

Compost altoandino e interacción con harina de rocas y su efecto en las plantas y la fertilidad de suelos

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

¹ Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. Héroes del Acre N° 1850, La Paz Bolivia. E-mail: eduardochilon@gmail.com

² Universidad Mayor de San Andrés, Universitaria Facultad de Medicina; BIORECSA. Héroes del Acre N° 1850, La Paz Bolivia

*Autor de correspondencia

Resumen

Frente al problema y reto que plantea el cambio climático global, que viene afectando seriamente a las bases productivas, particularmente a los suelos agrícolas de las comunidades indígenas y campesinas andinas de Bolivia y de los países sudamericanos, poniendo en riesgo su seguridad alimentaria y sobrevivencia; en este contexto como un aporte a las medidas de adaptación al cambio climático y en el marco de continuidad de la investigación sobre compostaje altoandino y alimento al “suelo vivo”, se realizó la presente experimentación de abonamiento orgánico con compost altoandino (CA-TB2g) y harina de rocas, bajo un enfoque que involucra el uso de recursos locales propios y una investigación científica de los efectos de dosis y mezclas sobre las plantas y suelo, seleccionando los más adecuadas para su validación y posterior transferencia a los usuarios. Los resultados del primer experimento en plántulas de maíz (*Zea mays*), establecen que los tratamientos T8 (harina de rocas dosis media x compost dosis media), T6 (Harina rocas dosis baja) y T3 (compost dosis baja) presentan un mayor efecto sobre el incremento del % materia seca de las plántulas de maíz e intensifican las reacciones químicas en el suelo, generando a corto plazo mayores cambios en el pH del suelo. Estadísticamente se estableció que el abonamiento con compost y harina de rocas, solos o en mezcla tienen un efecto positivo sobre el incremento del % materia seca de las plántulas de maíz, superando al testigo. El segundo experimento en las plántulas de cebada (*Hordeum vulgare*), verificó que los mayores valores de materia se presentan en los tratamientos T6 (compost dosis media x harina rocas dosis baja) con 72,49%, T9 (compost dosis baja x harina rocas dosis baja) con 71,78%, T14 (harina rocas dosis alta) con 69,82% y T15 (harina rocas dosis media) con 67,17%, superando a los otros tratamientos, a su vez todos los tratamientos superaron al testigo (tratamiento 10) que presentó 57,60% materia seca. Los dos experimentos verifican el rol benéfico de los microorganismos del compost y también en mezcla con la harina de rocas, sobre las plantas y la fertilidad de los suelos, a través de la generación sustancias orgánicas que solubilizan los nutrientes de la harina de rocas y del suelo, facilitando su asimilación por las plantas. Por otro lado el compost altoandino fortalecido con harina de rocas y abono orgánico líquido aeróbico, permite la biorrecuperación efectiva de suelos contaminados con hidrocarburos, por su capacidad de generación de varias enzimas responsables de la biorrecuperación de suelos contaminados, el proceso de biorremediación puede ser evaluado y controlado con una técnica cromatográfica adaptada. Estos resultados producto de varios años de investigación, están permitiendo pasar de la etapa de investigación a la de ofertar servicios de biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, a través de la empresa BIORECSA-BOLIVIA.

Palabras claves: Compost, abonamiento con harina de rocas, abonamiento orgánico, microorganismos del suelo, biorremediación de suelos, producción ecológica, reducción de riegos del cambio climático, adaptación al cambio climático.

