

COMPOST ALTOANDINO APROXIMACION A SU MICROBIOTA Y SUS POTENCIALIDADES PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA RESILIENCIA DE SUELOS Y PLANTAS FRENTE AL CAMBIO CLIMATICO

HIGH ANDEAN COMPOST APPROACH TO ITS MICROBIOTA AND ITS POTENTIALITIES FOR STRENGTHENING THE RESILIENCE OF SOILS AND PLANTS IN THE FACE OF CLIMATE CHANGE

Eduardo Chilon Camacho
Ingeniería Agronómica UNIBOL-ATK y UMSA-CIDES,
Bolivia
eduardochilon@gmail.com

DOI: 10.51438/etnobiolv24n1a6

Recibido: 05 diciembre 2023

Aceptado: 21 marzo 2026

Jhoselyne Chilon Molina
Universidad Franz Tamayo, Bolivia
jhosynadia@gmail.comCorreo

Resumen:

Las fuentes primigenias históricas, ponen de manifiesto la importancia que tuvo la biotecnología ancestral andina, en el alimento y cuidado del "Suelo vivo"; el compost altoandino, tiene sus raíces en el conocimiento milenario de los pueblos originarios, que intuyeron que la descomposición y la obtención de abonos orgánicos, era realizada por organismos no visibles a simple vista, que además permitían la obtención de fermentos locales, que eran aprovechados como alimentos, bebidas y posiblemente en la elaboración de abonos orgánicos. Se realizó el estudio microbiológico de compost altoandino elaborado con "chicha" de granos andinos, en muestras de compost recolectadas "in situ", lográndose una aproximación más real a su "comunidad microbiana". Como parte de su microfauna se reconoció microácaros, microtermes y microprotozoarios, algunos de ellos todavía muy poco conocidos, destacando el suborden Oribata, que junto a otros organismos participan en la regulación de las poblaciones microbiales, alimentándose de esporas, hongos, bacterias y nematodos. En su microflora se reconocieron hongos filamentosos de los géneros *Penicillium* y *Trichoderma* presentes en forma abundante, también los géneros *Rhizopus*, *Aspergillus* y *Pseudomonas* vigentes en menor proporción; respecto a las bacterias, se develaron especímenes móviles desconocidos, y sólo se reconoció los géneros *Bacillus*, *Azotobacter*, *Streptomyces*, *Arthrobacter* y *Micrococcus*, además de Cianobacterias. El conocimiento de la microbiota el compost, es importante para fortalecer la resiliencia de suelos y plantas frente a cambio climático, y la obtención de los bioinsumos innovativos AOLA, Extractos microbianos, fitohormonas y otras sustancias, potenciales para la biorremediación de suelos contaminados, la biorrecuperación de suelos muertos y la terraformación en otros planetas.

Palabras clave: Compost, compostaje altoandino, Agromicrobiología, Nanoabonos orgánicos, Conocimiento milenario Andino y Mesoamericano.

Abstract:

The earliest historical sources highlight the importance of ancestral Andean biotechnology in nourishing and caring for the "living soil." High Andean compost has its roots in the age-old knowledge of the indigenous peoples, who understood that decomposition and the production of organic fertilizers were carried out by organisms invisible to the naked eye. This process also allowed them to obtain local ferments, which they used as food, beverages, and possibly in the production of organic fertilizers. A microbiological study of high Andean compost made with "chicha" (a fermented beverage) from Andean grains was conducted on compost samples collected in situ, achieving a realistic understanding of its microbial community. Micro-mites, micro-termites, and microprotozoa were identified as part of its microfauna, some of which are still poorly understood. The suborder Oribata stands out, as it, along with other organisms, participates in the regulation of microbial populations, feeding on spores, fungi, bacteria, and nematodes. The microflora revealed abundant filamentous fungi of the genera *Penicillium* and *Trichoderma*, as well as smaller amounts of the genera *Rhizopus*, *Aspergillus*, and *Pseudomonas*. Among the bacteria, previously unknown motile species were identified, with only the genera *Bacillus*, *Azotobacter*, *Streptomyces*, *Arthrobacter*, and *Micrococcus*, in addition to cyanobacteria, being recognized. Understanding the microbiota of compost is important for strengthening the resilience of soils and plants to climate change and for obtaining innovative bio-inputs such as AOLA (Anaerobic-Liquid-Anaerobic Extracts), microbial extracts, phytohormones, and other substances with potential for bioremediation of contaminated soils, bioremediation of dead soils, and terraforming on other planets.

Keywords: Compost, high Andean composting, Agromicrobiology, Organic nano fertilizers, Ancient Andean and Mesoamerican knowledge.

INTRODUCCIÓN

El uso del compost altoandino, con buenos resultados experimentales en la agricultura campesina actual, nos plantea las siguientes preguntas ¿Qué tiene el compost altoandino que mejora la fertilidad de los suelos, y propicia mayores y mejores cosechas agrícolas? ¿Cuáles son los microorganismos que son el motor biológico del compost? ¿El compost tiene potencialidades para fortalecer la resiliencia de suelos y plantas frente al cambio climático, biorremediar suelos contaminados y biorrecuperar suelos muertos? Ensayar respuestas a estas y otras interrogantes resulta complicado en el contexto actual del cambio climático global, las pandemias, la contaminación ambiental, las guerras regionales, los intereses de la agroexportación capitalista y los procesos políticos que viven los países en vías desarrollo. Sin embargo, la Etnobiotecnología y el análisis y la confrontación epistemológica entre conocimientos diferentes, ofrecen la posibilidad de ensayar respuestas. El presente estudio bajo una concepción de integralidad se desarrolla en dos partes, la primera referida al aporte de las fuentes de investigación de documentos históricos de cronistas indígenas y europeos, y la importancia de la Etnobiotecnología andina; y en la segunda parte se presenta el estudio de caso sobre el estudio y la caracterización de la comunidad microbiana del compost altoandino, se planteó como objetivos analizar la etnobotecnología sobre abonos orgánicos y la caracterización de los microorganismos del compost altoandino y sus potencialidades como fuente de bioinsumos innovativos, para fortalecer la resiliencia de los suelos y las plantas frente al cambio climático global.

Fuentes de estudio. Fueron los documentos que dejaron los cronistas indígenas y europeos, relacionado con el abonamiento orgánico ancestral, así como otra información contemporánea; el método de investigación aplicado fue la epistemología del conocimiento ancestral andino y la Agromicrobiología sinérgica. Además, en el proceso investigativo se tomó en cuenta el método del conocimiento ancestral aymara, que se caracteriza por avanzar mirando el pasado, que por analogía implica avanzar caminando de espaldas (Álvarez, J. 2017), lo que permite una mejor aproximación, a las características de la comunidad microbiana de los abonos orgánicos innovativos.

Resultados de indagar fuentes histórico documentales. Como resultado de la mirada etnobiológica y el análisis epistemológico de los documentos que escribieron y dejaron los cronistas indígenas y europeos, y la información de científicos y pensadores contemporáneos, así como de varios estudios de investigación, se lograron importantes hallazgos sobre la biotecnología ancestral relacionadas con la comunidad microbiana del suelo y de los abonos orgánicos.

El “Suelo vivo” y la agricultura ancestral andina: El pensamiento holístico andino es, justamente, lo que hace del milagro agrícola ancestral andino algo tan posmoderno. El pensamiento holístico andino toma como referencia la naturaleza para crear sus diferentes expresiones científicas y religiosas, y todo lo creado se diversifica en el vientre cósmico que conocemos como Madre Tierra. La tierra, por lo tanto, es la que da sus frutos, la que alimenta y protege; es el “ente vivo” del cual formamos parte, es la generadora de vida y energía. Desde tiempos inmemoriales, las culturas andinas y mesoamericanas desarrollaron un conocimiento que armonizó y preservó los diferentes tipos de suelos agrícolas, al igual que a la naturaleza y al paisaje en su conjunto. La relación directa del cosmos, la energía, el ser humano, el suelo vivo y la planta, de los pueblos milenarios, y el equilibrio cósmico y energético determinan las mayores cosechas de alimentos, que a su vez dependen del vigor de las plantas, este vigor depende de la fertilidad del suelo, y la vida y la fertilidad del suelo depende que reciban “alimentos orgánicos” de calidad y en forma oportuna (Chilon, E. 2024). Nuestros pueblos originarios, si bien no contaban con instrumentos como microscopios y tecnología para el estudio microbiológico, se dieron cuenta que existían organismos muy pequeños, invisibles que fermentaban, descomponían y transformaban alimentos y abonos orgánicos, que los pueblos aprovechaban en la alimentación, la salud, los rituales y el esparcimiento. Gracias a la Etnobiotecnología, se está conociendo

los principios y alcances de la ciencia ancestral andina y mesoamericana, siendo importantes los variados abonos orgánicos, que en su momento fueron la clave en la alimentación del “Suelo vivo”, y en la producción de alimentos con soberanía para una población numerosa y dispersa. Sin embargo, gran parte de estos conocimientos ancestrales, sobre todo los relacionados con los abonos orgánicos en gran parte se han perdido como consecuencia del quebrantamiento generado por la invasión europea, prolongándose hasta nuestros días con la modernidad, siendo tarea de la Etnobiotecnología la recuperación de estos saberes.

Hallazgos de fuentes primigenias tradicionales: Las fuentes relacionadas con las técnicas de elaboración de alimentos y abonos orgánicos para el “Suelo vivo” y la Agromicrobiología ancestral, tienen como factores importantes a los restos vegetales de las cosechas, la ceniza y al estiércol de camélidos andinos, aves y otros animales.

Sobre el abonamiento orgánico de los suelos el cronista español Cieza de León (1550), pocos años después de la invasión española, describió: *“Se ve una cosa que es de notar por ser muy extraña, y es, que ni en el cielo se ve caer agua ni por él pasa río ni arroyo, y está lo más del valle lleno de sementeras de maíz y otras raíces y árboles de frutas. Es cosa notable de oír lo que en este valle (Chilca) se hace, que, para que tenga la humedad necesaria, los indios hacen unas hoyas anchas y muy ondas, en las cuales siembran y ponen lo que tenga dicho; y con el rocío y la humedad es Dios servido que se crie, pero el maíz por ninguna forma ni vía podría nacer ni fortificarse el grano, si con cada uno no hechasen una o dos cabezas de sardinas de las que toman sus redes en el mar”*. Se puede establecer que el uso de abonos orgánicos, asociada a la actividad microbiológica permitía el milagro ancestral de la producción de alimentos en zonas semi desérticas y carentes de agua.

Respecto a la Agromicrobiología ancestral el padre Bernabé Cobo (1653) menciona la maestría de los indígenas para el tratamiento de la salinidad de los suelos agrícolas, por medio de un abono vegetal, obtenido y procesado a partir del follaje podrido del árbol de guarango. Esta referencia a un abono vegetal, por su descripción es semejante a un compost, que aplicado al suelo posibilitaba mejorar la fertilidad de los campos y controlar la salinidad de los suelos.

