

Compostaje Altoandino, seguridad alimentaria, cambio climático y biorremediación de suelos

Altoandino compost, food security, climate change and soil recuperation

Eduardo Chilon Camacho^{1*} y. Jhoselyne Chilon Molina²

¹Profesor Universitario Facultad Agronomía UMSA-Bolivia. (eduardochilon@gmail.com)

²Universitaria Facultad de Medicina, UMSA-Bolivia. Investigadora BIORECSA.

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

Resumen

Las poblaciones más vulnerables de los andes de Sudamérica, están siendo afectadas seriamente por el cambio climático global, una escasa precipitación y su irregular distribución, así como la erosión creciente de los suelos, visibilizan con enorme alerta, el alto riesgo en que se encuentra la seguridad alimentaria y la sobrevivencia de nuestros pueblos. El espacio andino, desde tiempos milenarios cobijó a una numerosa población originaria, caracterizada por una matriz cultural de respeto al suelo o vientre cósmico, al que había que cuidar y “alimentar”, para garantizar la continuidad y la reproducción de la vida. La presente investigación es una fase más del proyecto de “Compostaje altoandino” que se desarrolla en forma continua durante varios años, y que tiene como objetivo estratégico de alcance regional y mundial contribuir a la adaptación al cambio climático global, la conservación de la fertilidad de los suelos, la producción de alimentos y la biorecuperación de suelos contaminados. Se evaluó la influencia de las condiciones ambientales del período frío (abril-junio 2014) y período cálido (septiembre-diciembre 2014) sobre las propiedades y la calidad del compost, así como el efecto del compost sobre la producción de cultivos y sobre las propiedades del suelo. Se encontró que las condiciones del período frío y cálido no tienen una influencia significativa en el proceso térmico del compost, lo que comprueba la efectividad del método de compostación altoandina con activadores biológicos locales. Por su calidad se identificaron tres grupos, los compost de buena calidad y de desarrollo rápido integrado por el compost con activador fermento local (T4C-ACH), compost con activador caldo de humus de lombriz (T2C-AHL), y compost con activador yogurt (T1C-AY); grupo compost de calidad moderada conformado por el compost con activador Leche (T5C-AL) y compost con activador levadura (T3C-ALEV); finalmente el compost Testigo sin activador (T6C1-TE) de menor calidad y de lento desarrollo); en la determinación de la calidad del compost se verificaron limitaciones en los métodos de análisis químico de laboratorio. Sobre los efectos del compost con activador fermento local (T4C-ACH), en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), se obtuvieron rendimientos/hectárea que superaron hasta en cuatro veces el promedio nacional, producto del mejoramiento de la fertilidad y la actividad de los microorganismos del suelo, el aporte de sustancias orgánicas como enzimas, hormonas y vitaminas y nutrientes disponibles para la planta. También se lograron excelentes resultados de la aplicación del compost altoandino en la biorecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, validándose el método y la estandarización de la técnica de biorecuperación. Estos resultados constituyen la base, para el diseño de las fases más delicadas de la investigación, que corresponde a la identificación y caracterización de los microorganismos del compost altoandino y de sus sustancias biosintetizadas, ofreciendo potencialidades para la producción de alimentos, la biotecnología, la salud y el medio ambiente.

Palabras claves: Compost, abonamiento orgánico, microorganismos del suelo, fertilidad de suelos agrícolas, producción ecológica, biorremediación de suelos y adaptación al cambio climático.

Abstract

The most vulnerable populations of the Andes of South America are being seriously affected by the global climate change, a scanty precipitation and its irregular distribution, as well as the increasing erosion of soils, making visible with enormous alert, the high risk in which are food security and survival of our peoples. The Andean space, since ancient times sheltered a large indigenous population, characterized by a cultural matrix of respect to the soil or cosmic belly, which had to take care and “to feed” to ensure continuity and reproduction of life. The present investigation is one more phase of the project of “High-Andean Composting” that develops in constant form for several years, and that has like strategic objective of regional and world scope, contribute to the global climate change adaptation, conservation of soil fertility, production of food, and biorecuperation of polluted soils. It was evaluated the influence of the environmental conditions of the cold period (April - June, 2014) and warm period (September - December, 2014) on properties and quality of the compost, as well as the compost effect on the

production of crops, and on soil properties. It was found that conditions of cold and hot periods do not have a significant influence in the thermal process of compost, which verifies the efficiency of the high-Andean composting method with biological local activators. By their quality three groups were identified, the compost of good quality and quick development, integrated by the compost with activator: local ferment (T4C-ACH), compost with activator: broth of earthworm humus (T2C-AHL), and compost with activator: yogurt (T1C-AY); group compost of moderate quality, integrated by the compost with activator: Milk (T5C-AL) and compost with activator: yeast (T3C-ALEV); finally the control compost without activator (T6C1-TE) of minor quality and of slow development; in the determination of the quality of compost, limitations in the methods of chemical analysis of laboratory were identified. About the effects of compost with activator: local ferment (T4C-ACH), in the potato crop (*Solanum tuberosum*), were obtained yields/hectare that overcame even in four times the national average, product of the improvement of fertility and microorganisms activity of soil, the contribution of organic substances as enzymes, hormones and vitamins and available nutrients for the plant. Besides were achieved excellent results with high-Andean compost application in the biorecuperation of polluted soils with hydrocarbons, making possible the validation the method and the standardization of bio recuperation technique. These results constitute the base, for the design of more delicate research phases, which corresponds to the identification and characterization of the microorganisms of the high-Andean compost and of its biosynthesized substances, offering potentials for food production, biotechnology, health and environment.

Keywords: Compost, organic composting, microorganisms of soil, fertility of agricultural soils, ecologic production, bioremediation of soils and climatic change adaptation.

INTRODUCCION

Las poblaciones más vulnerables de la zona andina de Sudamérica, están siendo afectadas seriamente por el cambio climático global, por la irregular distribución de la precipitación durante el año, la desertificación, y la severa erosión de los suelos de las planicies y laderas altoandinas, que visibilizan con enorme alerta, el alto riesgo en que se encuentra la seguridad alimentaria y la sobrevivencia de las comunidades rurales.

Sin embargo, este espacio andino, en tiempos ancestrales cobijó a una numerosa población, con una raíz cultural de respeto a la naturaleza, del cuidado y abrigo a la “Madre tierra”, y en su concepción seminal holística, consideraban al suelo como un vientre cósmico y ser vivo, al que había que “alimentar”, para garantizar la continuidad y la reproducción de la vida.

El objetivo estratégico de alcance mundial, regional y nacional de la investigación en **compostaje altoandino**, es contribuir a la adaptación al cambio climático global de las poblaciones vulnerables, con una alternativa de conservación de la fertilidad de los suelos agrícolas, de producción de alimentos de seguridad alimentaria y de biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos. Como resultados se tienen importantes avances de las fases sucesivas de la investigación¹, generándose

las bases para las fases más delicadas del estudio, que corresponde a la identificación y caracterización de los microorganismos y de las sustancias intermedias biosintetizadas presentes en el compost altoandino; el reto a corto y mediano plazo es aplicar herramientas de la nanotecnología en el estudio del compost altoandino.

Problema, fuentes y antecedentes de la investigación

El compostaje no es una técnica nueva de elaboración de abonos orgánicos, se practica en muchos lugares del mundo, pero en el caso de la zona altoandina de Bolivia, se presentan cuestiones que no están definitivamente resueltas que tienen que ver con su calidad y el excesivo tiempo de obtención del compost. También hay cuestiones hasta ahora no resueltas por científicos e investigadores del mundo moderno, al respecto el profesor Stentiford de la Universidad de Leeds (Reino Unido), citado en Sciences and Engineering of Composting, en 1992 con preocupación señalaba que “... Lo asombroso en relación con los sistemas de compostaje, es que después de 60 años de investigación sobre este proceso, somos todavía incapaces de especificar las condiciones de operación de la planta que conduzcan al producto final deseado...”. Unos 20 años después el problema central sigue siendo el mismo.