ABSTRACT

Face the problem and challenge posed by global climate change, which is seriously affecting the productive bases, particularly to agricultural soils of the indigenous and peasant communities Andean Bolivia and South American countries, jeopardizing their food security and survival; in this context as a contribution to measures of adaptation to climate change and in the context of continuity of research on Andean and food composting to "living soil", was carried out this experimentation with organic composting with composting Andean (AC-TB2g) and flour of rocks, under an approach that involves the use of local resources and scientific research of the effects of dose and over the plants and soil mixtures selecting the most suitable for its validation and subsequent transfer to the users. The results of the first experiment in seedlings of maize (*Zea mays*), establish that the treatments (rocks x compost medium dose average dose flour) T8, T6 (flour rocks low dose) and T3 (low dose compost) have a greater effect on the increase of the % dry matter of seedlings of corn and intensify chemical reactions in the soil, creating short-term changes in the pH of the soil. Statistically established the composting with compost and rock flour, alone or in mixture to have a positive effect on the increase in the % dry matter of seedlings of corn, exceeding the witness. The second experiment in barley seedlings (*Hordeum vulgare*), verified that the highest values of matter occur in T6 (compost x flour rocks low dose average dose) treatments with 72,49%, T9 (compost low dose x flour rocks low dose) with 71,78%, (flour rocks high 69,82% dose) T14 and T15 (flour rocks medium dose) with 67,17%, beating the other treatments, at the same time all treatments exceeded the witness (treatment 10) who presented 57,60% dry matter. The two experiments verify the beneficial role of the microorganisms in the compost and mix with the flour of rocks, plants and the fertility of the soil, through the generation organic substances which solubilize the nutrients of flour of rocks and soil, facilitating their assimilation by plants. On the other hand the compost high Andean strengthened with rocks and aerobic liquid organic fertilizer, flour allows the effective biorrecuperación of soils contaminated with hydrocarbons, by its generation capacity of several enzymes responsible for the biorrecuperación of contaminated soil, the bioremediation process can be evaluated and controlled with a chromatographic technique adapted. These results product of several years of research, are allowing research stage to the offer of services of biorrecuperación of soils contaminated with hydrocarbons, through the company BIORECSA-BOLIVIA.

Keywords: Compost, composting with rock flour, organic composting, soil microorganisms, bioremediation of soils, organic production, reduce drisks of climate change, adaptation to climate change.

INTRODUCCION

Dando continuidad al estudio sobre el compostaje altoandino y alimento al "suelo vivo", como alternativa en la conservación y recuperación de la fertilidad del suelo frente al cambio climático, y a la biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos; el presente estudio que corresponde a la cuarta fase, propone estudiar el efecto del compost altoandino, la harina de rocas y la mezcla de esto dos abonos sobre el crecimiento y desarrollo de plantas y sobre las propiedades del suelo, tomando como fuentes de investigación los aportes de los métodos convencionales de compostaje y del uso de la harina de rocas y aquellos de la tradición milenaria de nuestros pueblos altoandinos que desde las épocas más remotas revelan su carácter esencialmente agrícola y pecuario, con su constante preocupación por el cuidado y alimento del suelo, frente a los riegos del cambio climático y la contaminación ambiental.

El abonamiento con harina de rocas tiene sus antecedentes históricos en nuestras culturas ancestrales amerindias, que lo habrían utilizado desde hace más de 500 años; en Europa Hensel, J. (1984) dio a conocer los efectos benéficos sobre el suelo y las plantas del abonamiento con polvo de rocas; recientemente Waver, D. (2011) en su libro "La resurrección de la civilización", explica la importancia climática de la reposición de los nutrientes minerales, considerando fuentes naturales. El compostaje altoandino y sus variantes en mezcla de compost con la harina de rocas, ofrece abonos orgánicos fortalecidos que favorecen la nutrición y el crecimiento y desarrollo de las plantas, y el mejoramiento de la fertilidad de los suelos

El compostaje es una práctica, que se realiza desde tiempos remotos en muchos lugares del mundo, en el caso de la zona altoandina de Bolivia, se presentan cuestiones que no están

definitivamente resueltas que tienen que ver con el excesivo tiempo de obtención del compost y con su calidad. Por otro lado también se presentan cuestiones hasta ahora no resueltas por científicos e investigadores del mundo moderno; por ejemplo el texto *Sciences and Engineering of Composting* (1992), consigna la preocupación del profesor Stentiford (Universidad de Leeds) quien manifiesta que "... en relación con los sistemas de compostaje, es que después de 60 años de investigación, todavía somos incapaces de especificar las condiciones de operación de la planta que conduzcan al producto final deseado...".