Por su parte Garcilazo de la Vega (1609) en sus crónicas consignó... *“Estercolaban las tierras para fertilizarlas, y de notar que en todo el valle del Cuzco, y casi en toda la serranía, echaban al maíz, estiércol de gente, porque dicen que es el mejor. Procuránlo hacer con gran cuidado y diligencia, y lo tienen enjuto y hecho polvo para cuando hayan de sembrar el maíz... echan en las sementeras de las papas y las demás legumbres, estiércol del ganado (camélidos andinos); dicen que es de más provecho que otro alguno”*. La descripción de Garcilazo, verifica que los pueblos originarios, aplicaban sus conocimientos ancestrales en la obtención de abonos orgánicos (con la actividad microbial), bien preparados, descompuestos, fermentados, oreados y tamizados, y utilizados en cantidades (dosis) de acuerdo al tipo de suelo y planta. Esto hace plantear nuestra hipótesis que el estiércol en estado fresco y otras fuentes orgánicas no descompuestas, son una fuente de patógenos y enfermedades que afectan los suelos y las plantas.

Guamán Poma de Ayala (1660), cronista amerindio explica que en el tiempo en el cual las comunidades originarias del Tawantinsuyo aplicaban estiércol preparado a los suelos agrícolas, coincidía con el mes de julio del calendario de los españoles, y señala: *“En el mes de julio... este mes es tiempo de llevarse mucho estiércol a las dichas chacras y sementeras, y limpiar las acequias y pozas, lagunas de las aguas para comenzar a regarse las sementeras”*. Esta crónica da cuenta que los pueblos originarios, recolectaban gran cantidad de estiércol animal y lo preparaban con diligencia (con los microorganismos) y lo aplicaban a los suelos agrícolas, porque se tenía que alimentar de buena manera al “Suelo vivo”, para lograr cosechas de calidad y buena cantidad.

Sobre los fermentos biológicos naturales el padre Bernabé Cobo (1653) en su “Historia del nuevo mundo”, hace mención por primera vez a lo que ahora denominamos “Etnobiotecnología”, sobre la elaboración de fermentos locales o “chicha” por parte de los pueblos andinos prehispánicos, explicando que *“... Comprehendemos todas sus bebidas con el nombre de chicha, las cuales hacen comúnmente con maíz y de otras semillas y frutas, como el pulque, en la Nueva España, de maguey; en Tucumán hacen chicha de algarrobas; en Chile de fresas; en tierra firme, de pinas de la tierra. En este reino, fuera de la chicha de maíz, la hacen también*

de quinua, de ocas, de las uvillas del molle, y de otras cosas. También en otras partes usan por vino cierto licor que mana del cogollo de las palmas, después de cortadas; en otras del guarapo hecho de zumo de cañas dulces”.

Esta y otras fuentes histórico documentales de los cronistas indígenas y europeos, proporcionan información de como los pueblos originarios utilizaron procesos biotecnológicos naturales para la obtención de bebidas, alimentos, medicinas y biocidas naturales; y el uso de “chicha” que además de bebida, era añadida a las parcelas agrícolas en lugares estratégicos, como una forma de pago y respeto a la madre tierra.

Por su parte, Toledo, V.M. (2008) refiere que las sociedades indígenas albergan un repertorio de conocimiento ecológico que generalmente es local, colectivo, diacrónico y holístico. Los pueblos indígenas poseen una larga historia de práctica y uso de los recursos, generando sistemas cognitivos sobre sus propios recursos naturales circundantes que son transmitidos de generación en generación, mediante el lenguaje, de ahí que el corpus sea generalmente un conocimiento no escrito. El conocimiento indígena es holístico porque está intrínsecamente ligado a las necesidades prácticas de uso y manejo de los ecosistemas locales, y está basado en observaciones en una escala más bien restringida, proveyendo información detallada de todo el escenario geográfico donde aprovechan los recursos naturales. Como consecuencia, las mentes indígenas no solo poseen información detallada acerca de las especies de plantas, animales, hongos y algunos microorganismos; sino también reconocen tipos de suelos, aguas, minerales, nieves, topografías, vegetación y paisajes.

Sin embargo, en la actualidad muchos pueblos originarios están siendo desestructurados en sus saberes como consecuencia de la agricultura moderna basada en agroquímicos y transgénicos, la agroexportación capitalista, el cambio climático y el consumismo desenfrenado. En nuestro caso en la región de estudio, no encontramos información y prácticas sobre el uso de fermentos o chicha en la obtención de abonos orgánico, tampoco encontramos referencias directas sobre el tema en las crónicas estudiadas, resaltando con mayor claridad nuestras anteriores experimentaciones de campo (Chilon, E. 2019) sobre el efecto de fermentos de granos andinos locales, en la calidad del compost; los resultados y hallazgos encontrados, han determinado que los fermentos locales se incorporen al protocolo científico del compostaje altoandino, por ser una fuente microbiológica benéfica para los procesos de descomposición, transformación y biosíntesis.

Importancia de la Etnobiología y Revalorización de Saberes Tradicionales: Toledo, V.M. (2008), sostiene que la *Etnobiología* es una vigorosa corriente académica, un área desarrollada no sólo con avances teóricos y metodológicos sino de su evolución como ámbito académico, que cuenta con organizaciones internacionales y publicaciones de circulación mundial. El universo biológico (plantas, animales y hongos, y añadimos “suelo vivo”) es el componente del escenario productivo mejor conocido por la sabiduría tradicional de los pueblos originarios, que es la base de la corriente etnobiológica. Respecto a la Etnoedafología, señala que los criterios de clasificación tradicional de los suelos pueden ser ecológica, morfológica, productiva y simbólica, y los puntos comunes de las estrategias indígenas para el manejo de la tierra, son la protección del suelo contra la erosión, control de la salinización, mantenimiento de la humedad y el uso de la escorrentía de flujos intermitentes, y varían de acuerdo con las condiciones de cada zona ecológica.

Por su parte, Bennett, *et al* (2015) sobre las consecuencias del cambio ambiental antropogénico, indica la necesidad fundamental de mejorar el bienestar de las personas en todo el mundo y el deseo de conservar la biodiversidad a escala planetaria requieren en conjunto una atención más centrada en cómo se pueden gestionar los ecosistemas para producir de forma sostenible, eficiente y equitativa servicios ecosistémicos que benefician a la sociedad (añadimos el estudio y recuperación del conocimiento ancestral y la Etnobiotecnología al contexto actual).

Mariel, *et al.* (2022) da a conocer que los agricultores de Betsimisaraka (Madagascar) se enfrentan a la degradación de los suelos, y a la afectación de su fertilidad provocada por la deforestación, con la implementación de una agroforestería diversificada, aprovechando las interacciones entre las plantas y el suelo, y el conocimiento tradicional sobre las plantas que mejoran las propiedades del suelo y el desarrollo, y la adaptación de nuevas prácticas, sumiendo el reto de abandonar la agricultura migratoria, en las regiones tropicales.

Por su parte Chilon, E. (2022) señala que Latinoamérica, por el quebrantamiento que provocó la invasión europea, ha perdido gran parte de sus saberes ancestrales, y en la actualidad lo que queda son rasgos orales e históricos y restos de reliquias arqueológicas, aunque, todavía algo de ese valioso conocimiento subyace en algunas comunidades indígenas. El reto y tarea de recuperación del etnoconocimiento es estratégico, porque está vinculado al patrimonio biocultural, la gestión racional de la naturaleza y la identidad cultural, frente al contexto dramático actual de cambio climático, guerras regionales y sistemas productivos contaminadores, que están poniendo en peligro la vida humana.

Estudio de caso: Aproximación a la microbiota del Compost altoandino y sus potencialidades para el fortalecimiento de la resiliencia de suelos y plantas frente al cambio climático. Se realizó tomando como base los principios de la Etnobiotecnología y la Agromicrobiología Sinérgica, y se planteó como objetivos el estudio y caracterización de los microorganismos del compost y sus potencialidades como fuente de bioinsumos innovativos.

Antecedentes del compost altoandino: El abono orgánico compost andino, tiene sus raíces en la información que subyace en las crónicas históricas de indígenas y europeos, sobre el conocimiento milenario andino y mesoamericano del alimento del “Suelo vivo”; sin embargo en la actualidad producto de la globalización y del cambio climático, las nuevas generaciones de los pueblos originarios están dejando de lado los conocimientos ancestrales, dando paso a la modernidad y un modelo de desarrollo capitalista hegemónico, y solo los ancianos guardan rasgos orales sobre la biotecnología ancestral y los abonos orgánicos. Frente a esta situación, con la finalidad de recuperar los conocimientos ancestrales, se llevó a cabo una fase más de la investigación experimental del “Compost Altoandino”, que lleva más de dos décadas de trabajo continuo. El compostaje no es una técnica nueva de elaboración de abonos orgánicos, sino que se practica desde hace cientos de años en diversos lugares del mundo, pero en el caso de la zona altoandina de Bolivia, se presentan cuestiones que no están definitivamente resueltas y que tiene que ver con sus procesos microbiológicos de transformación, con su calidad biológica y el período de tiempo de elaboración. La Etnobiotecnología es una de las disciplinas científicas que está ayudando a encontrar respuestas sobre las interrogantes de la vigencia de los saberes ancestrales.

Una de las primeras experiencias de compostaje en el altiplano boliviano, se realizó el año 1997 en el altiplano norte, en comunidades aymaras originarias del municipio de Tiahuanaco, ensayando el método clásico Indore, requiriéndose más de 11 meses para obtener el compost. Este compost resultante, se probó con buenos resultados en la agricultura; sin embargo, las familias campesinas por factores de optimización de su tiempo y la economía familiar, solicitaron se disminuyera el tiempo de compostación, sin afectar su calidad final.

En el período 1998-1999, se estudió y comparó diversas fuentes de investigación, además de los aportes de los métodos convencionales, y se comenzó a tomar en cuenta la tradición milenaria de los pueblos altoandinos de América del Sur, sobre otras formas de compostaje.

Durante los años 2000-2004, se continuó la investigación para acelerar el proceso de compostación, observándose que los activadores convencionales de yogurt, suero de leche y levadura, presentaban efectos en la activación biológica del compost, disminuyendo el tiempo de compostación de 11 a 6 meses.

En el periodo 2005-2007, se estandarizó el método de “compostaje altoandino”, introduciendo el uso de activadores biológicos locales o “chicha”, al proceso de elaboración de compost a campo abierto, lográndose obtener a una altitud de 3,850 msnm un compost de buena calidad, utilizando fermentos locales de granos andinos, disminuyendo el tiempo de compostación de 6 a 2.5 meses.

En los años 2008-2014, bajo condiciones controladas a campo abierto y con participación de universitarios en Agronomía de la UMSA y la UAC-Tiahuanaco, se realizaron estudios sobre los efectos e influencia de activadores biológicos locales, de los restos vegetales, tipos de estiércol, y los períodos de volteo y aireación.