La investigación del compost altoandino, que lleva más de 15 años continuos de trabajo aplicando el método estandarizado de la compostación altoandina, estudiando los efectos del compost sobre los rendimientos y calidad de alimentos, sobre la fertilidad de los suelos agrícolas y sobre

¹ Los resultados de la 1ª fase de la investigación, se publicaron en CienciAgro Vol.2, No. 1(2010) 221-227, Junio 2010. www.ibepa.org

Resultados de la 2ª fase de la investigación, publicado en CienciAgro Vol.2, No. 2(2011) 261-268, Julio 2011. www.ibepa.org

Resultados de la 3ª fase de la investigación, publicado en CienciAgro (2013) 2(4) 456-468, Noviembre 2013. www.ibepa.org

Resultados de la 4ª fase de la investigación. publicado en CienciAgro (2014) 3(1): 21-38, Noviembre 2014. www.ibepa.org

la biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, tiene ya las respuestas o gran parte de ellas, a las cuestiones planteadas por los productores agropecuarios de la zona andina de Bolivia y de los países de América del Sur, y a aquellas cuestiones no resueltas por científicos e investigadores del mundo; los resultados de todo el proceso se están sistematizando como parte de una investigación rigurosa y que se presentará oportunamente a la comunidad científica.

La historia del “proyecto de compostaje altoandino”, se inicia el año 1999 en comunidades aymaras originarias del Municipio de Tiahuanaco del altiplano boliviano, ubicadas a altitudes mayores a los 3800 metros s.m.m., ensayándose una modalidad de compostaje similar al método clásico Indore, requiriéndose más de 11 meses para la obtención del compost; si bien este abono orgánico permitió buenos resultados en la producción de cultivos, el reto y la exigencia de las familias campesinas, por factores de optimización de tiempo y economía familiar, fue disminuir el tiempo de compostación sin afectar la calidad del abono final.

En el período 2000-2004, se investigó la forma de acelerar y acortar el tiempo de compostación, estudiando el efecto de activadores biológicos locales, observándose que los fermentos de granos originarios de quinua y tarwi, además del yogurt y suero de leche, y en menor medida otros fermentos de productos locales, presentaban excelentes efectos en la activación biológica del compost, disminuyendo el tiempo de compostación de 11 meses a 6 meses

En el período 2005-2007, se ajustó y estandarizando el método de manejo del compost altoandino, y a campo abierto se logró obtener compost de buena calidad en un tiempo menor a los 2 meses, con el uso de activadores de fermentos locales. Con lo que se inició la transferencia de la experiencia de compostaje altoandino, a las comunidades campesinas participantes en el proyecto de desarrollo rural PROMARENA. En el período 2008-2011, bajo condiciones controladas a campo abierto, y con la participación de estudiantes de Universidades Agrarias Rurales presentes en el altiplano boliviano, se estudió los efectos e influencia de los restos vegetales, tipos de estiércoles, período de volteo y aireación, tipo y dosis de activadores locales, verificándose el rol de los microorganismos autóctonos en la compostación altoandina.

En el período 2012 a 2015, se continuó con la investigación científica del compost, en comunidades campesinas de las regiones del altiplano, valles, yungas y chaco de Bolivia, y paralelamente en los campus de experimentación

de las Facultades Agrarias de dos Universidades Nacionales, con investigación y estudios de tesis sobre los efectos de compost en el rendimiento de cultivos y sobre las propiedades del suelo, del efecto de activadores biológicos locales, el enriquecimiento del compost con harina de rocas, la obtención de abonos orgánicos líquidos aeróbicos a partir del sustrato compost y la biorecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos.

Definiciones y conceptos

El desarrollo y continuidad del proyecto de investigación-acción del compostaje altoandino y sus variantes incluyendo el enriquecimiento con harina de rocas y con abonos orgánicos líquidos aeróbicos, involucrando a los productores de las comunidades indígenas y campesinas, y a los recursos humanos en formación de las Universidades Bolivianas, ha posibilitado desarrollar y ampliar las definiciones relacionadas con el compostaje andino. (Chilon, Eduardo. 1997, 2010, 2011, 2013, 2014; Cortez, Julio. 1998; Sotomayor, Carmen. 2000; Noriega, Yumey. 2001; Parra, Nicolasa. 2003, Ramírez, Romer. 20012; Ruíz, Marcelo. 21012; Chilon, Jhoselyne. 2014; Toro, Félix. 2014.).

El Suelo Vivo: El suelo se origina a partir de la roca madre que promueve el proceso geológico, y por acción de los agentes climáticos se meteoriza y edafiza, pero gracias a los microorganismos adquiere “vida” y llega a ser un cuerpo vivo productivo; por lo tanto el suelo es un cuerpo natural e independiente, tridimensional y trifásico, complejo y dinámico, que está en perfecto equilibrio, que reacciona a los estímulos como un “ente vivo”, que nace crece, desarrolla y puede morir, y que por su fragilidad merece respeto. El fundamento para recuperar los suelos degradados y contaminados, consiste en regenerar la vida biológica del suelo (Chilon, Eduardo. 1997)

El Compost: Es un abono orgánico pre-humificado y de humificación intermedia, resultante de la descomposición y transformación biológica aeróbica, de los residuos orgánicos de origen vegetal (rastros de cosechas y malezas) y residuos de origen animal (estiércol fresco y/o almacenado), con la aplicación de ceniza y un manejo apropiado de la humedad y la aireación, con volteos adecuados para facilitar el trabajo de los microorganismos. El producto final es un compost rico en nutrientes, vitaminas, hormonas y sustancias mucilaginosas que son asimilados paulatinamente por las plantas, lo que garantiza buenas cosechas, y el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Compostaje altoandino: Es una técnica de elaboración de compost, en ambientes altoandinos

cercanos a los 4.000 metros sobre nivel del mar, con la utilización de materiales locales rastrojos de cosecha, paja de cereales, estiércol de camélidos, bovinos y ovinos, ceniza de fogón, y la aplicación de activadores biológicos locales o fermentos elaborados de granos andinos quinua, tarwi y maíz, también yogurt y suero de leche, con el manejo adecuado de la humedad, aireación, temperatura y el pH, obteniéndose el compost final en un período de tiempo de 1,5 a 2 meses (Chilon, E. 2010, 2103). El proceso térmico de compostación altoandino presenta cuatro fases o momentos de diferente duración y comportamiento, una fase inicial de corta duración, seguido de una fase muy activa con altos valores de temperatura, luego una fase de maduración de mayor duración con disminución gradual de la temperatura, y la fase terminal o de conclusión del compostaje (Chilon, E. 2010; Ramírez, R. 2012; Toro, F. 2014).

Compost CA-TB1g: Compost correspondiente a la primera generación de compostaje altoandino, realizado con métodos convencionales en comunidades indígenas y campesinas de los municipios de Tiahuanaco, Charazani, Curva, Mocomoco y otras comunidades, durante el período 1997-2007; CA-TB1g significa Compost altoandino Tiahuanaco-Bolivia 1° generación.

Compost CA-TB2g: Compost correspondiente a la segunda generación período 2008-2012, siendo un compost altoandino elaborado con una técnica estandarizada, con el uso de activadores biológicos locales (ABL), en proceso de transferencia a las comunidades originarias campesinas. CA-TB2g significa Compost Altoandino-Tiahuanaco Bolivia 2° generación. Se obtuvo a partir del mejoramiento del compost CA-TB1g.