La investigación sobre el compostaje altoandino, y su efecto sobre los cultivos, sobre las propiedades del suelo, y sobre la biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, realizada durante varios años en Bolivia, tiene ya las respuestas o gran parte de ellas, a las cuestiones planteadas por la comunidad de productores y técnicos de Bolivia y a aquellas cuestiones no resueltas por científicos e investigadores del mundo; los resultados se están sistematizando como parte de un investigación de doctorado y que se presentará oportunamente a la comunidad científica.

DEFINICIONES Y CONCEPTO

El desarrollo y continuidad del proyecto de investigación-acción sobre el compostaje altoandino y sus variantes incluyendo la harina de rocas, involucrando a los productores de las comunidades indígenas y campesinas, y a los recursos humanos en formación de nuestras Universidades de Bolivia, han posibilitado desarrollar y ampliar las definiciones relacionadas con el compostaje andino. (Chilon, E. 1997, 2010, 2011, 2013; Cortez, J. 1998; Sotomayor, C. 2000; Noriega, Y. 2001; Parra, N. 2003, Ramírez, R. 20012; Ruíz, M. 21012; Chilon, J. 2014; Toro, F. 2014.)

Alimento orgánico del suelo: Se define como el suministro de abonos orgánicos de alta calidad previamente elaborados y tratados, en cantidades requeridas según el tipo de suelo y cultivo, practicándose desde épocas precolombinas, con un efecto benéfico en la mejora, formación y estabilización de los agregados del suelo, en el incremento de la capacidad retentiva de humedad, en el suministro de energía y nutrientes a los microorganismos, en la producción sostenible de alimentos de calidad y en la protección del suelo

contra la erosión y los efectos del cambio climático global.

El Compost: Es un abono orgánico pre-humificado, resultante de la descomposición y transformación biológica aeróbica, de los residuos orgánicos de origen vegetal (rastrajos 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 rastrajos de cosecha, paja de cereales, estiércol de bovinos, ovinos y camélidos, ceniza de fogón, y la aplicación de activadores biológicos locales como fermentos de quinua, tarwi y maíz, yogurt, leche y levadura, con el manejo adecuado de la humedad, aireación, temperatura y el pH, con la obtención del compost final en un tiempo de 1.5 a 2 meses.

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 1º generación.

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

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

CAF-B3g significa Compost Altoandino Enriquecido-Bolivia 3° generación.

Abono orgánico fortificado (BIOAF): Es una variante del compost CAF-B3g, que se obtiene enriqueciéndolo con abonos orgánicos líquidos aeróbicos; los microorganismos presentes en el BIOAF compost generan enzimas y compuestos orgánicos poderosos, con alto potencial para la biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos y la recuperación y conservación de la fertilidad de suelos agrícolas.

Activadores biológicos locales (ABL): Sustancias orgánicas obtenidas de la fermentación o chicha 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.

Activadores biológicos convencionales (ABC): Sustancias resultantes del procesamiento de la leche caso yogurt, suero de leche, y también del aislamiento de microorganismos de levadura, que coadyuvan al proceso de compostación.

Abono orgánico líquido aeróbico (BIOAL): Es un abono orgánico líquido obtenido por métodos aeróbicos, a partir de compost y humus de lombriz en un medio líquido con flujo de oxigenación, que al procesarse genera hormonas, vitaminas y ácidos orgánicos húmicos y fúlvicos, que estimulan y refuerzan la actividad biológica del compost; también se puede utilizar directamente como abono foliar o aplicarse al suelo junto con el riego por aspersión.

Abono natural regulador del pH (ANPRES): Es un producto compuesto por materiales naturales semi-sólidos, que permiten regular el pH del compost o de los suelos contaminados y en tratamiento de biorrecuperación.

Fases térmicas del compostaje altoandino: El proceso del compostaje altoandino presenta cuatro fases o momentos de diferente duración y comportamiento termodinámico, 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 del compostaje (Chilon, E. 2010; Ramírez, R. 2012; Toro, F. 2014)

Composición del compost: El compost altoandino está compuesto por una amplia

variedad de microorganismos como bacterias, hongos, actinomycetos, algas, protozoos y otros organismos que generan enzimas, vitaminas, hormonas, sustancias mucilaginosas, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos que favorecen la formación de agregados del suelo y el crecimiento y desarrollo de las plantas, y también una buena provisión de nutrientes disponibles para las plantas como nitrógeno, fósforo, potasio, y quelatos de Hierro, Cobre, Zinc, Molibdeno, boro y otros nutrientes.