En el periodo 2015-2017, se continuó con la investigación de la metodología del compostaje altoandino, en comunidades rurales de las ecoregiones de altiplano, valles y yungas de Bolivia, también se realizaron

investigaciones rigurosas en el Centro de Experimentación de la UNIBOL-ATK, dando inicio al estudio de las potencialidades del compost altoandino, para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, y se verificó su importancia como fuente de bioinsumos innovadores, inventando del abono orgánico líquido aeróbico-AOLA. (Chilon, E. y Chilon, J. 2015b).

En el periodo 2018-2021, aplicando principios de la Etnobiotecnología, se realizaron investigaciones sobre el uso y efecto de los fermentos locales o “chicha” en las propiedades biológicas y químicas del compost, y en su calidad y efectividad de uso en la producción agrícola, lográndose hallazgos importantes que fundamentaron la teoría del nuevo paradigma científico “Suelo vivo”. (Chilon, E. 2018a).

Finalmente, en el periodo 2022-2025 luego de más dos décadas de estudio, se ha transformado el estudio del compost altoandino y sus derivados en una ciencia rigurosamente experimental; sentándose las bases para las etapas más delicadas de la investigación, sobre la identificación y roles de su comunidad microbiana, la obtención de extractos microbianos, fitohormonas y otros metabolitos, el análisis genómico, la biorremediación de suelos contaminados, la biorrecuperación de suelos muertos, y la terraformación en otros planetas.

Microorganismos del suelo y Compost: el estudio de los microorganismos del suelo y compost se realiza con la nueva Agromicrobiología sinérgica; los organismos del suelo, y por extensión del compost altoandino, tienen por función descomponer la materia orgánica, sintetizar compuestos y liberan nutrientes que fluyen hacia las plantas. Luxton y Petersen (1982) mencionan que hay aproximadamente 25 taxas mayores en el suelo, que intervienen en todos los procesos biológicos; por su tamaño se distingue la Microfauna (< 100 μm), Mesofauna (1 a 2 mm), y Macrofauna (< 10 a 20 mm). Rodríguez-Zaragoza, S. (2007), señala que los hongos y las bacterias, llevan a cabo la descomposición de los residuos orgánicos y los transforman en biomasa microbiana que favorecen la nutrición de las plantas, y son el alimento de protozoarios y micro invertebrados.

Hongos: son organismos que reproducen sexualmente formando esporas especializadas, pero también pueden reproducirse asexualmente por fragmentación del talo, fisión, gemación y formación mitótica de esporas (Varela, L. y Amora, E. 2007). Por su forma de vida pueden ser saprófitos, parásitos y mutualistas y su diversidad taxonómica en el suelo es muy amplia, perteneciendo a dos reinos, *Reino Stramenopila* con el *Phylum Oomycota*, y la mayoría de los Oomicetos son parásitos facultativos y altamente especializados de plantas vasculares.

Bacterias: se agrupan en tres categorías: bacterias aerobias que requieren O_2 , bacterias anaerobias que se desarrollan en ausencia del O_2 , y bacterias anaerobio facultativas que se desarrollan en ausencia o presencia de O_2 , algunas bacterias termófilas obligadas son incapaces de crecer por debajo de los 40°C (Alexander, M. 1994). En el caso del compost altoandino la mayoría de bacterias, son termófilas, ubicuas y crecen fácilmente a temperaturas de 40° a 65°C . Sobre la taxonomía de bacterias, se presenta géneros que tienen un interés mayor, tales como *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Metallogenium*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*, *Sarcina*, *Staphylococcus*, *Streptococcus* y *Xanthomonas*.

Microartrópodos y Microácaros: de acuerdo con su tipo de alimentación, se presentan tres grupos; un primer grupo se alimenta de distintos materiales vegetales frescos o en descomposición, excretas de otros organismos hongos, esporas; un segundo grupo, los saprofitos se alimenta de material vegetal en descomposición; y el tercer grupo constituido por especies coprófagas (Wallwork, 1958). Por su parte Luxton (1972) señala que los Cryptostigmata u Oribatida corresponden a tres categorías alimentarias: macrofitófagos (viven de hojarasca de plantas superiores), microfitófagos y panfitófagos, los zoófagos (colémbolos muertos, otros ácaros), los coprófagos, además de algunos ácaros pueden alimentarse de nematodos. Bachelier, 1978 (citado por Estrada-Benítez E. 2007), dice que hay Microtermes subterráneos, que se dividen en tres subgrupos, los que se alimentan de madera, los que crían hongos y lo utilizan en su alimentación, y los termes que se alimentan de humus y que ingieren partículas de suelo junto con la materia vegetal.

Microprotozoarios: Rodríguez-Zaragoza, S. (2007), señala que se dividen en ciliados, flagelados (tamaño mayor a 15 μm), nanoflagelados (2 a 3 μm), amebas de vida libre (5 μm *Rosculus*, *Guttulinopsis* y *Echinamoeba*) y amebas testadas. Existe un grupo de eucariotes microbianos que unen el flujo de energía de los microorganismos (bacterias, actinomicetos, algas y hongos) hacia los microinvertebrados (nematodos, ácaros, termitas, etc.), y permiten reciclar, descomponer y transformar compuestos orgánicos y nutrientes del suelo. Pero muchos microprotozoarios del suelo y compost todavía no han sido identificados.

MATERIALES Y MÉTODOS (Ejemplo de subtítulo nivel 1)

Localización del área experimental. La investigación se realizó en el Campus Experimental de Compostaje Altoandino y Laboratorio de Biofertilidad de Suelos, de la Carrera de Agronomía UNIBOL Aymara Tupak Katari, ubicada en la Comunidad Originaria Cuyahuani, Municipio Huarina, Provincia Omasuyos, Departamento de La Paz-Bolivia; situada a 120 km de la sede de gobierno la ciudad de La Paz, a una altitud de 3848 metros snm, y en las coordenadas 16°13'10,95" LS y 68°34'50,64" LO. La investigación se inició el año 2019, se interrumpió en 2020 por la pandemia y se retomó en los años 2021 a 2025.



FIGURA 1
Ubicación de la zona experimental. Comunidad Cuyahuani. Provincia Omasuyos, La Paz-Bolivia
(Fuente: www.Educa.com.bol)

La investigación se realizó con el Método Sinérgico de los saberes locales/saberes científicos (Chilon, E. 2018a), y con el método comparativo, que integra los paradigmas cualitativos de carácter explicativo, y el cuantitativo con los fenómenos observables, susceptibles de medición, análisis, con la selección de tipos de compost y su proyección como fuente de nuevos bioinsumos innovativos. En su fase inicial la investigación se realizó a campo abierto, en condiciones cercanas al medio natural en que se desarrollan los microorganismos, las muestras de estudio se recolectaron “in situ” y se estudiaron en el día, evitándose la pérdida de la valiosa información de las poblaciones microbianas del compost altoandino, que ocurre con los métodos convencionales de cultivo y recuento en placas.

El procedimiento Metodológico abarca: (i) La elaboración y selección de tipos de Compost Altoandino, aplicando el protocolo de compostaje altoandino (Chilon, E. 2010, 2013, 2018b), caracterizado por el uso estricto de materiales orgánicos y bioactivador “chicha” de origen ancestral. El diseño estadístico fue bloques completos al azar con 6 tratamientos y 4 repeticiones. Los tratamientos fueron: T1 C-Qa, compost elaborado con chicha de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*); T2 C-Cb, compost con chicha de cebada (*Hordeum vulgare*); T3 C-Tw, compost con chicha de tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*); T4 C-Pp compost con chicha de papa amarga deshidratada (*Solanum juzepczukii*); T5 C-Ma compost con chicha de maíz (*Zea mays*); T6 testigo compost sin bioactivador. (ii) Sustratos experimentales para la recolección “in situ” de microorganismos del compost, ensayándose los tres sustratos siguientes, Sustrato S1 A-Miab de material carbonáceo arroz cocido más miel de abeja, Sustrato S2 A-Mica de arroz cocido más miel de caña; Sustrato S3 A-Amo de arroz cocido más azúcar morena, Sustrato S4 A-Testigo sólo arroz cocido. Los sustratos acondicionados en vasos recolectores y protegidos con una malla fina, fueron colocados dentro de las pilas de compost, y retirados después de 15 días, de inmediato fueron llevados al laboratorio para las evaluaciones correspondientes. (iv) Reconocimiento y caracterización de Colonias de microorganismos, evaluando el porcentaje de desarrollo superficial y otros indicadores como el color natural de colonias que reflejan su capacidad para sintetizar pigmentos naturales. (v) Reconocimiento óptico de la microfauna y microflora del compost, con la microscopía de muestras frescas de colonias recolectadas “in situ”. Se conoce que por su diversidad los microorganismos del compost especialmente las bacterias, solo un 10% pueden ser cultivadas “in vitro”, el resto se pierde (Abecasi, 2015). El reconocimiento se realizó utilizando un álbum propio de fotos, y catálogos de clasificación de uso libre.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de fermentos locales sobre la Calidad del Compost Altoandino.

Los cinco tratamientos de compost tratados con fermentos locales o “chicha” y el testigo, no presentaron diferencias estadísticas para las variables de estudio, sin embargo los tratamientos con “chicha” mostraron notorias diferencias cualitativas en los indicadores de calidad, sobre todo en sus características organolépticas, olor, textura, grado de homogeneidad y color superando al testigo; también se observaron diferencias notorias entre las colonias de microorganismos recolectados “in situ”, y la evaluación cromatográfica adaptada de Pfeiffer (1956). En base a los criterios de la calidad del compost altoandino, se estableció el siguiente orden de calidad: 1º Lugar: Compost elaborado con chicha de quinua (*Chenopodium quinoa L.*), 2º Lugar: Compost con chicha de tarwi (*Lupinus mutabilis L.*), 3º Lugar: Compost con chicha de cebada (*Hordeum vulgare*), 4º Lugar: Compost con chicha de maíz (*Zea mays*), 5º Lugar: Compost elaborado con chicha de papa amarga deshidratada (*Solanum juzepczukii*), 6º Lugar: Compost testigo, calificado como de calidad deficiente. El efecto benéfico del fermento “chicha”, sobre la calidad del compost altoandino, se debe a la intensificación de la actividad de sus microorganismos; también la “chicha”, incentiva la migración de los organismos del suelo hacia la pila de compost, planteándose la hipótesis que los microorganismos nativos del suelo, junto a los

microorganismos de la “chicha” y de los materiales orgánicos iniciales, son los principales responsables de la transformación y biosíntesis; la presente investigación verificó que el contacto directo de la pila de compost con el suelo es una condición *sine qua non* para obtener un compost de excelente calidad.



FIGURA 2

Compost Altoandino, elaboración e intercambio de saberes. A) Compost elaborado con “chicha”, restos vegetales y estiércol de ganado local; B) Autoridades de los pueblos originarios, intercambian saberes con estudiantes y docentes de la UNIBOL-ATK.