Compost CAF-B3g: Compost correspondiente a la tercera generación período 2013-2014, y es el compost altoandino fortalecido con harina de rocas, elaborado con una técnica estandarizada, con el uso de activadores biológicos locales (ABL), y apto para la recuperación y conservación de la fertilidad de suelos agrícolas. CAF-B3g significa Compost Altoandino enriquecido-Bolivia 3° generación.

Activadores biológicos locales (ABL): Sustancias orgánicas obtenidas de la fermentación o chica de quinua, tarwi, maíz y otros cultivos andinos con un contenido proteico significativo, que aportan microorganismos para el proceso de compostación, activando a los microorganismos nativos presentes en el material inicial, que son los responsables del proceso de descomposición y obtención del compost.

Abono orgánico líquido aeróbico (AOLA): Es un abono orgánico líquido aeróbico obtenido por métodos aeróbicos, a partir de sustratos pre-

humificados, tales como compost, humus de lombriz, estiércol descompuesto y otros, en un medio líquido con flujo de oxigenación, que por metabolismo microbiano se generan hormonas, vitaminas y ácidos orgánicos húmicos y fúlvicos, que estimulan y refuerzan la actividad biológica; también se puede utilizarse directamente como abono foliar o aplicarse al suelo junto con el riego por aspersión o como riego-orgánico.

Biorecuperación de suelos contaminados con compost altoandino: Es el proceso biológico de recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, con la aplicación del compost altoandino y sus variantes enriquecidas y fortificadas que favorece la intervención y la acción de los microorganismos y enzimas presentes en el compost, con un método técnico-científico patentado por BIORECSA, bajo condiciones controladas y un manejo adecuado de la humedad, la regulación del pH, la aireación y el reforzamiento biológico con abonos orgánicos líquidos aeróbicos.

Biosíntesis de sustancias orgánicas durante el proceso del compostaje altoandino

Las sustancias intermedias y productos generados por la actividad microbiológica, en las diversas etapas del proceso de descomposición de la materia orgánica del suelo, especialmente en las etapas análogas al proceso de compostaje, y sus efectos sobre el suelo y la planta, son reportado por varios investigadores (Primavesi, Ana. 1984; Alexander, Martín. 1994; Halden, R. et al 1999; Boldu, F. et al 2002; Torrez, D. 2011; Martínez, N. et al 2011; Chilon, Eduardo. 2011, 2014; Chilon Molina, Jhoselyne. 2014).

Durante el compostaje ocurre la biosíntesis de sustancias intermedias mucilaginosas, floculantes y agregantes de las partículas individuales del suelo, que facilitan la formación de la estructura del suelo, con agregados resistentes a la acción dispersante de la lluvia y el viento. Primavesi, A. (1984) señala que la bioestructura del suelo es favorecida por los ácidos poliurónicos, sintetizadas por las bacterias celulolíticas *Cytophagas*.

La biosíntesis de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y ácidos himatomelánicos favorecen la formación de coloides orgánicos y complejos arcillo húmicos, mejorando e incrementando el almacenamiento de agua del suelo, una mayor capacidad de intercambio catiónico y una mayor resistencia a los cambios bruscos de pH. También la liberación y disponibilidad de nutrientes K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Bo para las plantas.

La biosíntesis de sustancias, ácidos y enzimas con capacidad para romper anillos bencénicos, y desintegrar compuestos complejos alifáticos y

aromáticos de hidrocarburos (Halden, 1999; Boldu, 2002 citados por Torrez, D. 2011). Además una misma enzima puede degradar distintos compuestos, y también ocurrir el ataque concertado de diferentes microorganismos, sobre un sustrato lo que facilita su degradación (Martínez, et al 2004).

El compost altoandino CA-TB 2g y el AOLA son excelentes abonos orgánicos, constituido por materiales pre-humificados, humificados, microorganismos y sustancias intermedias enzimas, hormonas, vitaminas, antibióticos y sustancias mucilaginosas, que mejoran e incrementan la fertilidad de los suelos y propician buenas cosechas de alimentos, además estudios recientes han verificado el potencial del compost altoandino, en la biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos. (Chilon, E. 2011, 2014).

METODOLOGÍA

La metodología de investigación del compostaje altoandino, integra el paradigma cuantitativo y cualitativo, la primera considera los fenómenos

observables, susceptibles de medición, análisis y control experimental del compost, caso de la temperatura, y las propiedades físicas y químicas; la segunda es de tipo explicativa y descriptiva con sus respectivas categorías de calificación del olor, color, cromatografía y aspecto del compost; el diseño estadístico fue de bloques completos al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. En el cuadro 1 se presenta el detalle de los tratamientos de compost por períodos de elaboración.

La investigación se realizó a campo abierto durante la campaña 2014, en el campus experimental de la cátedra de Fertilidad de suelos, de la Facultad de Agronomía-UMSA de la zona CotaCota, ubicado a 3293 metros s.n.m., coordenadas GPS 8171619 – 599796, del Municipio de La Paz, Provincia Murillo, Departamento de La Paz-Bolivia; evaluándose los compost elaborados en dos momentos del año, durante el período frío (abril-junio 2014), y el período cálido (septiembre- diciembre 2014).

Cuadro 1. Tratamientos de compost altoandino y períodos de elaboración.

LUGAR Y MODALIDAD DE COMPOSTACION	TRATAMIENTOS DE COMPOST	PERIODOS DE ELABORACION
Lugar: Campus Fertilidad Cota-Cota La Paz-Bolivia Altitud: 3293 msnm Coordenadas GPS: 8171619 - 599796 Modalidad compostación: Alto relieve (Sobre la superficie del suelo)	T1: C-AY(Compost con restos vegetales, estiércol, ceniza + activador yogurt)	C1-AY: Período frío (abril-junio 2014) C2-AY: Período cálido (Septiembre-Diciembre 2014)
	T2: C-AHL (Compost con restos vegetales, estiércol, ceniza + activador caldo humus)	C1-AHL Período frío (abril-junio 2014) C2-AHL: Período cálido (Septiembre-Diciembre 2014)
	T3: C-ALEV (Compost de restos vegetales, estiércol, ceniza + activador levadura)	C1-ALEV Período frío (abril-junio 2014) C2-ALEV: Período cálido (Septiembre-Diciembre 2014)
	T4: C-ACH (Compost de restos vegetales, estiércol, ceniza + activador fermento local o chicha)	C1-ACH: Período frío (abril-junio 2014) C2-ACH: Período cálido (Septiembre-Diciembre 2014)
	T5: C-AL (Compost de restos vegetales, estiércol, ceniza + activador leche)	C1-AL: Período frío (abril-junio 2014) C2-AL: Período cálido(Septiembre-Diciembre 2014)
	T6: C-TE (Compost Testigo de restos vegetales, estiércol y ceniza)	C1-T: Período frío (abril-junio 2014) C2-T: Período cálido (Septiembre-Diciembre 2014)

RESULTADOS Y DISCUSION

Se evaluó la influencia de las condiciones ambientales del período frío (abril-junio 2014) y del período cálido (septiembre-diciembre 2014) sobre las propiedades del compost elaborado con el método del compostaje altoandino; también se evaluó el efecto del abono compost sobre el rendimiento de cultivos y sobre las propiedades de los suelos agrícolas.

Efecto sobre el tiempo de duración del compostaje

La evaluación del tiempo de duración de la compostación, durante el período frío (abril-junio 2014) y período cálido (Septiembre-diciembre 2014), estableció que los tratamientos de compost con activadores biológicos caldo de humus (T2C-AHL) y fermento local (T4C-ACH), presentaron el menor tiempo de compostación, con diferencias no significativas entre los dos períodos de ensayo

frío y cálido, a pesar que durante el período cálido se presentaron los mayores valores de temperatura ambiental y humedad relativa. Estos resultados establecen y refuerzan la efectividad del método de compostaje altoandino, y de su mecanismo de “activación biológica”, que coadyuva en la intensificación del trabajo y actividad microbiológica y enzimática en la aceleración del proceso de compostación; corroborándose que a mayor contenido proteínico del activador local, mayor efectividad en la compostación, resultados que también se observaron en las otras investigaciones de compost altoandino, con el uso de los activadores biológicos de fermentos de granos andinos quinua (*Chenopodium quinoa*), tarwi (*Lupinus mutabilis*) y cañahua (*Chenopodium pallidicaule*) (Chilon, E. 2011, 2013, 2014).

