universidad Científica del Sur.

- Yarzabal, L. A., and E. J. Chica. 2017. Potential for Developing Low-Input Sustainable Agriculture in the Tropical Andes by Making Use of Native Microbial Resources. Pages 29–54 in D. P. Singh, H. B. Singh, and R. Prabha, editors. *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives: Volume 2: Microbial Interactions and Agro-Ecological Impacts*. Springer, Singapore.
- Zagoya-Martínez, J., J. Ocampo-Mendoza, I. Ocampo-Fletes, A. Macías-López, and P. D. L. R. Peñaloza. 2015. Caracterización fisicoquímica de biofermentados elaborados artesanalmente/ Physicochemical characterization of handmade bioferments. *Biotecnia* 17:14–19.
- Zhang, W., J. J. Werner, M. T. Agler, and L. T. Angenent. 2014. Substrate type drives variation in reactor microbiomes of anaerobic digesters. *Bioresource Technology* 151:397–401.