Eficacia de los sustratos de recolección “in situ” de Colonias microbiales. El Sustrato S1A-Miab (arroz + miel de abeja), fue el más eficaz en la recolección “in situ” de colonias de microorganismos, sobre todo de hongos filamentosos de los géneros *Penicillium*, *Trichoderma*, *Rizopus* y también colonias de bacterias de los géneros *Bacillus*, *Azotobacter* y *Actinomycetos*; en segundo lugar el Sustrato S2A-Mica (arroz + melaza de miel de caña) fue más efectivo en la recolección de hongos filamentosos de los géneros *Trichoderma* y *Penicillium*, y en menor grado de bacterias, el tratamiento testigo presentó características favorables para la recolección de bacterias filamentosas de *actinomycetos*; estos dos tratamientos y el testigo superaron al sustrato con azúcar morena, que fue descartado para trabajos futuros. Con estos hallazgos se seleccionó al sustrato S1SA-Miab, como fuente de inóculo para la multiplicación de los microorganismos benéficos, y como base para la obtención de Extractos microbianos, hormonas y otras biosustancias.



FIGURA 3

Investigación de campo en Compost Altoandino. A) Estudio de microorganismos del compost, en el gran laboratorio de la naturaleza y a campo abierto; B) Investigadores recolectan “in situ” los microorganismos del compost altoandino.

Caracterización general de colonias microbianas recolectadas con sustrato S1SA-Miab. En la tabla 1, se presenta la descripción y características generales por tipo de compost de las colonias de microorganismos recolectadas “in situ” con el Sustrato S1A-Miab (arroz+ miel de abeja), evidenciando que el color natural de las colonias son el reflejo de la capacidad genética de los microorganismos para sintetizar distintas clases de pigmentos; Schlegel, H. (1997) hace mención a los carotenoides, pirroles, azaquinonas, antocianinas otras sustancias que biosintetizan los microorganismos. En nuestro caso, con los resultados obtenidos se verificó que los colores claros y blancos de las colonias del compost altoandino son señales de la presencia de microorganismos benéficos y reflejan un compost maduro, pero los colores oscuros, negros y rojizos de las colonias se relacionan con los microorganismos dañinos y corresponden a un compost inmaduro o contaminado. Sobre las formas externas de las colonias varían entre alargadas y puntiformes, por sus bordes las colonias son desde convexo filamentosos, a convexo ondulado y filamentosos con puntos negros.

TABLA 1
Caracterización General de Colonias y Aproximación a los
Géneros de Microorganismos por tipo de Compost altoandino.

TRATAMIENTOS	EVALUACION CUALITATIVA DE COLONIAS MICROBIANAS RECOLECTADAS “IN SITU” CON SUSTRATO S1A-Miab*				
	Color	Eficacia % Cobertura	Formas externas	Relieve y Borde	Género Microorganismo
MUESTRA A Compost con bioactivador “chicha” quinua (<i>Chenopodium quinoa L</i>)	Verde turqués	60	Alargada	Convexo Filamentoso	<i>Trichoderma</i>
	Verde claro	37	Alargada	Convexo Filamentoso	<i>Penicillium</i>
	Blanco	3	Puntiforme	Convexo ondulado	<i>Bacillus</i>
MUESTRA B Compost con bioactivador “chicha” de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>)	Verde turqués	68	Alargada	Convexo Filamentoso	<i>Trichoderma</i>
	Verde claro	29	Alargada	Convexo Filamentoso	<i>Penicillium</i>
	Blanco	3	Puntiforme	Convexo ondulado	<i>Bacillus</i>
MUESTRA C Compost con bioactivador local “chicha” de cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	Verde turqués	59	Alargada	Convexo Filamentoso	<i>Trichoderma</i>
	Verde claro	28	Alargada	Convexo Filamentoso	<i>Penicillium</i>
	Blanco	11	Puntiforme	Convexo ondulado	<i>Bacillus</i>
	Oscuro negro	2	Alargada	Convexo Filamentoso	<i>Rhizoctonia</i>

* Sustrato de arroz cocido+ miel de abeja

Fuente: Elaboración propia en base a datos de campo y laboratorio (Cuyahuni, 2021)

Tipos de compost y eficacia de Cobertura de colores en sus colonias microbianas. En la figura 4, se detalla la eficacia sobre el porcentaje de cobertura de colores naturales en las colonias microbianas por tipos de compost, verificando que el tipo de Compost A, elaborado con “chicha” de quinua (*Chenopodium quinoa L.*), presentó una colonia de hongos filamentosos color verde turquesa con 60% de cobertura, que está relacionada con el género *Trichoderma*; luego una colonia de color verde claro con 37% cobertura, que corresponde al género *Penicillium*; finalmente una colonia de color blanco con 3% cobertura correspondiente a bacterias del género *Bacillus*. El Compost B, con “chicha” de tarwi (*Lupinus mutabilis*), presentó una colonia de hongos filamentosos color verde turquesa con 68% de cobertura correspondiendo al género *Trichoderma*; luego una colonia verde claro con cobertura de 29% relacionada con el género *Penicillium*; seguido de una colonia de bacterias color blanco con sólo 3% de cobertura, correspondiente al género *Bacillus*. Coincidiendo con estos resultados, se encontró que en compost elaborado con chicha de tarwi (*Lupinus mutabilis*), el sustrato arroz

+ miel de abeja fue más efectivo, con 85% de cobertura, correspondiente a *Trichoderma* y 15% de cobertura de *Bacillus sp.* (Segales, G. 2020). El Compost C, con “chicha” de cebada (*Hordeum vulgare*), presentó una colonia de hongos filamentosos color verde turquesa correspondiente al género *Trichoderma* con 59% de cobertura, luego colonia color verde claro relacionado con el género *Penicillium* con 28% de cobertura; una colonia de bacterias color blanco con 11% de cobertura correspondiente al género *Bacillus*; y una colonia color oscuro a negro con 2% de cobertura, correspondiente a hongos filamentosos del género *Rhizoctonia*. El Compost D, con “chicha” de papa amarga (*Solanum juzepczukii*) deshidratada, presentó una colonia de hongos filamentosos color verde turquesa con 52% cobertura correspondiente al género *Trichoderma*; luego una colonia color verde claro con 21% cobertura, relacionada con el género *Penicillium*; con 18% de cobertura una colonia de bacterias color blanco relacionada con el género *Bacillus*; luego una colonia de hongos filamentosos color rojo oscuro con 8% cobertura relacionada con el género *Fusarium*; y una colonia color negro con sólo 2% cobertura relacionada con el género *Rhizoctonia*. El Compost E, elaborado con “chicha” de maíz (*Zea mays*), presentó una colonia de bacterias color blanco con 41% cobertura, correspondiente al género *Bacillus* (*Bacillus subtilis*); luego un color crema a blanco cremoso con 26% cobertura relacionado con el género *Azotobacter*; seguido de un color blanco puro con filamentos con 12% cobertura correspondiente a Actinomicetos (*Streptomyces*); además un color verde turquesa con 11% cobertura correspondiente al género *Trichoderma*, y un 10% de color blanco tipo algodón y filamentos con puntuaciones negras, relacionados con el género *Rhizopus*.

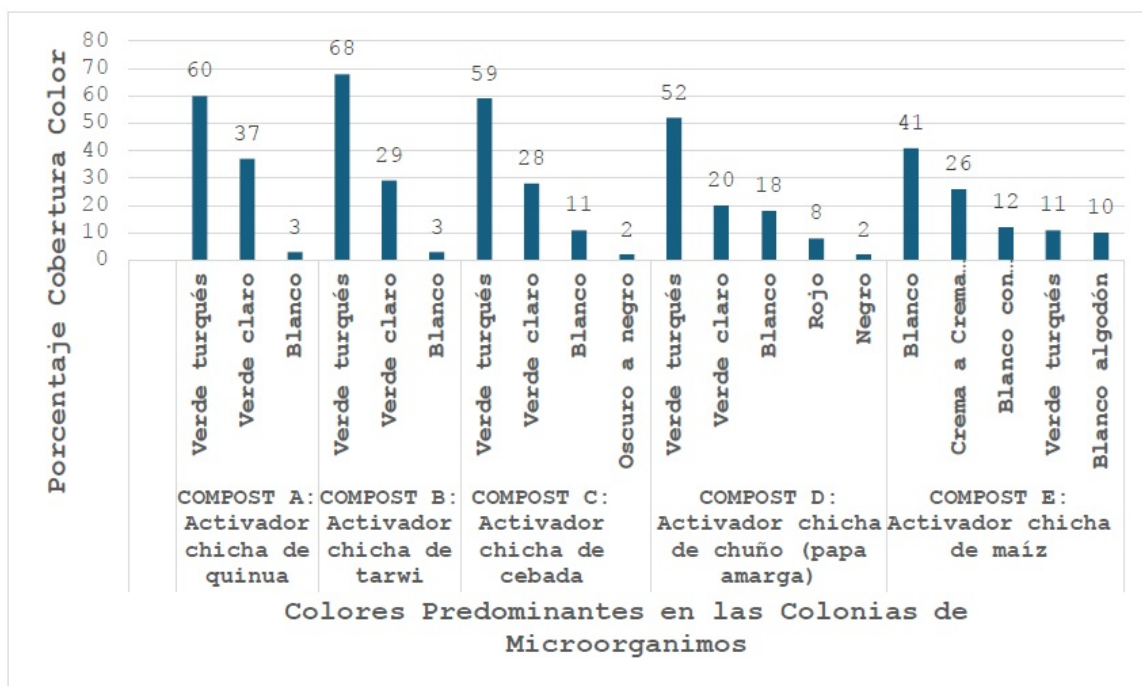


FIGURA 4
Tipos de compost y cobertura de colores naturales en sus Colonias Microbiales

Reconocimiento de Microorganismos de Compost Altoandino con microscopía óptica.

El reconocimiento de los microorganismos se realizó con microscopía óptica, en muestras frescas de colonias recolectadas “in situ” en su estado más cercano al natural, esto con la finalidad de no perder información por la alteración que provocan los métodos convencionales de aislamiento y cultivo en placas “in vitro”. Con fines de sistematización, los microorganismos reconocidos se ordenaron en los grupos de microfauna y microflora.



FIGURA 5

Recolección “in situ” de microorganismos de Compost. A) Vasos recolectores con diversas colonias de microorganismos; B) Realización de microscopía óptica en muestras frescas de compost, y caracterización de microorganismos y sus géneros.

Descripción de la microfauna del Compost Altoandino.

La investigación se centró en el estudio de la microfauna del compost altoandino, evidenciando que estos organismos participan activamente en los procesos de transformación de materiales orgánicos, actuando en sociedad y en interrelación con otros organismos; observando la presencia de microácaros, microtermes y microprotozoarios desconocidos.