Las condiciones ambientales de los períodos frío y cálido, generaron un mayor tiempo de duración de la compostación, en los tratamientos de compost con activador yogurt (T1C-AY), compost con levadura (T3C-ALEV), compost con leche (T5C-AL), y el compost testigo (T6-TE), en

comparación con los otros dos tratamientos. Tomando en cuenta estos resultados, y comparando los dos períodos frío y cálido, las condiciones del período frío influyeron en un menor tiempo de compostación en los tratamientos compost con levadura (T3C-ALEV) y compost con leche (T5C-AL), este comportamiento se debería a la necesidad de un mayor trabajo y actividad microbiológica, para contrarrestar los factores adversos del período frío. La influencia de las condiciones ambientales de los períodos frío y cálido, fue notoria sobre el tratamiento testigo (T6C-TE), que presentó el mayor tiempo de duración de la compostación.

El tiempo de duración de la compostación, para todos los tratamientos con activadores biológicos y el compost testigo, está dentro de los rangos aceptables y de los requerimientos de las familias campesinas, en base a su economía y disponibilidad de tiempo; estos resultados están relacionados directamente con el método de compostaje altoandino. Los detalles se presentan en el Gráfico 1.

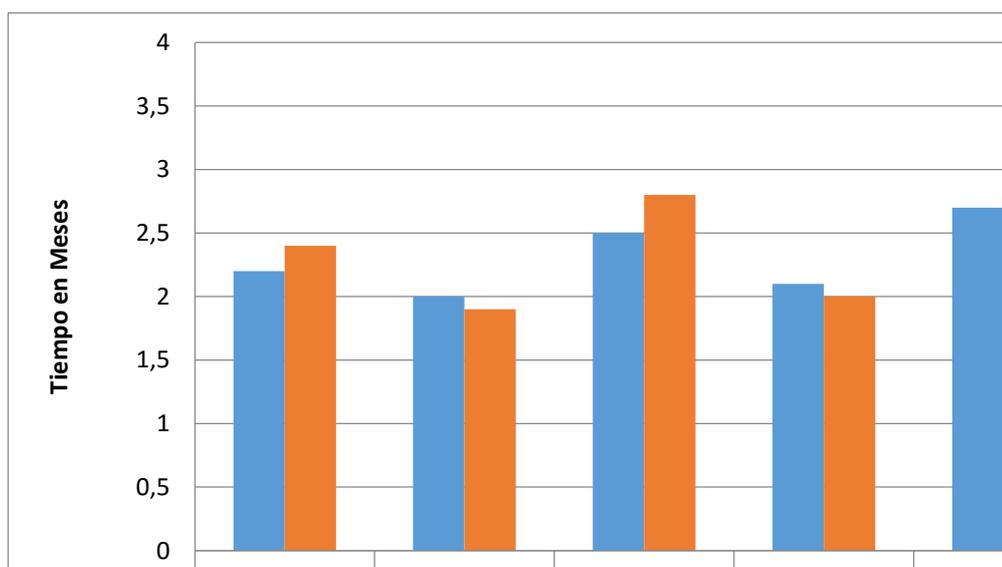


Gráfico 1. Tratamientos y Tiempo de Compostación.

Efecto sobre la temperatura de la compostación

El comportamiento de la temperatura del compost, en el período frío (abril-junio 2014) y cálido (septiembre-diciembre 2014), fue similar en los tratamientos de compost con activadores biológicos, con temperaturas ligeramente mayores durante el período cálido, pero el tratamiento testigo presentó un comportamiento diferente; así mismo se verificaron las cuatro fases térmicas de diferente duración y comportamiento, corroborando los hallazgos de investigaciones anteriormente (Chilon, E. 2011, 2013, 2014).

La compostación durante el período frío (abril-junio 2014), muestra que la mayor temperatura fue de 53°C, en el compost con activador caldo de humus de lombriz (T2C1-AHL), seguido por una temperatura de 52°C del compost con activador fermento local (T4C1-ACH); luego 51°C en el compost con activador leche (T5C1-AL), una temperatura de 49°C en el compost con activador levadura (T3-C1-ALEV), luego 46°C del compost con activador yogurt (T1C1-AY), finalmente el tratamiento testigo (T6C1-TE) con la menor temperatura de 42°C, con un comportamiento térmico diferente a los otros tratamientos. Los

mayores valores de temperatura de los tratamientos de compost con activadores biológicos, en los períodos frío y cálido, están relacionados con el rol de los componentes biológicos (microorganismos y enzimas) sobre la intensificación de la compostación, con un trabajo de reforzamiento de la actividad de los microorganismos locales. El detalle de la temperatura del compost, durante el período frío se presenta en el gráfico 2.

La compostación durante el período cálido (septiembre-diciembre 2014), muestra que la mayor temperatura fue de 58°C en el compost con activador fermento local (T4C2-ACH), seguido por 55°C del compost con activador caldo de humus de lombriz (T2C2-AHL), luego 53°C del compost con activador leche (T5C2-AL), seguido de 50°C del compost con activador yogurt (T1C2-AY), luego 48°C del compost con activador levadura (T3C2-ALEV), y finalmente la menor temperatura 47°C correspondió al tratamiento compost testigo (T6C2-TE); estos resultados evidencian el efecto de los activadores biológicos en la intensificación de la actividad de los

microorganismos durante el proceso de la compostación. El detalle de la temperatura del compost, durante el período cálido se presenta en el gráfico 3.

Comparando las temperaturas de los dos períodos de evaluación, se establece que las condiciones ambientales de los períodos frío y cálido influyeron sobre el comportamiento térmico del compost, observándose que para la mayor parte de los tratamientos hay una relación térmica directa, con menores temperaturas en el período frío y mayores temperaturas en la época cálida. Sólo en el caso del tratamiento de compost con activador levadura (T3C-ALEV) se observó una relación inversa, que se debería a la mayor actividad biológica que tuvieron que desarrollar los microorganismos para contrarrestar los factores adversos del período frío. Estas diferencias de la temperatura, también se observaron en otros ensayos de compostaje, realizados en la región del Altiplano, Valles y Yungas de Bolivia (Cortez, Julio. 1998; Noriega, Yumey. 2001; Sotomayor, Carmen. 2000; Chilon, Eduardo. 2011, 2013, 2014; Ramírez, Romer 2012; Toro, Félix. 2014).

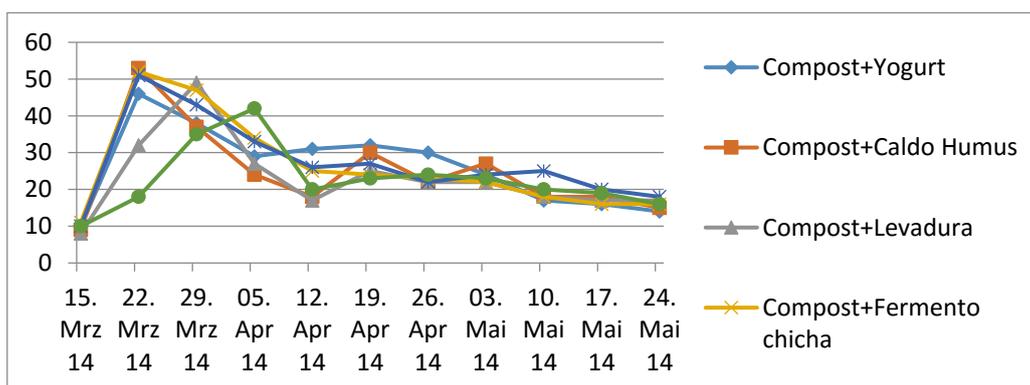


Gráfico 2. Comportamiento térmico del compost durante el período frío (Abril - Junio 2014).