Microorganismos del compost: Un gramo de compost contiene más de 200 millones de microorganismos entre bacterias, hongos, algas verde-azules, actinomycetos, protozoarios, amebas y otros, siendo responsables de los procesos de humificación, de mineralización, de los ciclos de los nutrientes, y la síntesis de hormonas, vitaminas, sustancias mucilaginosas, ácidos orgánicos que favorecen el crecimiento y desarrollo de los cultivos y la fertilidad de los suelos agrícolas.

Suelo vivo: 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, por su fragilidad merece respeto. El suelo que se origina de la roca “madre” que promueve el proceso geológico por acción de los agentes climáticos, y gracias a los microorganismos adquiere “vida” y llega a ser un cuerpo “vivo”. Por lo tanto el fundamento para recuperar los suelos productivos degradados y contaminados, consiste en regenerar la vida biológica del suelo. (Chilon, E. 1997)

Alimento al suelo vivo: Alimentar al “suelo vivo” es aplicar abonos orgánicos pre-humificados, elaborados cuidadosamente, caso del compost, en dosis adecuadas y al fondo del surco al momento de la siembra. El respeto al suelo vivo se manifiesta en alimentarlo con abonos orgánicos previamente elaborados y bien “cocidos” o preparados y no con estiércol fresco, estiércol seco o materiales contaminados.

Harina de rocas: La harina de rocas es un abono natural proveniente de las rocas, que convertidas en polvo y aplicado al suelo agrícola posibilita la reposición de nutrientes y la mejora de su actividad microbiológica. La harina de rocas, se elabora mediante un procedimiento que preserva las energías inherentes del polvo o harina natural nutritiva, a partir de la molienda de rocas ígneas graníticas, basaltos, andesitas, rocas sedimentarias, fosforita, caliza y rocas

metamórficas, pizarra y esquistos. (Chilon, E. 2006)

Alimento al suelo con harina de rocas: Alimentar al “suelo vivo” con harina de rocas es abonarlo mediante su preparación y dosis técnicas de acuerdo al tipo de cultivo y características del suelo, se aplica al momento de la siembra al fondo del surco o por golpes; cuando la harina de rocas se aplica junto al compost, se obtienen mejores resultados porque se posibilita la reposición de nutrientes del suelo y por su variedad de componentes nutritivos, hacen surgir una amplia gama de diferentes microorganismos que vigorizan la “vida del suelo” y favorecen el crecimiento y desarrollo de los cultivos. (Chilon, E. 2006)

Biorremediación de suelos contaminados, utilizando compost altoandino y sus variantes:¹ Es el proceso biológico de recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, con la aplicación del compost altoandino y sus variantes que favorece la intervención y la acción de los microorganismos y enzimas presentes en el compost, con un método técnico-científico patentado, 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.

Cromatografía de suelos y de abonos orgánicos: Es un método adaptado de la técnica de Pfeifer, que posibilita diagnosticar el estado de descomposición de la materia orgánica, y la actividad de los microorganismos del suelo. Así mismo la cromatografía facilita el seguimiento y control de la biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos.

UBICACIÓN DE LA ZONA EXPERIMENTAL

La presente investigación, se realizó en los ambientes de la materia de Fertilidad de suelos, en el Centro Experimental de Cota Cota, de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, Zona Cota Cota del Municipio de

La Paz, Provincia Murillo, Dpto. La Paz-Bolivia; El Centro Experimental está ubicado a 3445 msnm, a 16°32'44" Latitud Sur y 68°03'44" Longitud Oeste, que en condiciones normales presenta temperaturas promedio de 12°C y mínimas de -0.6C y una precipitación promedio de 488.53 mm/año. En la investigación participaron los estudiantes de la materia de Fertilidad de Suelos de la Facultad de Agronomía UMSA.