Microácaros: En las muestras frescas y naturales de compost altoandino recolectados “in situ”, se descubrieron especímenes de microácaros todavía desconocidos, procediéndose a su registro de control. Con los clasificadores disponibles y con una paciente observación se estableció que uno de los microácaros presentes en el compost altoandino, pertenece al orden Acaridae, Suborden Oribata (figura 6) y por ser una especie desconocida se lo nombró preliminarmente como microácaro del compost altoandino (MiaCa1). Con microscopía 100x se examinó las características morfológicas de este organismo, observándose en su tracto digestivo un alto número de esporas y la evacuación de sustancias tipo excretas al medio que lo rodea (figuras 8 y 9); se estableció que estos microácaros, participan activamente en la regulación de la población de microorganismos, alimentándose de esporas de hongos y bacterias, principalmente de *Penicillium sp* y *Trichoderma sp* que son abundantes en el compost altoandino. Al respecto Behan-Pelletier y Hill (1983) encontraron esporas de hongos en los intestinos de varios ácaros del suelo; también Mitchell (1976) en un suelo de bosque de Canadá encontró que el ácaro *Ceratozetes kananaskis* se alimenta más de los hongos y esporas de *Penicillium sp* y de *Trichoderma sp*. En la presente investigación también se observó numerosos restos de nematodos, lo que indica que los microartrópodos y otros organismos se alimentan de estos organismos, manteniendo su población bajo control. Se evidenció que los microartrópodos, participan en las distintas fases de la compostación, desmenuzan los residuos orgánicos en partículas muy pequeñas, fabrican micro túneles que permiten la penetración de otros microorganismos a las capas internas del compost, también dispersan y transportan de otros microorganismos en toda la masa del compost, sobre todo en las etapas intermedia y final de la compostación, y su desarrollo es influenciado positivamente por un buen manejo de la aireación y la humedad. Shaw *et al.* (1991) señala que los microartrópodos estimulan el crecimiento de microorganismos mediante el forrajeo.

Sobre la base de estos hallazgos, planteamos la hipótesis que los microácaros y otros organismos del compost altoandino, biosintetizan y excretan nuevas sustancias orgánicas en forma de cúmulos de nutrientes, hormonas, vitaminas, enzimas y antibióticos, que son aprovechadas por los microorganismos benéficos del suelo, y estas sustancias biosintetizadas incentivan el efecto rizosfera en las plantas, y controlan y aniquilan

a los microorganismos dañinos. Nuestro trabajo experimental, demuestra que muchas biosustancias están presentes en el compost altoandino y en el abono orgánico líquido aeróbico (AOLA).

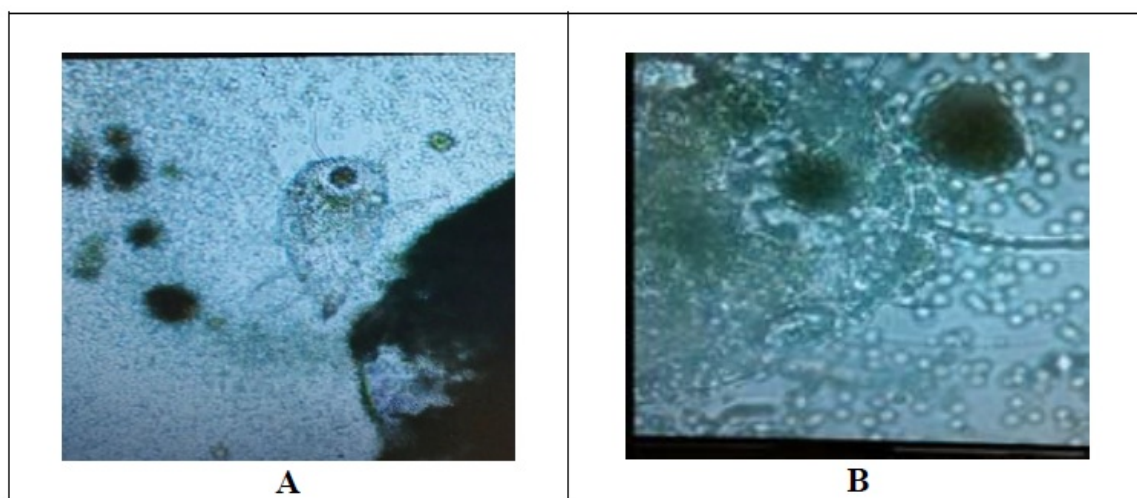


FIGURA 6

Microácaros del Compost Altoandino. A) Vista microscópica (40x) de Microácaro activo, presente en el compost; B) Imagen microscópica (100x) de cuerpo de microácaro, expeliendo excretas y otras sustancias orgánicas en el compost.

Microtermes: El hallazgo de microtermes desconocidos recolectados “in situ” del compost altoandino, ha sido posible con la microscopía óptica (figura 7); estos microtermes (< 100 μm) pertenecerían al orden Isóptera y posiblemente a la familia *Termitidae*, por ser todavía especies desconocidas se los denomina *microtermes del compost altoandino* (MiterCa), y se requiere un estudio más profundo para su descripción e identificación. Los microtermes cumplen importantes funciones durante el proceso de compostación, removiendo y fabricando galerías y microporos que facilitan la aireación y movimiento del agua, trasladan partículas y microorganismos a los diferentes estratos y capas de la pila del compost, consumen la materia orgánica ingiriendo y degradando la celulosa y hemicelulosa, también descompone las macromoléculas orgánicas del estiércol y excretan materia orgánica descompuesta, y se asocia con otros microorganismos como las bacterias y hongos para la digestión de compuestos orgánicos complejos. Nuestros hallazgos rebaten la posición habitual que considera a los termes sólo como parte de la macrofauna por su tamaño (<10 a 20 mm); ante la ausencia de estudios sobre el tema, es necesario mayores investigaciones sobre rol de los microtermes en la compostación, más aún si para el caso de los suelos se ha encontrado que los termes son capaces de degradar la celulosa de los restos vegetales con la ayuda de protozoarios, bacterias y levaduras que viven dentro de su tracto intestinal (Estrada-Benítez, 2007), y que hay un grupo de termes humíferos asociados con bacterias que se alimentan de humus y que ingieren partículas de suelo junto con la materia vegetal (Bachelier 1978, citado por Estrada-Benítez, 2007). En imagen de la figura 7 se observa un organismo semejante a un microcolémbolo presente en el compost altoandino.

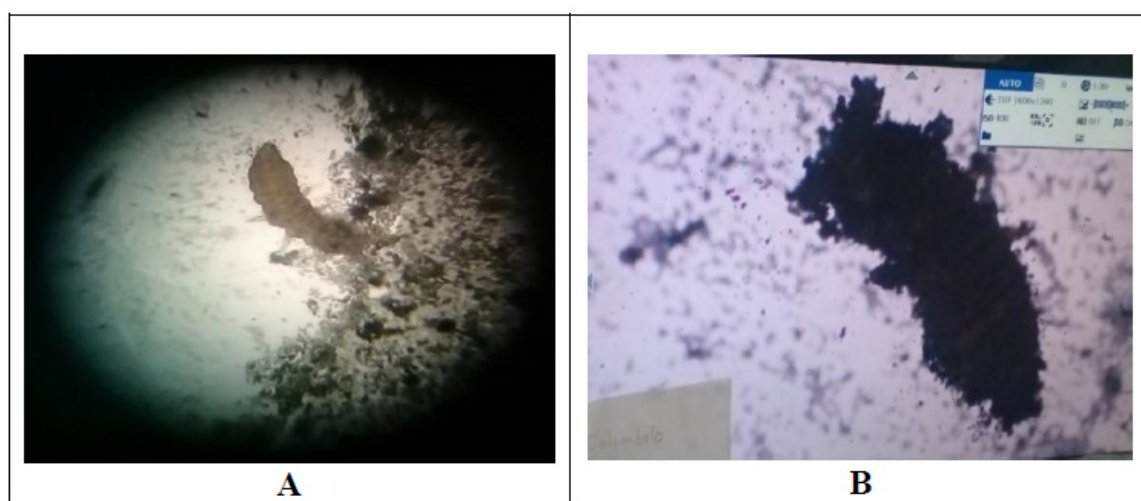


FIGURA 7

Microtermita y microcolémbolo de compost altoandino. A) Imagen microscópica (40x) de microtermita en actividad biológica dentro del compost; B) Vista microscópica (40x) de microcolémbolo, participante activo en la compostación

Microprotozoarios: Se constató la presencia en el compost altoandino, de micro protozoarios pertenecientes al Phylum Protozoa, caracterizados por su tamaño muy pequeño de sólo algunos micrómetros, diferenciándose de sus parientes acuáticos que son de mayor tamaño; sin embargo, su presencia es mayor en el abono orgánico líquido aeróbico (AOLA). La presente investigación, verifica la presencia de microprotozoarios unicelulares y eucarióticos, que tienen la habilidad de moverse por apéndices, y pueden ser flagelados, ciliados y amebas, mayormente son de alimentación saprófita, y coadyuvan a los procesos de biosíntesis del compost, también al equilibrio de las comunidades microbiales, mediante sus interrelaciones con otros microorganismos, uniendo el flujo de energía de hongos, bacterias, actinomicetos y algas, con los de microácaros, microtermitas y nematodos. Tienen la capacidad de reciclar y transformar compuestos orgánicos y nutrientes del suelo (Rodríguez-Zaragoza, 2007); y por su corto tiempo de generación, son herramientas adecuadas para el monitoreo ambiental (Hunter, 1964)

Descripción de la Microflora del Compost Altoandino.

A continuación, se describen los hongos, bacterias, actinomicetos, cianobacterias y otros microorganismos presentes en el compost altoandino.

Hongos filamentosos: Los hongos filamentosos del compost altoandino son el segundo componente más abundante, están constituidos por estructuras somáticas filamentosas o hifas, que pueden ser cenocíticas o septadas con tabiques transversales y forman talos tipo raíz irregular, sólo algunos hongos del compost no son filamentosos sino unicelulares con un talo levaduriforme. En las muestras naturales y no alteradas del compost altoandino, se reconocieron hongos filamentosos abundantes, principalmente de los géneros *Trichoderma* y *Penicillium*, y en el tratamiento testigo sólo trazas de los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Rhizoctonia* (Figuras 8 y 9); otras colonias de hongos observadas, pero no confirmadas corresponderían al género *Beuvaria* (*Beuvaria bassania*), requiriéndose de pruebas más estrictas para su confirmación. Los hongos saprobios junto con las bacterias son importantes en el proceso de compostación y descomposición de la materia orgánica; se conoce que los hongos participan en la descomposición de la celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina de los residuos vegetales (Alexander, 1994); y que los hongos biosintetizan enzimas que descomponen la lignina (peroxidasa) y otras enzimas que descomponen xenobióticos, fertilizantes químicos y los hidrocarburos que

contaminan al suelo (Wainwright, 1992). En otro tipo de compost convencional (diferentes al compost altoandino), hay una mayor presencia de hongos celulolíticos, de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* y *Trichoderma* (Atlas y Bartha, 2007); y el *Aspergillus niger* predomina sobre *Aspergillus flavus* y *Aspergillus rapen*, formando parte de microorganismos dañinos para el suelo y las plantas (Adegunloye et al. 2007). Por su parte Escobar et al. (2012) en un compost convencional utilizando técnicas de dilución seriada, encontró cuatro géneros de hongos *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium* y *Rhizopus*. Estos resultados hacen suponer que estos investigadores trabajaron con tipos de compost de manejo de residuos sólidos que no completaron su descomposición, y que fueron elaborados con materiales contaminados de residuos urbanos. Por lo contrario, el compost altoandino se realiza con materiales no contaminados, con un protocolo de descomposición completa, con su calidad determinada por pruebas estrictas no convencionales, la recolección “in situ” y evaluación de sus colonias, estudio microscópico óptico, y evaluación cromatográfica (Restrepo y Pinheiro, 2011). Se verifica que nuestro compost presenta una abundante disponibilidad de organismos termófilos benéficos, sustancias biosintetizadas y nutrientes disponibles, que favorecen la “vida” del suelo y el crecimiento y de desarrollo de plantas alimenticias.