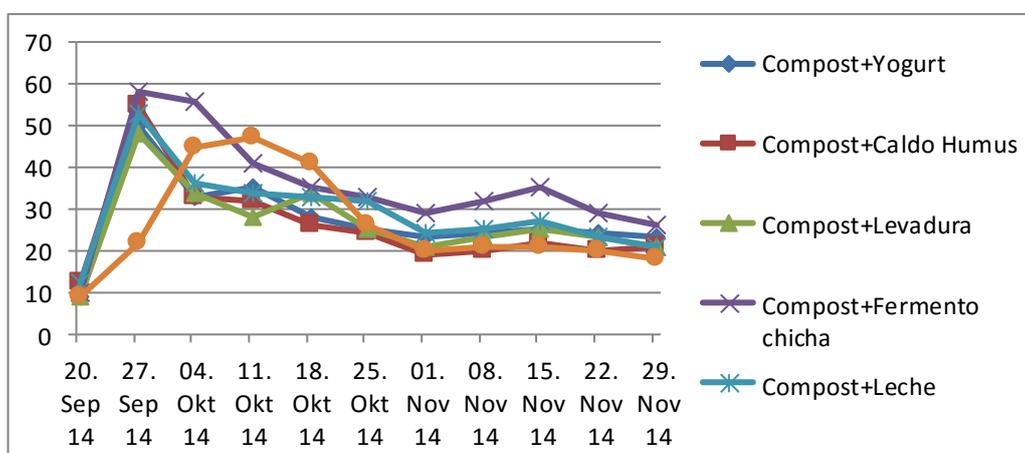


Gráfico 3. Comportamiento térmico del compost durante el período cálido (Septiembre - Diciembre 2014).

Efecto Sobre la Calidad y las Características Físico-químicas del Compost

La evaluación de la influencia de los activadores biológicos locales, así como de las condiciones ambientales de los períodos frío y cálido, sobre la calidad y las características físico-químicas del compost, se realizó mediante la cromatografía de Pfeiffer, y el análisis de laboratorio. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

i) Evaluación Cromatográfica y Físico-química del Compost elaborado en el Período frío abril-junio 2014.

Se reconocieron tres grupos: compost de desarrollo rápido, compost de desarrollo moderado y compost de desarrollo menos rápido. El detalle de los parámetros de laboratorio se muestra en el cuadro 2 y en el anexo 1 se presenta los cromatogramas.

➤ **Compost de buena calidad y desarrollo rápido en período frío:** Comprende el compost con activador caldo de humus (T2C1-AHL), compost con activador fermento local (T4C1-ACH) y compost con activador yogurt (T1C1-AY); el estudio del cromatograma permitió identificar una zona central con una coloración cremosa, indicador de una intensa actividad microbiológica, posiblemente para contrarrestar los factores adversos del período frío; esta zona está integrada a las zonas interna (mineral) e intermedia (orgánica), con una delimitación difusa entre ellas, con presencia de formas de plumas radiales estrechas con coloraciones que varían de crema a amarillo. Entre las zonas intermedia y externa ocurre una separación abrupta, el espesor de la zona externa mayor que las otras zonas indica una integración en desarrollo, la coloración marrón predominante, señala un buen contenido de compuestos orgánicos; los bordes externos irregulares reflejan un proceso inicial de generación de sustancias orgánicas finales, posiblemente por el efecto de las condiciones ambientales frías.

➤ La relación $C/N < 15$ de los compost de este grupo, verifica su desarrollo rápido durante el período frío; la relación $C/P < 80$, indica que los compost están dentro de los rangos recomendables. La reacción o pH de los compost es moderadamente alcalina estando dentro de los rangos recomendables ($pH < 8$); la conductividad eléctrica $CE < 10$, está en los rangos tolerables; así mismo todos los compost de este grupo presentan valores óptimos de densidad aparente y porosidad. Se establece que los compost de este grupo, son abonos orgánicos de buena calidad, de compostación rápida durante el período frío.

➤ **Compost de calidad media y de desarrollo moderado en período frío:** Este grupo incluye los tratamientos de Compost con activador

Leche (T5C1-AL) y compost con activador Levadura (T3C1-ALEV), y sus cromatogramas presentan una zona central o núcleo, de coloración cremosa opaca, lo que señala el esfuerzo de los microorganismos, para sobreponerse a las condiciones adversas del período frío, existiendo separación entre zonas en forma de anillos, con tonalidades variadas, lo que indica una limitada integración; la zona externa de los cromatogramas presentan una coloración marrón con tonalidades ocres y la presencia de plumas angostas radiales con escasas nubes en el exterior, lo que indica un proceso intermedio de compostación.

El compost con activador leche (T5C1-AL) presenta una relación $C/N = 14.7$ que está en el rango recomendable ($C/N < 15$), el compost con activador levadura (T3C1-ALEV) presenta una relación $C/N = 16.87$, ligeramente mayor que el rango recomendable; la relación C/P es mayor que los rangos recomendables ($C/P < 80$). El H de los compost es de ligera a moderadamente alcalina, estando dentro de los rangos recomendables ($pH < 8$); la conductividad eléctrica muestra rasgos de salinidad pero está en los rangos tolerables con una $CE < 10$; La densidad aparente, densidad real y porosidad presenta valores óptimos. Estos resultados evidencian que los compost de este grupo son de calidad media y desarrollo moderado durante el período frío.

➤ **Compost de baja calidad y desarrollo menos rápido en período frío:** Comprende el Compost Testigo sin activador (T6C1-TE), su Cromatograma verifica una zona central o núcleo de coloración cremosa opaca, lo que indica el esfuerzo de los microorganismos, para sobreponerse a los factores ambientales adversos; la presencia de dos anillos bastante notorios con colores variados, indican la poca integración entre la zona interna (mineral) y la zona intermedia (orgánica), señal de una descomposición incompleta; la zona intermedia presenta una separación abrupta con la zona externa, y en el borde del Cromatograma resalta un anillo de color marrón oscuro, lo que verifica su lenta descomposición y desarrollo menos rápido en el período frío.

El compost testigo (T6C1-TE) presenta una relación $C/N = 17.56$ siendo mayor que el rango recomendable ($C/N < 15$); sin embargo la relación C/P es 76.6, estando dentro de los rangos recomendables. Presenta un pH: 7.96 moderadamente alcalino, estando dentro de los rangos recomendables; la conductividad eléctrica es 12.43mS/cm, con una salinidad que supera al rango tolerable ($CE < 10$); sin embargo este compost testigo presentan valores óptimos de densidades aparente, y real y de porosidad. El compost testigo corresponde a un abono orgánico poco desarrollado, con limitaciones en su proceso de descomposición, siendo superado en calidad

por los compost que recibieron activadores biológicos.

ii) Evaluación Cromatográfica y Físico-química de Compost elaborado en Período cálido septiembre-diciembre 2014.

Se han determinado tres grupos: compost de desarrollo rápido, compost de desarrollo moderado y compost de desarrollo menos rápido. El detalle de los parámetros de laboratorio se muestra en el cuadro 2 y en el Anexo 1 se presentan los cromatogramas.