METODOLOGIA

La investigación se realizó con la implementación de dos experimentos:

- El 1° experimento se efectivizó durante los meses de marzo a julio del año 2013, con el abonamiento de compost altoandino y harina de rocas en plántulas de maíz (*Zea mays*) en macetas, con un diseño estadístico completamente al azar, con 10 tratamientos y 4 repeticiones, para un total de 40 unidades experimentales. Evaluándose el efecto del abonamiento y sus interacciones en las plántulas de maíz, sobre el peso verde, peso seco, altura de planta y el % de materia seca; en el suelo se determinó el efecto sobre la reacción o pH, conductividad eléctrica y la densidad aparente. En el cuadro 1 se presenta las características de los tratamientos.
- El 2° experimento se realizó durante los meses de septiembre 2013 a febrero 2014, con el abonamiento de compost altoandino y harina de rocas en plántulas de cebada (*Hordeum vulgare*) en macetas, aplicando el diseño estadístico completamente al azar, con 16 tratamientos y 6 repeticiones, con un total de 96 unidades experimentales. En las plántulas de cebada se evaluó el efecto del abonamiento y sus interacciones sobre el peso verde, peso seco, altura de planta y el % de materia seca; en el suelo se determinó el efecto sobre la reacción o pH, la conductividad eléctrica y la densidad aparente. En el cuadro 2 se presenta las características de los tratamientos del 2° experimento.

¹ Los estudios realizados durante varios años, del efecto del compost CA-TB2g, CAF-B3g y sus variantes caso del BIOAF, en la biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, ha permitido lograr la dosis, proporciones y la metodología adecuada; lo que ha impulsado pasar de la investigación a la etapa de ofertar servicios de biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, a través de la empresa BIORECSA-BOLIVIA (biorecsa.emp@gmail.com).

Cuadro 1: Tratamientos experimento de abonamiento en plántulas de maíz

Tratamientos	Codificación	Descripción
T ₁	CDA	Compost dosis alta
T ₂	CDM	Compost dosis media
T ₃	CDB	Compost dosis baja
T ₄	HRA	Harina de rocas dosis alta
T ₅	HRM	Harina de rocas dosis media
T ₆	HRB	Harina de rocas dosis baja
T ₇	CDA x HRM	Compost dosis alta x Harina de rocas dosis media
T ₈	CDM x HRM	Compost dosis media x Harina de rocas dosis media
T ₉	CDB x HRB	Compost dosis baja x Harina de rocas dosis media
T ₁₀	TE	Testigo

Cuadro 2: Tratamientos experimento de abonamiento en plántulas de cebada

Tratamientos	Codificación	Descripción
T ₁	CDA x HRA	Compost dosis alta x Harina rocas dosis alta
T ₂	CDA x HRM	Compost dosis alta x Harina rocas dosis media
T ₃	CDA x HRB	Compost dosis alta x Harina rocas dosis baja
T ₄	CDM x HRA	Compost dosis media x Harina rocas dosis alta
T ₅	CDM x HRM	Compost dosis media x Harina rocas dosis media
T ₆	CDM x HRB	Compost dosis media x Harina rocas dosis baja
T ₇	CDB x HRA	Compost dosis baja x Harina rocas dosis alta
T ₈	CDB x HRM	Compost dosis baja x Harina rocas dosis media
T ₉	CDB x HRB	Compost dosis baja x Harina rocas dosis baja
T ₁₀	TEE	Testigo
T ₁₁	CDA	Compost dosis alta
T ₁₂	CDM	Compost dosis media
T ₁₃	CDB	Compost dosis baja
T ₁₄	HRA	Harina rocas dosis alta
T ₁₅	HRM	Harina rocas dosis media
T ₁₆	HRB	Harina rocas dosis baja

RESULTADOS

Resultados del 1° experimento abonamiento compost y harina de rocas en plántulas de maíz (período marzo – julio 2013)

En el cuadro 3, se presenta los valores promedio del efecto del abonamiento sobre las plántulas de maíz (*Zea mays*), observándose que el tratamientos T8 (compost dosis media x harina rocas dosis media) presenta el mayor valor de materia seca con 86,22%, superando a los otros tratamientos, a su vez todos ellos superan al testigo que presenta 81,69% materia seca (gráfico 1). Comparando los tratamientos de compost y harina de rocas, se verifica que el tratamiento T6 (harina rocas dosis baja) con 86,14% y el T3 (compost dosis baja) con 86,04% materia seca superan a los otros tratamientos. Estos resultados establecen que los tratamientos T8 (compost dosis media x harina de rocas dosis media), T6 (Harina rocas dosis baja) y T3 (compost dosis baja) presentan un mejor efecto sobre el incremento del % materia seca de las plántulas de maíz.