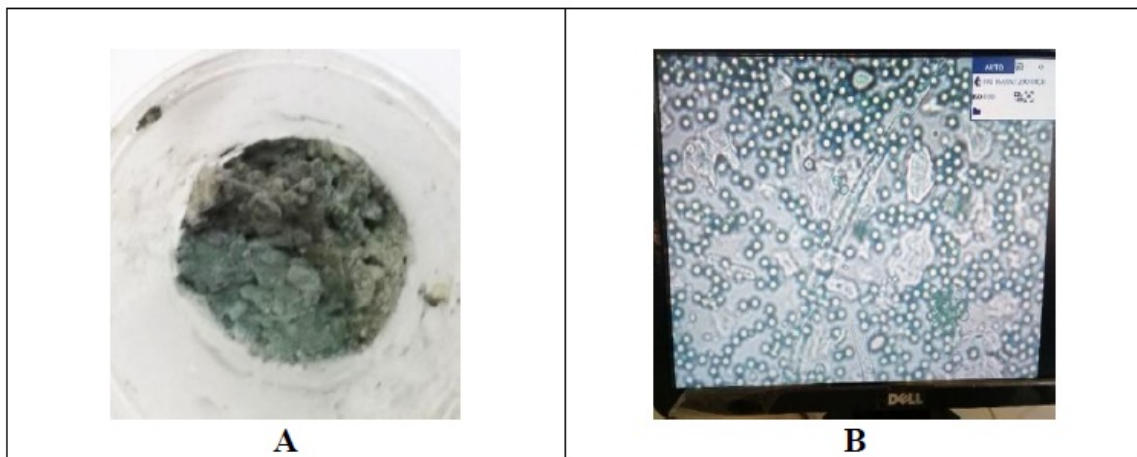


FIGURA 8

Hongos de género *Penicillium* recolectados de compost elaborado con fermento de quinua (*Chenopodium quinoa*). A) Vaso recolector “in situ” de colonias del género *Penicillium* sp; B) Vista microscópica (40x) de esporas de *Penicillium*.

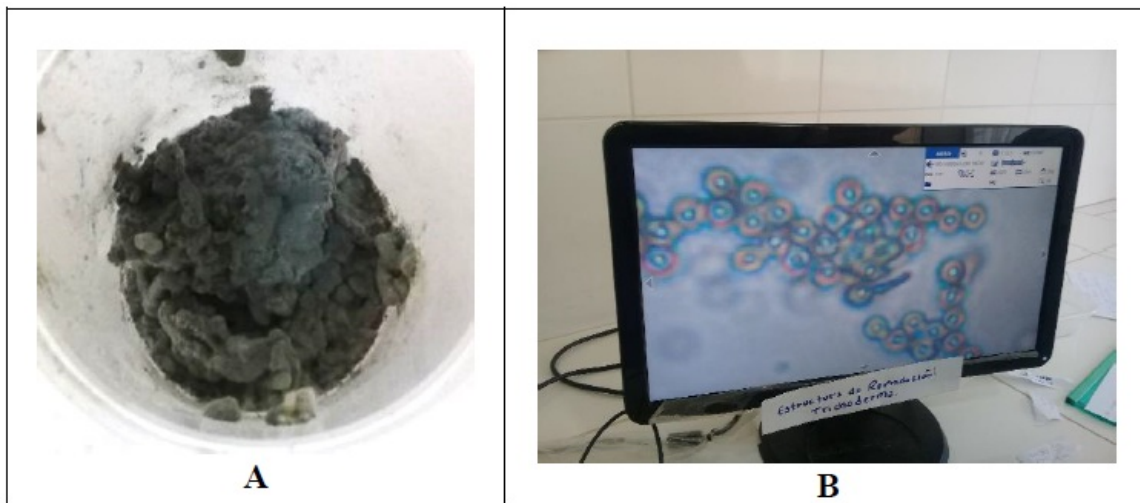


FIGURA 9

Género *Trichoderma* recolectado de compost elaborado con fermento de tarwi (*Lupinus mutabilis*). A) Vaso recolector “in situ” cubierto por colonias de *Trichoderma*; B) Microscopía (100x) estructuras reproductivas de *Trichoderma*.

Bacterias: Constituyen el grupo más abundante presente en el compost altoandino, las bacterias individualmente miden sólo unos cuantos micrómetros, por lo que su estudio resulta complicado y difícil, aun utilizando técnicas convencionales de aislamiento; siendo notorio que los microorganismos nativos del compost altoandino pasan totalmente por alto los métodos “científicos”; en realidad, las bacterias del compost altoandino y sus organismos, se comportan tal como son, sólo en su hábitat natural y/o en condiciones similares. El presente estudio con la microscopía óptica de muestras naturales recolectadas “in situ”, estableció la presencia de numerosas bacterias desconocidas y sólo se pudo reconocer los géneros *Azotobacter* (Gram-), *Bacillus* (Gram+), *Arthrobacter* (+), *Micrococcus* (+), *Cianobacterias*, y Actinomicetos del género *Streptomyces*. Por su forma de bacilo se reconoció sin dificultad al género *Bacillus*, también el género *Azotobacter* por su forma oval y esférica, siendo importante por su capacidad de fijar nitrógeno gaseoso en condiciones aerobias (Figuras 10 y 11); es importante señalar que muchas células unicelulares de bacterias, son móviles debido a que cuentan con flagelos. En un tipo de compost convencional Escobar *et al.* (2012), aisló cinco géneros de bacterias Gram negativas *Enterobacter*, *Escherichia*, *Morganella*, *Proteus* y *Pseudomonas*, tres géneros de bacterias Gram positivas *Arthrobacter*, *Bacillus* y *Micrococcus*, y dos géneros de Streptomicetos *Nocardia* y *Streptomyces*. Las bacterias Gram positivas identificadas por Escobar, coinciden con las observadas en el compost altoandino, pero con diferencias respecto a la escasa presencia de bacterias Gram negativas; sin embargo, no es posible una comparación completa, por desconocerse el tipo de materiales utilizados en la compostación, y tampoco sobre su calidad biológica. El compost altoandino por su protocolo de elaboración, posibilita un compost maduro bien descompuesto, inocuo, libre de microorganismos maléficos y rico en nutrientes y sustancias biosintetizadas; además sustenta una abundante población de bacterias termófilas, que crecen fácilmente a temperaturas entre 42° a 65°C, que cumplen una importante función en las primeras etapas de la compostación, llegando a inactivarse como endosporas al disminuir la temperatura en la fase final del compostaje. Alexander (1994) señala que algunas bacterias termófilas son incapaces de crecer por debajo de los 40°C. La crisis climática, está afectando a los microorganismos benéficos del suelo, principalmente a aquellos adaptados a temperaturas bajas y medias, con consecuencias impredecibles sin embargo ante estos riesgos y amenazas la microbiota edáfica y de compost, está respondiendo a estos riesgos a través de sus propiedades de *homeostasis*, *autopoiesis*, y su manifestación *consciencial*, (Chilon, E. 2018a), impulsando el reemplazo paulatino de los microorganismos sensibles por aquellos mejor adaptados a las altas temperaturas.

En este contexto el compost altoandino se constituye en una importante alternativa para el fortalecimiento de la resiliencia de los suelos y las plantas frente al cambio climático.



FIGURA 10

Bacterias de género *Bacillus* de Compost elaborado con fermento de papa amarga (*Solanum juzepczukii*). A) Vaso recolector con colonias de *Bacillus* y otros organismos. B) Imagen microscópica (40x) de estructuras reproductivas de *Bacillus*.

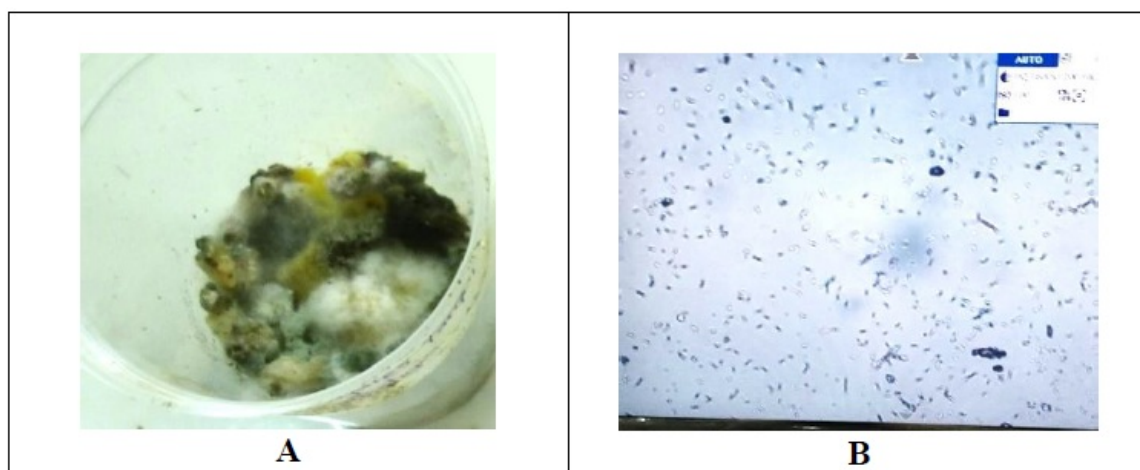


FIGURA 11

Bacterias de género *Azotobacter* y *Actinomycetos* de Compost elaborado con fermento de maíz (*Zea mays*). A) Vaso recolector con colonias de azotobacter y actinomycetos. B) Imagen microscópica (40x) de estructuras reproductivas de *Azotobacter* y actinomycetos.

Actinomycetos: El reconocimiento de actinomycetos en muestras naturales de compost altoandino fue complicada, pero se superó lo que inicialmente se denominaba “hongos radiados” (Koneman, 2001), porque ahora se acepta a los actinomycetos como bacterias filamentosas por su carácter procariótico. Se destaca el reconocimiento de bacterias filamentosas correspondiente a actinomycetos del género *Streptomyces* (Figura 12), que son conocidos por su capacidad enzimática para hidrolizar sustancias orgánicas complejas como celulosa y pectina, además de producir sustancias antibióticas, que controlan a ciertos fitopatógenos. El compost altoandino presenta una significativa población de actinomycetos termófilos, verificando que a temperaturas mayores de 42°C se presenta el crecimiento intensivo de colonias del género *Streptomyces*, siendo visibles a simple vista, observando sus estructuras de micelios en masas blanquecinas que se desarrollan entre las capas de las pilas de compost, generando un olor agradable a “tierra fresca” señal, que el compost

ha alcanzado su madurez, y está listo para su uso en la agricultura; muchos géneros del compost altoandino todavía son desconocidos, siendo necesario impulsar su estudio en profundidad. Ferrera-Cerrato y Alarcón (2007) señala que un compost convencional presenta géneros predominantes de actinomicetos del tipo *Streptomyces* y varias especies de *Micromonospora*. Por su parte Chen, *et al.* (2013) dice que los géneros más frecuentes de actinomicetos en el suelo son *Streptomyces albogriseolus* y *Streptomyces thermovulgaris*. Una investigación en suelos de Colombia, reporta el aislamiento e identificación de 30 cepas de actinomicetos, el 68% pertenecientes al género *Streptomyces* (Franco-Correa, 2008).