➤ **Compost de buena calidad y desarrollo rápido en período cálido:** Corresponde al compost con activador caldo de humus de lombriz (T2C2-AHL), compost con activador fermento chicha (T4C2-ACH) y compost con activador Yogurt (T1C2-AY); los cromatogramas permitieron identificar una zona central o núcleo de color crema claro, señal de la presencia de una población variada de microorganismos y de una alta actividad microbiológica en la descomposición de la materia orgánica, lo que también refleja las buenas condiciones de manejo del compostaje. La zona interna o mineral indica una moderada interacción de los microorganismos con la zona central y la zona intermedia u orgánica observándose un límite ideal difuso entre la zona interna (mineral) y la zona intermedia (orgánica). La zona intermedia presenta un espesor medio y una coloración con tonalidades lilas a café claro, indicador de un proceso eficiente de descomposición de la materia orgánica, también se observa un límite de separación abrupta con la zona externa, observándose formas de plumas radiales estrechas. La parte externa presenta una coloración marrón claro, con terminaciones en forma de explosión y con lunares enzimáticos, señal de una buena cantidad de sustancias y enzimas orgánicas, ácidos húmicos y fúlvicos, así como nutrientes disponibles para las plantas.

La relación C/N está dentro de los rangos recomendables ($C/N < 15$), evidenciando un desarrollo rápido en el período cálido; la relación C/P también está dentro los rangos recomendables ($C/P < 80$); el pH es ligeramente alcalinos estando dentro de los rangos recomendables ($pH < 8$), sólo el compost T4C2-ACH es fuertemente alcalino; la conductividad eléctrica indica que no hay problemas, estando dentro del rango tolerable ($CE < 10 \text{ mS/cm}$); la densidad aparente, densidad real y porosidad son óptimos. Los resultados indican un grupo de compost de buena calidad.

➤ **Compost de calidad media y desarrollo moderado en período cálido:** Corresponde al compost con levadura (T3C2-ALEV) y Compost con activador leche (T5C2-AL); los cromatogramas presentan un núcleo de color crema claro, señal de una población variada de microorganismos y del trabajo para descomponer la materia orgánica bajo condiciones adecuadas de

manejo. La zona interna indica una limitada interacción con la zona central observándose una coloración oscura a café claro, con un límite claro entre la zona interna y la zona intermedia, lo que refleja un proceso moderado de descomposición de la materia orgánica en relación con las otras zonas, presencia de forma de plumas estrechas dispuestas radialmente, con un límite de separación abrupta con la zona externa y sus terminaciones presentan machas iniciales de explosiones.

El tratamiento compost con activador de leche (T5C2-AL) presenta una relación $C/N = 13.87$ que está en el rango recomendable ($C/N < 15$), el compost con activador levadura (T3C2-ALEV) presenta una relación $C/N = 20.47$, mayor al rango óptimo recomendable, posiblemente por alguna limitación circunstancial en la descomposición; la relación C/P del compost con activador levadura (T3C2-ALEV) es de $C/P = 63.70$ y está dentro del rango recomendable ($C/P < 80$), sin embargo el compost con activador leche (T5C2-AL) con $C/P = 85.13$ es ligeramente mayor que el rango recomendable. El compost con activador leche (T5C2-AL) es tiene un pH: 7.48 siendo ligeramente alcalino y está dentro de los rangos recomendables ($pH < 8$), sin embargo el compost con activador levadura (T3C2-ALEV) con pH: 8.45 es moderadamente alcalino sobrepasando el rango de tolerancia; la conductividad eléctrica está dentro de los rangos recomendables ($CE < 10 \text{ mS/cm}$); los dos tipos de compost presentan valores óptimos de densidad aparente, densidad real y porosidad. Los compost son de calidad moderada.

➤ **Compost de baja calidad y desarrollo menos rápido en período cálido:** Corresponde al Compost testigo sin activador (T6C2-TE), y su Cromatograma muestra una zona central o núcleo de color crema claro, indicador del esfuerzo y actividad de los microorganismos. La zona interna o mineral tiene una deficiente interacción con la zona central y con la zona intermedia u orgánica mostrando una coloración de lila a café claro, con un límite claro de separación entre la zona interna y la zona intermedia, señal de una limitada integración, radialmente se presentan formas de plumas estrechas, y el límite de separación con la zona externa es abrupto, con colores de marrón a marrón claro, con una terminación que indica una escasa presencia de sustancias orgánicas descompuestas y pocos nutrientes disponible. El compost testigo (T6C2-TE), presenta una relación $C/N = 15.76$, siendo ligeramente mayor que el rango recomendable ($C/N < 15$); la relación C/P es 77.15 estando en el rango recomendable ($C/P < 80$). El pH: 8.28, es moderadamente alcalino, y la conductividad eléctrica de 6.26 mS/cm , estando en el rango recomendable ($CE < 10$); la densidad aparente, densidad real y

porosidad son adecuados. El compost testigo corresponde a un abono orgánico con poco desarrollo, con limitaciones, siendo superado en calidad por los compost con activadores biológicos.

Los parámetros físico-químicos de laboratorio, correspondientes a la presente investigación, muestra algunos datos que son contradictorios, en base a estos resultados y otros obtenidos en investigaciones anteriores (Chilon, E. 2010, 2011, 2013, 2014), se hace necesario ajustar y adecuar los métodos de análisis de laboratorio aplicados al compost, o crear nuevos métodos de análisis de abonos orgánicos; se ha observado que los contenidos de Nitrógeno, fósforo, Potasio y

carbono orgánico del compost final obtenidos por las técnicas de laboratorio no son muy concluyentes para establecer la calidad del compost, posiblemente porque estos métodos químicos son para materiales inertes, y el compost y los abonos orgánicos son “entes vivos”. Como una alternativa se tiene a la evaluación cromatográfica, que nos acerca un poco más a la realidad, porque permite el seguimiento de la evolución del compost, y la formación de sus diferentes sustancias intermedias.

En el cuadro 2, se presenta los resultados de laboratorio de los análisis físicos y químicos de los tratamientos de compost elaborados en los períodos frío y cálido del año 2014.

Nº	TRATAMIENTOS	T1 C-AY (Compost + activador Yogurt)		T2 C-AHL (Compost + activador caldo humus lombriz)		T3 C-ALEV (Compost + activador levadura)		T4 C-ACH (Compost + activador fermento chicha)		T5 C-AL (Compost + activador leche)		T6 C-T (Compost Testigo)	
		Frío	Cálido	Frío	Cálido	Frío	Cálido	Frío	Cálido	Frío	Cálido	Frío	Cálido
1**	Densidad aparente (gr/cc)	0.57	0.55	0.46	0.50	0.53	0.60	0.49	0.53	0.50	0.58	0.63	0.60
2**	Densidad real (gr/cc)	2.07	2.11	1.98	2.10	2.09	2.15	2.01	2.13	2.17	1.99	2.15	2.2
3	% Porosidad	72.8	74.0	76.8	76.20	74.7	72.10	75.7	75.20	77.0	70.90	70.1	72.80
4*	% Humedad	62.7	58.4	61.3	62.21	60.0	59.83	58.55	61.3	56.29	60.55	60.39	59.75
5*	N total %	1.1	0.97	1.4	0.85	1.1	0.84	1.3	0.93	1.5	1.15	1.09	0.93
6*	C orgánico %	15.0	14.8	16.8	11.45	18.56	17.20	17.40	10.85	22.04	18.73	19.15	14.66
7	Relación C/N	13.7	15.3	12.0	13.47	16.87	20.47	13.38	11.66	14.7	13.87	17.56	15.76
8*	Fósforo %	0.21	0.21	0.23	0.24	0.18	0.27	0.22	0.18	0.19	0.22	0.25	0.19
9	Relación C/P	71.8	70.7	73.1	47.70	103.1	63.70	79.09	60.27	116.0	85.13	76.6	77.15
10**	pH agua (1:5)	7.90	7.71	7.39	7.49	7.87	8.45	7.79	8.74	7.64	7.48	7.96	8.28
11**	CE (1:5) (mS/cm)	8.18	6.72	9.58	7.1	11.9	3.22	9.25	6.49	11.83	7.33	12.43	6.26

() Elaboración propia, 2014.