Por otro lado, el tratamiento T9 (compost dosis baja x harina rocas dosis media) presenta el mayor valor

en las variables peso fresco/planta, peso seco/planta y altura de planta, con 54,9 gr peso verde/planta, 8,02 gr peso seco/planta, y 75,50 cm altura/planta respectivamente, lo que indica un mejor efecto del tratamiento T9 (compost dosis baja x harina rocas dosis media) sobre el peso verde, peso seco y altura de planta, explicado por la interacción de la mezcla de compost y harina de rocas, que posibilitó la acción enzimática de los microorganismos presentes en el compost en la solubilización de los nutrientes de la harina de rocas.

Sobre los efectos en el suelo, se registró un incremento del pH en todos los tratamientos en comparación al testigo (pH: 7,5 calificado como ligeramente básico), siendo mayor en los tratamientos con compost, guardando relación con las características químicas básicas del abono orgánico; el menor incremento del pH ocurrió en los tratamientos con harina de rocas, posiblemente por el corto tiempo de reacción en el suelo, lo que indica que estos resultados reflejan un efecto a corto plazo. Sobre la conductividad eléctrica en todos los tratamientos se presenta un ligero incremento, pero sin llegar a un nivel de riesgo, manteniéndose la condición de ligera salinidad, lo que indica que tanto el compost como la harina de rocas no generan riesgos de salinidad.

Cuadro 3: Promedios del efecto de abonamiento compost y harina de rocas sobre plántulas de maíz (*Zea mays*) y sobre el suelo

TRATAMIENTOS	PROMEDIO EFECTOS ABONAMIENTO SOBRE PLANTULAS DE MAIZ (<i>Zea mays</i>)				PROMEDIO EFECTOS SOBRE EL SUELO	
	Peso verde gr/planta	Peso seco gr/planta	Altura planta (cm)	% Materia seca	pH	C. Eléctrica dSm
T1 CDA (Compost dosis alta)	25,45	3,60	61,00	85,76	8,54	444,1
T2 CDM (Compost dosis media)	24,49	3,46	62,25	85,66	8,39	437,6
T3 CDB (Compost dosis baja)	46,18	6,34	70,75	86,04	8,24	392,8
T4 HRA (Harina rocas dosis alta)	24,72	4,41	72,50	85,25	7,61	223,0
T5 HRM (Harina rocas dosis media)	40,56	5,49	73,25	86,07	7,64	212,8
T6 HRB (Harina rocas dosis baja)	28,64	3,92	68,50	86,14	7,75	285,6
T7 CDA x HRM (Compost dosis alta x Harina rocas dosis media)	25,20	3,60	67,00	85,67	8,41	309,8
T8 CDM x HRM (Compost dosis media x Harina rocas dosis media)	32,18	4,43	62,00	86,22	7,94	286,8
T9 CDB x HRM (Compost dosis baja x Harina rocas dosis media)	54,90	8,02	75,50	85,40	7,99	233,7
TE (Testigo)	37,56	6,75	59,00	81,69	7,50	210,2