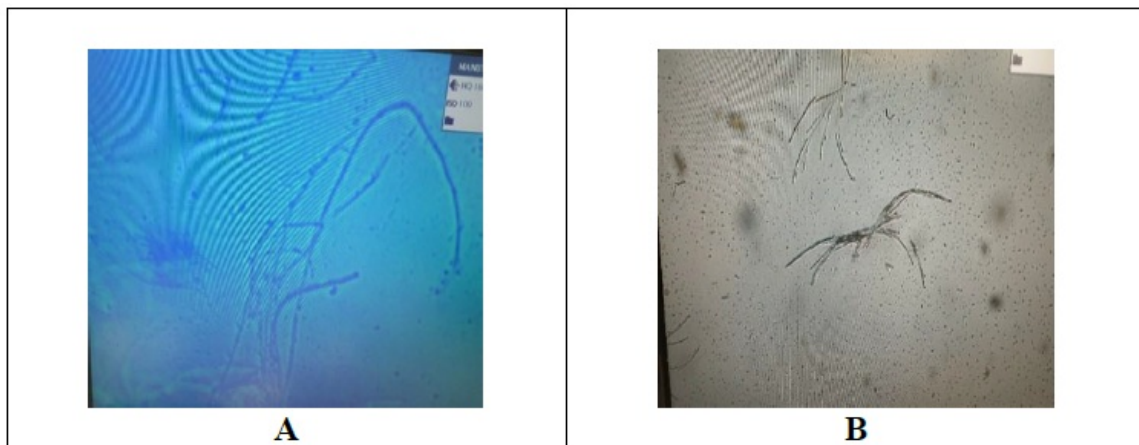


FIGURA 12

Bacterias filamentosas de género *Actinomicetos* de Compost Altoandino. A) Actinomicetos de género *Streptomyces*, con micelio vegetativo y filamentos largos (40x). B) Actinomiceto de género desconocido, con filamentos irregulares (40x).

Cianobacterias: Otro hallazgo relevante en el compost altoandino, es la presencia de Cianobacterias, aunque en forma escasa, son bacterias procariotas con una morfología diversa, son unicelulares, filamentosas y viven en colonias (Figura 13), tienen la capacidad de fotosintetizar y fijar el nitrógeno atmosférico. A diferencia de la mayoría de Cianobacterias que fijan el nitrógeno en condiciones anaeróbicas, hay un grupo restringido que realiza la fijación de nitrógeno en condiciones aeróbicas (Callejas, 2007); es el caso de las Cianobacterias heterocistadas del compost altoandino posiblemente del Género *Nostoc*, que al encontrar las condiciones adecuadas se desarrollan, contribuyendo al contenido y la riqueza en nitrógeno, nutrientes disponibles y sustancias biosintetizadas del compost altoandino

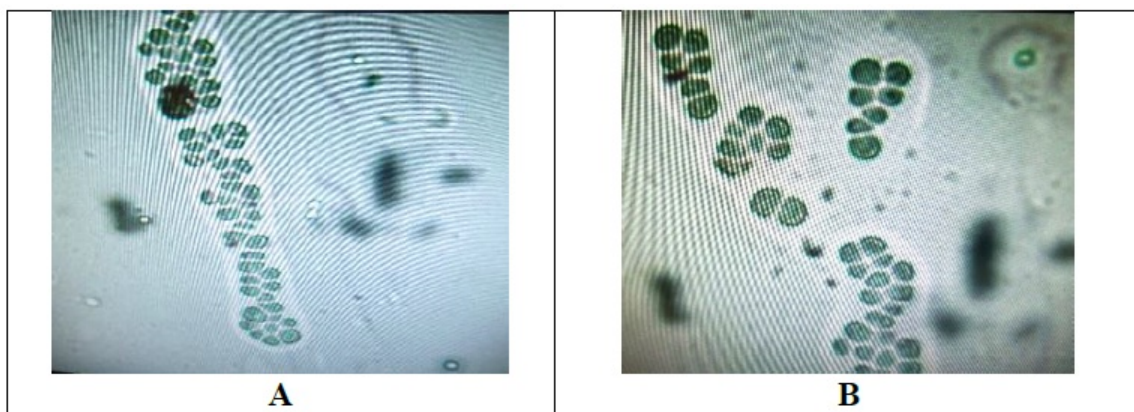


FIGURA 13

Cianobacterias de compost altoandino. A) Cianobacterias (posible género *Nostoc*) con tallo globoso y varias células en división celular (100x). B) Cianobacterias con células especializadas y heterocistos fijadores aeróbicos de nitrógeno (100x).

Otros Microorganismos del Compost Altoandino: Se evidenció la presencia del Género *Azospirillum*, en forma de bastón y su movilidad en espiral, son aerobias estrictas, y forman parte de las bacterias promotoras del crecimiento en plantas (BPCP). Lynch (1990), dice estos organismos participan activamente en la fijación de nitrógeno atmosférico, la solubilización de fosfatos, la producción de fitohormonas (auxinas, giberelinas, citocininas, ácido abscísico y ácido 3-indolacético AIA) y la mitigación de factores ambientales. Otras colonias observadas, pero no confirmadas corresponden a bacterias desconocidas, y ciertos virus como el *Baculovirus*, requiriéndose mayores estudios, y técnicas genómicas para su confirmación. El compost altoandino, propicia la incorporación natural al suelo de sus microorganismos conocidos y desconocidos, que trabajan en comunidad junto a los organismos nativos, favoreciendo la recuperación de suelos agrícolas, y el crecimiento y desarrollo de las plantas. En contraposición, la agroindustria capitalista invierte grandes capitales en el aislamiento y reproducción en laboratorio de microorganismos del suelo, en el caso del *Azospirillum* y *Azotobacter*, su comercialización como inoculantes, y su aplicación masiva en los campos de agroexportación no ha tenido éxito, en razón que no puede entregarse a un solo microorganismo una inmensa tarea; además la comercialización y masificación de microorganismos transgénicos, pone en riesgo la heterogeneidad de la microbiota del suelo, y puede provocar un desastre.

Potencialidades de la microbiota del Compost Altoandino.

Mediante varios estudios y trabajos de campo, se demuestra el efecto benéfico del compost altoandino sobre la “vida del suelo”, lo que incide directamente en el incremento en la calidad y cantidad de las cosechas. Las investigaciones de compost altoandino, reduciendo al mínimo las condiciones artificiales, verifican el trabajo de sus “Comunidades microbianas” que biosintetizan sustancias y nutrientes disponibles, que fortalecen al suelo y la planta, y la resiliencia de suelo y la planta frente a los rigores climáticos extremos. Chilon, E. y Chilon, J. (2015a) reportan que el compost altoandino, contiene sustancias biosintetizadas y enzimas, con potencialidad para la biorremediación de suelos, por su capacidad de degradar moléculas de hidrocarburos; una potencialidad del compost altoandino, es constituirse en sustrato para la obtención del abono orgánico líquido aeróbico (AOLA); otra potencialidad de nuestro compost es ser la fuente para la obtención de “Extractos microbianos”, que tiene efectos positivos en la biorrecuperación de suelos muertos, el crecimiento de las plantas, y el control de plagas y enfermedades. Durante varias campañas agrícolas se verificaron los efectos positivos del compost (figura 14), complementado con AOLA, en las plantas y cultivos.

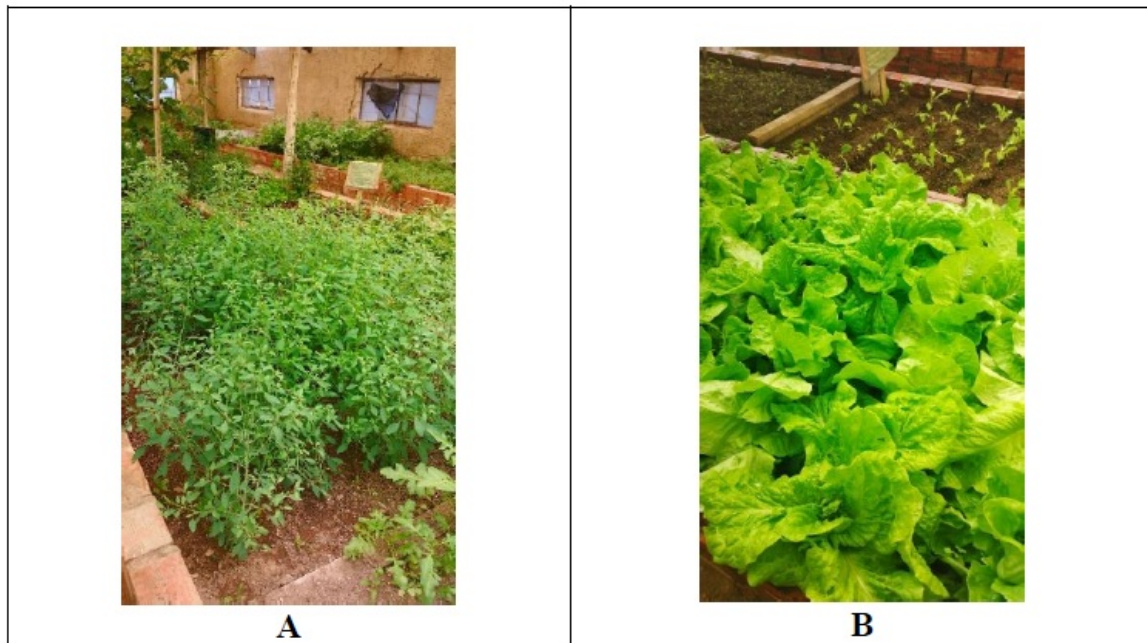


FIGURA 14

Efecto Compost altoandino y AOLA en suelo y cultivos experimentales. A) Cultivo de quilquiña (*Porophyllum ruderale*) con buen crecimiento; B) Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) con biomasa adecuada y buen tamaño de hojas.

Conclusiones

La Etnobiotecnología, establece la importancia de la noción ancestral de “Suelo vivo” y sus requerimientos de alimentos orgánicos de calidad, que los pueblos milenarios atendieron con su biotecnología propia, intuyendo que había ciertos organismos no visibles responsables de la descomposición y biosíntesis de los abonos orgánicos; ancestralmente también se dio importancia a las formas y modalidades de elaboración de abonos orgánicos.

Se constató el efecto benéfico de los fermentos o “chicha” de granos andinos, en la activación biológica y descomposición del compost; también se estableció que el Sustrato S1A-Miab (arroz+ miel abeja), fue el más eficaz en la recolección “in situ” de microorganismos.