(*) Laboratorio de Calidad Ambiental, Instituto de Ecología-UMSA, La Paz. (2014)

(**) Laboratorio de Prácticas de Fertilidad de Suelo, Agronomía-UMSA (2014)

Cuadro 2: Resultados de Análisis Físico y Químico de Compost Elaborado en período Frío y período Cálido.

Evaluación del efecto del compost sobre el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Waycha.

La papa o patata (*Solanum tuberosum*), es un cultivo importante para la seguridad alimentaria de gran parte de la población rural andina, en la presente investigación se evaluó el efecto del compost con activador fermento local, sobre el rendimiento del cultivo de papa variedad local Waycha y sobre las propiedades del suelo. La siembra se realizó el 11 de octubre 2014 y la cosecha 14 febrero 2015, experimentándose tres dosis de abonamiento, dosis alta (18 Tm compost/ha), dosis media (12 Tm compost/ha) y dosis baja (6 Tm compost/ha), y el testigo 0

Tm/ha), lográndose altos rendimientos de 21.428 Kg papa/ha, 19.320 Kg papa/ha, 15.751 Kg papa/ha, y 12.648 Kg papa/ha respectivamente, superando en 4 veces el rendimiento promedio nacional. Estos resultados coinciden con otros estudios de abonamiento con compost realizado en el altiplano, valles y Yungas de Bolivia. (Noriega, Y. 2001; Parra, N. 2003; Ruiz, M. 2012, Chilon, E. 2013). El detalle del efecto del compost sobre el rendimiento se presenta en el Gráfico 4.

El compost tiene una influencia benéfica, sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, por el proceso de biosíntesis de sustancias intermedias enzimas, hormonas, vitaminas y antibióticos que favorecen la disponibilidad de

nutrientes y el crecimiento y desarrollo de las plantas. Primavesi, A. (1984) señala que la bioestructura del suelo es favorecida por los ácidos

poliurónicos, sintetizadas del compost por las bacterias celulolíticas *Cytophagas*.

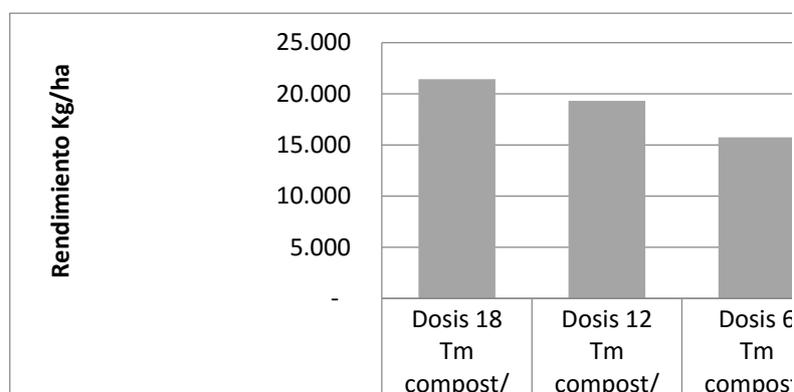


Gráfico 4. Efecto de tres dosis de compost sobre el rendimiento de cultivo de papa.

Estudio del efecto del compost altoandino sobre la biorecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos.

El estudio de varios años del compost altoandino y de sus efectos sobre la fertilidad de suelos agrícolas y la producción de alimentos, involucró una investigación paralela sobre el uso y efecto del compost altoandino en la biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos; luego de varios ensayos que incluyen estudios de tesis e investigaciones específicas, se seleccionó un tipo especial de compost altoandino, que acondicionado y fortalecido posibilita la biorecuperación de suelos contaminados con una tecnología e insumos propios, que están en permanente investigación y validación. Estos hallazgos científicos han permitido pasar de la etapa de investigación a la etapa de industrialización, con la constitución de la empresa de servicios de biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos y de producción de insumos orgánicos BIORECSA.

Chilon Molina, Jhoselyne (2014, 2015) investigadora de BIORECSA, ha determinado que el compost altoandino especial (BIOAF) propicia la interacción de variados microorganismos, que generan la biosíntesis de distintas sustancias extracelulares, y un proceso multienzimático que facilita el rompimiento de las cadenas y anillos de hidrocarburos durante la biorecuperación de suelos contaminados, y como los microorganismos del compost basan su alimentación en sustancias intermedias y enzimas, los valores de su actividad se pueden utilizar como indicadores de la actividad microbiana. El método BIORECSA de biorrecuperación de suelos contaminados con

hidrocarburos, que incluye el uso complementario de un abono orgánico líquido aeróbico (AOLA), también desarrolla una técnica de monitoreo y seguimiento hasta lograr la biorecuperación completa del suelo contaminado con hidrocarburos.

CONCLUSIONES

- La evaluación del tiempo de duración de la compostación, durante el período frío (abril-junio 2014) y período cálido (Septiembre-diciembre 2014), verificó que los tratamientos de compost con activador caldo de humus (T2C-AHL) y fermento local (T4C-ACH), presentaron un menor tiempo de compostación, comprobándose la efectividad del método de compostaje altoandino, y de su mecanismo de “activación biológica” del compostaje.
- La evaluación de la temperatura, estableció que las condiciones ambientales de los períodos frío (abril-junio 2014) y cálido (septiembre-diciembre 2014), influyeron sobre el comportamiento térmico de los tratamientos, con una relación térmica directa, con menores temperaturas en el período frío y mayores temperaturas en la época cálida. Sólo en el caso del tratamiento de compost con activador levadura, se observó una relación inversa.
- La evaluación de la calidad y las características físico-químicas, con la cromatografía y el análisis de laboratorio, permitió definir tres grupos de comportamiento y características similares: Grupo Compost de buena calidad y de desarrollo rápido que comprende los tratamientos compost con activador caldo de humus (T2C-AHL), compost con activador fermento local (T4C-ACH) y compost con activador yogurt (T1C-AY). Grupo Compost de

calidad media y desarrollo moderado que incluye los tratamientos de compost con activador Leche (T5C-AL) y compost con activador levadura (T3C-ALEV). El Compost de menor calidad y desarrollo menos rápido fue el compost Testigo sin activador (T6C1-TE).

- La caracterización del compost, en base a las determinaciones químicas de laboratorio, son solo parciales porque considera al compost, como un cuerpo inerte y solo como una fuente de nutrientes inorgánicos, similar a un fertilizante químico; sin embargo el compost es un “ente vivo”, y gracias a los microorganismos evoluciona y se transforma; siendo necesario crear nuevos métodos de análisis y evaluación de la calidad de los abonos orgánicos.
- La evaluación del efecto del compost sobre el rendimiento del cultivo de papa variedad Waycha, en las dosis alta (18 Tm compost/ha), dosis media (12 Tm compost/ha), dosis baja (6 Tm compost/ha) y testigo (0Tm compost/ha), presentó rendimientos significativos de 21.428 Kg papa/ha, 19.320 Kg papa/ha, 15.751 Kg papa/ha, y 12.648 Kg papa/ha respectivamente; superando en cuatro veces el rendimiento promedio nacional de papa.
- La evaluación del efecto del compost altoandino en la biorrecuperación de suelos contaminados, establece resultados positivos, evidenciándose la interacción de variados microorganismos, que biosintetizan distintas sustancias intermedias y generan un proceso multienzimático que facilita el rompimiento de las cadenas y anillos de hidrocarburos, lográndose la biorecuperación de los suelos contaminados con hidrocarburos.