La investigación sobre la aproximación a la microbiota del compost altoandino, encontró en su microfauna, como hallazgo científico, organismos desconocidos caso de un microácaro del compost altoandino, perteneciente al Suborden Cryptostigmata; también se identificaron microtermes y un grupo de microprotozoarios flagelados, ciliados y amebas. Estos organismos cumplen funciones importantes como la biosíntesis y evacuación de excretas constituidas por vitaminas, enzimas, hormonas, antibióticos y nutrientes; la regulación de las poblaciones de hongos y bacterias, y la transformación de restos vegetales.

En su microflora se reconocieron hongos filamentosos de los géneros *Penicillium* y *Trichoderma*, y en menor proporción los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Rhizoctonia* y el género *Beuvaria*. Entre las bacterias, se reconoció la presencia de los géneros *Azotobacter*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Micrococcus* y *Azospirillum* y bacterias filamentosas (actinomicetos) del género *Streptomyces*; también Cianobacterias género *Nostoc*. La microflora es importante en la descomposición y biosíntesis del compost, en la fijación biológica de nitrógeno, formación de nutrientes disponibles, sustancias para el biocontrol de patógenos y la resiliencia de suelos y plantas frente al cambio climático.

Se recomienda continuar con el estudio de la microbiota del compost altoandino, la identificación de colonias y microorganismos desconocidos requiere de pruebas estrictas y exámenes genómicos. Se debe investigar y aprovechar las potencialidades del compost altoandino como fuente de sustancias especiales y bioinsumos innovativos casos del AOLA (abono orgánico líquido aeróbico), Extractos microbianos, fitohormonas y otros metabolitos benéficos, para mejorar la actividad agrícola, biorremediar suelos contaminados con hidrocarburos, biorrecuperar suelos muertos y la terraformación en otros planetas

Agradecimientos

A todos nuestros hermanos de las comunidades originarias andinas, que nos acogieron y compartieron con nosotros sus conocimientos, experiencias y esperanzas. A las autoridades de la UNIBOL-ATK, por las facilidades para realizar la investigación y a los docentes y estudiantes de la UMSA-CIDES y UAC-Tiahuanaco, que participan en la línea de investigación “Suelo Vivo”. Un reconocimiento especial al grupo científico BIORECSA por nuestra incorporación, y confiamos que la creación, aplicación y difusión de conocimientos científicos propios, se plasmen en la preservación de la agricultura familiar campesina y en la prolongación de la vida en nuestro planeta Tierra.

LITERATURA CITADA

- Abecasi, C. (2015). Biorregeneración de suelos. El suelo visto como un organismo vivo. Disponible en https://www.ngormix.com/agricultura/microbiologia-agricola/nuevo-paradigma-suelo-visto_a32635/
- Adegunloye, D. *et al.* (2007). Microbial Analysis of Compost Using Cowdung as Booster. *Pakistan. Journal of Nutrition*, 6(5):506-510.
- Alexander, M. (1994). Introducción a la microbiología de suelos. 2da. Edición, Escandón México: Libros y Editoriales 11800 D.F.
- Álvarez, J. (2017). Educación superior basado en la filosofía Productivo-comunitario. Módulo I, Diplomado en Educación Superior. UNIBOL-ATK Bolivia.
- Atlas, R. y Bartha, L. (2007). Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental. Ed. Pearson Educación, S.A. Madrid España 677p.
- Behan-Pelletier, V.M. y Hill, S.B. (1983). Feeding habits of sixteen species of Oribatei (Acari) from an acid peat bog, Glenamoy, Ireland. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, vol. 20, pp 221-267.
- Bennett, E., W. Cramer, A. Begossi, G. Cundill, S. Díaz, Egoh, B., Geijzenborffer, R., et al. 2015. “Linking Biodiversity Services, and Human Well-Being: Three Challenges for Designing Research for Sustainability”. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14:76-85. DOI:10.1016/j.cosust.2015.03.007
- Callejas, M.C. (2007). Metabolismo del nitrógeno en cianobacterias formadoras de heterocistos. Tesis de grado. Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/19143>
- Cieza de León, P. (1550). La Crónica del Perú. Ed. CALPE impreso en 1922. Madrid, España.
- Chen T., Wang L., Wang O., Han J. (2013). Isolation and identification of thermophilic actinomycetes in asparagus old stem compost. *J. Shanxi Agr. Sci.* 1:40-45.
- Chilon, E. (2010). Compostaje altoandino, suelo vivo y cambio climático. (En línea). *Journal de Ciencia y Tecnología Agraria* 2(1):221-227. Disponible en http://www.ibepa.org/index-Dateien/221-227_chilon.pdf.
- Chilon, E. (2013). El compost altoandino como sustento de la fertilidad del suelo frente al cambio climático. *CienCiagro* (2013) 2(4): 456-468, agosto 2013. www.ibepa.org
- Chilon, E. & Chilon-Molina, J. (2015a). Compostaje altoandino, seguridad alimentaria, cambio climático y biorremediación de suelos. *CienCiagro* (2015) 1:43-56, noviembre 2015. www.ibepa.org
- Chilon, E. & Chilon-Molina, J. (2015b). Potencialidades para la agricultura y la preservación del medio ambiente del abono orgánico líquido aeróbico AOLA. *CienCiagro* (2015) 1:35-42. Disponible en www.ibepa.org

- Chilon, E. (2018a). El Paradigma Suelo Vivo. *Rev. Apthapi* 4(2):1148-1172. Disponible en [Http://ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/issue/view/27](http://ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/issue/view/27)
- Chilon, E. (2018b). Heurística del compost altoandino, hallazgos científicos y su contribución al Paradigma Suelo vivo. *Apthapi* 4(2): 1212-1226. Disponible en [Http://ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/251](http://ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/251)
- Chilon, E. (2019). Etnobiotecnología Andina y Alimentación Ancestral del “Suelo vivo”. *Etnobiología* V. 17 n3, 32-48. Disponible en <file:///C:/Users/Edu/Downloads/65-Texto%20del%20art%C3%ADculo-218-1-10-20200225.pdf>
- Chilon, E. (2022). El “Retorno al futuro” de los pueblos originarios frente a la incertidumbre de los cambios del mundo. *Prospectiva y Estudios del Futuro*, 127-145. Disponible en <https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/libros/pm.5423/pm.5423.pdf>
- Chilon, E. (2024). El Paradigma “Suelo Vivo”: una nueva ciencia y tecnología agraria de vanguardia. En *Estrategias y Lógicas de Desarrollo en Bolivia* Vol 5. 61-104. CIDES-UMSA. La Paz - Bolivia.
- Cobo, Bernabé. Padre (1653). *Historia del nuevo mundo*. Edición Marcos Jiménez de la Espada. Sevilla, España.
- Escobar, N.; Mora, J.; Romero, N. (2012). Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafetaleras de Cundinamarca, Colombia. Grupo Investigadores Sistemas Agroforestales Pecuarios. Universidad de Cundinamarca. 83pp.
- Estrada-Benítez, E. (2007). Los termes y su papel en el ecosistema suelos. *Microbiología Agrícola Ferrera-Cerrato*, pp. 294-309. Ed. Trillas, México D.F.
- Franco-Correa, M. (2008). Evaluación de caracteres PGPR en Actinomicetos e Interacciones de estas Rizobacterias con hongos formadores de Micorrizas. Tesis de Doctorado, Universidad de Granada, Departamento de Fisiología Vegetal. Granada.
- Ferrera-Cerrato y Alarcón (2007). *Microbiología Agrícola. Hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta-microorganismo*. Editorial Trillas, México D.F.
- Garcilazo de la Vega, Inca (1609). *Comentarios Reales de los Incas*. 1° y 2° parte. Biblioteca Nacional de España. Reedición 1970. Ed. Universo S.A. Lima, Perú.
- Guamán Poma de Ayala (1660). *Nueva Crónica y Buen Gobierno*. Ed. R. Adorno, J.V. Murra J.L. Urioste. Madrid: Historia 12. Reedición 1987.
- Hunter S.H., (1964). Protozoa as toxicological tools. En *F. Protozool*, vol. 11, pp. 1-6.
- Koneman E.W. (2001). *Diagnóstico Microbiológico: Texto y atlas a color*. Quinta edición Médica Panamericana. Buenos Aires, Argentina. pp 10-16, 75-82.
- Lynch, J.M. (1990). *The Rhizosphere*. John Wiley. New York.
- Luxton, M. (1972). Studies on the oribatid mites of a Danish beechwood soil. I. Nutritional biology. *Pedobiología*, vol. 12, pp. 434-463.
- Luxton, M. y Peterson, H. (1982). Survey of the main animal taxa of the detritus food web. A comparative analysis of soil fauna and their role in decomposition processes. *Oikos*, vol. 39, pp.293-294.
- Mariel, J., V. Freycon, J. Randriamalala, V. Rafidison, and V. Labeyrie. 2022. “Local Knowledge of the Interactions Between Agrobiodiversity and Soil: A Fertile Substrate for Adapting to Changes in the Soil in Madagascar?” *Journal of Ethnobiology* 42 (2): 180-197. DOI: 10.2993/0278-0771-42.2.180.
- Mitchell, M.J. (1976). Ecology of oribatei mites (Acari-Cryptostigmata) in an aspen woodland soil. PhD. Thesis, Universidad de Calgary, pp. 220.
- Pfeiffer, E.H. (1956). *The Compost Manufacturer’s Manual*. Philadelphia: The Pfeiffer Foundation, Inc. 1956.
- Restrepo, J. y Pinheiro, S. (2011). *Cromatografía. Imágenes de Vida y destrucción del suelo*. COAS ediciones.
- Rodríguez-Zaragoza, S. (2007). Protozoarios del suelo. *Microbiología Agrícola Ferrera-Cerrato*, pp. 254-271. Ed. Trillas, México D.F.
- Segales, G. (2020). Caracterización general de microorganismos benéficos del compost elaborado con fermento de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) mediante la técnica de captura “in situ”. Tesina de grado, Carrera de Agronomía, UNIBOL-ATK, Cuyahuani-Bolivia.

- Shaw, C.H. *et al.* (1991). The relationships of soil fauna to long-term forest productivity in temperate and boreal ecosystems; processes and research strategies. FRI Bulletin Nro. 161.
- Schlegel, H. (1997). Microbiología general. Ediciones Omega. S.A. Barcelona España.
- Toledo, V.M. y Barrera-Bassols, N. (2008). La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Barcelona, España. Icaria editorial.
- Varela, L. y Amora E. (2007). Los hongos como componentes de la diversidad del suelo, en Microbiología Agrícola/ Ferrera- Cerrato, Ed. Trillas, México D.F. pp. 76-89.
- Wainwright, M. (1992). An introduction to Fungal Biotechnology. Jhon Wiley & Sons, West Sussex, pp 202.
- Wallwork, J.A. (1958). Notes on the feeding behavior of some forest soil Acarina. En Oikos, vol. 9, pp. 260-271.

Licencia Creative Commons CC BY 4.0