RECOMENDACIONES

- La calidad y potencialidad del compost altoandino, está relacionado con la presencia de microorganismos especializados y la biosíntesis de sustancias intermedias, estableciéndose que más del 80% de los microorganismos son desconocidos y por lo tanto las sustancias biosintetizadas también son desconocidas, pero que están presentes en el compost, por lo que es necesario continuar con la investigación del compost altoandino, por su potencialidad para la producción de alimentos, la biotecnología y la biorecuperación de suelos contaminados.
- Es necesario utilizar compost de buena calidad en la producción de alimentos, porque al añadirse al suelo, continua el proceso de descomposición microbial, y las plantas aprovechan los nutrientes disponibles y las sustancias intermedias biosintetizadas.
- Para lograr un compost de buena calidad con abundantes sustancias biosintetizadas, se requiere utilizar materia prima orgánica libre de contaminantes; el inconveniente de utilizar materiales orgánicos con presencia de contaminantes, caso los desechos de la

agroindustria y desechos orgánicos urbanos, es que se genera un compost de mala calidad.

BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDER, Martín (1994) “Introducción a la Microbiología del Suelo”. 2da. Edición, Libros y Editoriales, S.A. Progreso 202, Col. Escandón, México D.F.
- CORTEZ, Julio. (1998) “Comportamiento Agronómico de cinco variedades de soya, con la aplicación de compost en la región de Pahuata Sud Yungas”. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía UMSA. La Paz, Bolivia.
- CHILON, Eduardo. (2010) “Compostaje altoandino, alimento al suelo vivo y cambio climático”, reporte investigación publicado en *CienciAgro* Vol.2, No. 1(2010) 221-227, Junio 2010. www.ibepa.org.
- CHILON, Eduardo. (2011) “Compostaje altoandino, seguridad alimentaria y cambio climático”, reporte investigación publicado en *CienciAgro* Vol.2, No. 2(2011) 261-268, Julio 2011. www.ibepa.org.
- CHILON, Eduardo. (2013) “El Compost altoandino como sustento de la Fertilidad del suelo frente al cambio climático”, reporte investigación publicado en *CienciAgro* (2013) 2(4): 456-468, Agosto 2013. www.ibepa.org.
- CHILON, Eduardo. (2014) “Compost altoandino e interacción con harina de rocas y su efecto en las plantas y la fertilidad de suelos”, reporte investigación publicado en *CienciAgro* (2014) 3(1): 21-38, noviembre 2014. www.ibepa.org.
- CHILON, Eduardo. (2012) “Efecto del abonamiento con compost y harina de rocas sobre la planta y el suelo”, Guía de prácticas, cátedra Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal. Facultad de Agronomía UMSA, La Paz-Bolivia.
- CHILON, Eduardo. (2013) “Cromatografía aplicada a la evaluación del estado de salud del suelo y calidad de abonos orgánicos”, Cátedra Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal. Facultad de Agronomía UMSA, La Paz-Bolivia
- CHILON-MOLINA, Jhoselyne. (2014) “Determinación cromatográfica, de la actividad microbiana del compost altoandino CA-TB2g y de suelos contaminados con hidrocarburos”. Informe de investigación, BIORECSA, La Paz-Bolivia.
- CHILON-MOLINA, Jhoselyne. (2015) “Evaluación de la calidad de tipos de Compost altoandino, mediante la cromatografía adaptada de Pfeifer”. Informe de investigación, BIORECSA, La Paz-Bolivia.

- MARTINEZ-NIETO, P. (2004). “Evaluación de un inóculo microbiano en un proceso de compostaje con *Eichhornia crassipes* y *Eigeria densa*, presentes en la laguna de Fúquene”. Informe final, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Bogotá Colombia.
- MITA, Mónica (2007) “Recuperación de Suelos Empetrolados mediante Bioaumentación bacteriana con Compost y Humus en Patacamaya, Provincia Aroma, Departamento de La Paz”, Tesis de Grado, Carrera de Agronomía, Escuela Militar de Ingeniería E.M.I., La Paz-Bolivia.
- NORIEGA, Yumey. (2001) Evaluación de las propiedades de un suelo chaqueado comparado con otros con incorporación de su biomasa compostada en el cultivo de maíz (*Zea mays*). Tesis de Ingeniero Agrónomo, Carrera de Agronomía, Escuela Militar de Ingeniería E.M.I. La Paz, Bolivia.
- PRIMAVESI, Ana (1984) “Manejo Ecológico del suelo”. Quinta edición, Edit. El Ateneo, Buenos Aires, Argentina.
- PARRA, Nicolasa. (2003) “Efecto de aplicación de fuentes orgánicas sobre las propiedades del suelo y en rendimiento de papa (*Solanum tuberosum*) en Sukakollus”. Memoria de grado Técnico Superior Agropecuario, UAC Tiahuanaco, Universidad Católica Boliviana.
- RAMIREZ, Romer. (2012) “Evaluación de dos tipos de material vegetal, con el uso de bioactivadores sobre la calidad del compost”, Tesis de Ingeniero Agrónomo, Carrera de Agronomía, Universidad Católica Boliviana UAC Tiahuanaco. La Paz, Bolivia.
- RUIZ, Marcelo. (2012) “Evaluación agronómica del rendimiento de tomate, con la aplicación de compost y gallinaza en la comunidad Hinchupalla, provincia Loayza”, Tesis de Ingeniero Agrónomo, Carrera de Agronomía, Universidad Católica Boliviana UAC Tiahuanaco. La Paz, Bolivia.
- SCHAYMAN, Yessica. (2012) “Biorrecuperación de suelos contaminados por aceites dieléctricos con contenidos de PBC (Policloruro de bifenilo) en el campus de Alto Irapavi La Paz” Tesis de Grado, Carrera de Ingeniería Ambiental, Escuela Militar de Ingeniería EMI, La Paz-Bolivia.
- SOTOMAYOR, Carmen. (2000) “Efecto del volumen de compost de pulpa de café en el desarrollo de plántulas, en vivero en la región de Sud Yungas”. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, UMSA, La Paz, Bolivia.
- TORRES, Dulio (2003) “El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos”. Facultad de Agronomía, Postgrado Ciencias del Suelo. Universidad Central de Venezuela, Maracay (Aragua), Venezuela.
- TORO, Félix. (2014) “Efecto de cuatro tipos de activadores biológicos locales en la calidad de compost en la Comunidad de Corpa Municipio Tiahuanaco provincia Ingavi Departamento de La Paz”. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, UMSA, La Paz, Bolivia.

A N E X O 1

**LÁMINAS 1 y 2: Cromatografía del Compost, período frío (abril-junio 2014)
y período cálido (septiembre – diciembre 2014)**

LAMINA 1: Cromatografía de Compost
Período Abril- Junio 2014
(época fría)
Estación Experimental CotaCota-Bolivia

LAMINA 2: Cromatografía de Compost
Período Septiembre- Diciembre 2014
(época cálida)
Estación Experimental CotaCota-Bolivia



Cromatograma T1C1-AY: Compost con activador Yogurt (época fría)



Cromatograma T1C2-AY: Compost con activador Yogurt (época cálida)



Cromatograma T2C1-AHL: Compost con activador Caldo humus (época fría)



Cromatograma T2C2-AHL: Compost con activador Caldo humus (época cálida)



Cromatograma T3C1-ALEV: Compost con activador Levadura (época fría)



Cromatograma T3C2-ALEV: Compost con activador Levadura (época cálida)



Cromatograma T4C1-ACH: Compost con activador fermento local (época fría)



Cromatograma T4C2-ACH: Compost con activador fermento local (época cálida)



Cromatograma T5C1-Al: Compost con activador de Leche (época fría)



Cromatograma T5C2-Al: Compost con activador de Leche (época cálida)



Cromatograma T6C1-T: Compost Testigo sin activador (época fría)



Cromatograma T6C2-T: Compost Testigo sin activador (época cálida)