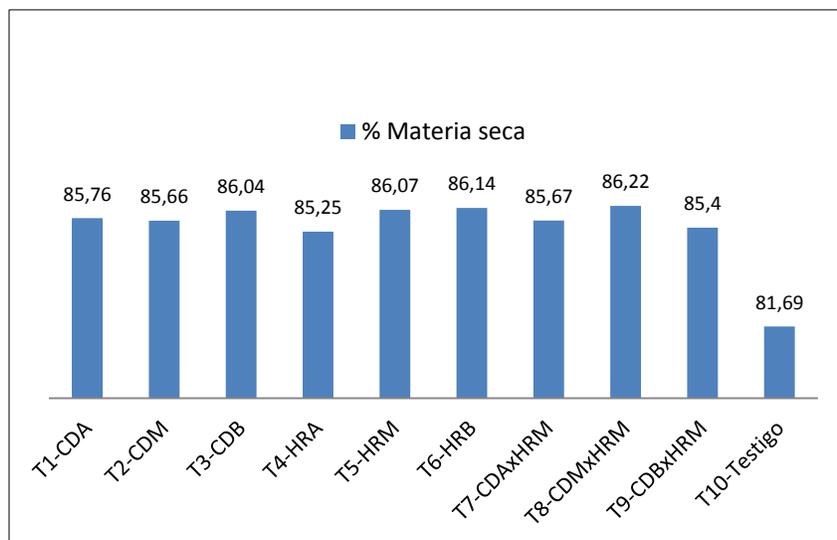


Gráfico 1. Efecto de abonamiento sobre % Materia seca de plántulas de maíz

En este experimento se comprobó el efecto benéfico del compost y de la mezcla compost-harina de rocas sobre las propiedades físicas del suelo, pero en menor medida de la harina de rocas, sin embargo ambos tratamientos superaron al testigo. El efecto más notorio es en la densidad aparente y la porosidad, evidenciándose que a mayor cantidad de compost aplicado mayor es el efecto benéfico sobre el suelo.

En el cuadro 4, se muestra el análisis de varianza de los efectos del abonamiento con compost y la harina de rocas, sobre las plántulas de maíz y sobre él

suelo, observándose que las variables % de materia seca de plántulas de maíz y pH del suelo, presentan diferencias estadísticas altamente significativas; las variables peso verde, peso seco y altura de plántulas de maíz, y la variable conductividad eléctrica en el suelo no presentan diferencias significativas. En todos los casos los coeficientes de variabilidad están en los rangos aceptables. Estos resultados, establece que a corto plazo hay un efecto diferenciado del compost, la harina de rocas y la

mezcla compost y harina de rocas, sobre las plántulas de maíz y sobre el suelo.

En el cuadro 5, se presenta la prueba múltiple de Duncan para % materia seca de las plántulas de maíz, observándose que todos los tratamientos de abonamiento orgánico y sus interacciones son estadísticamente superiores al testigo. De acuerdo a los promedios, destacan los tratamientos T8 (Compost dosis media x Harina de rocas dosis media) con 86,22% materia seca, T6 (Harina de rocas dosis baja) con 86.14%, T5 (Harina de rocas dosis media) con 86.07% y el Tratamiento T3 (compost dosis baja) con 86.04% materia seca, superando a los otros tratamientos, a su vez todos ellos son superiores al testigo que presentó 81.69% de materia seca. Estableciéndose que el abonamiento con compost y la harina de rocas, solos o en mezcla tienen un efecto positivo sobre el incremento del % materia seca de las plántulas de maíz.

Cuadro 4. ANVA tratamientos cuadrados medios y significancia de efectos sobre plántulas de maíz (*Zea mays*) y sobre el suelo

Fuentes de Variación	Grados Libertad	Efectos sobre plantas de maíz				Efectos sobre el suelo	
		Peso verde	Peso seco	Altura planta	% Mat. Seca	pH	Cond. Electr.
Tratamientos	9	0,3198	0,4532	135,6138	7,1603 **	0,5683	0,2267 NS
		NS	NS	NS		**	
Error	30	0,2545	0,2713	158,5083	1,2467	0,0699	0,2593
Total	39						
C.V.		14,81	24,10	18,74	1,30	3,30	9,13

(NS): No significativo

(*): Significativo

(**): Altamente significativo

Cuadro 5. Prueba de DUNCAN % Materia Seca plántulas de maíz

TRATAMIENTOS	PROMEDIOS	DUNCAN (0.05)
T ₈ (CDM x HRM)	86,22	A
T ₆ (HRB)	86,14	A
T ₅ (HRM)	86,07	A
T ₃ (CDB)	86,04	A
T ₁ (CDA)	85,76	A
T ₇ (CDA x HRM)	85,67	A
T ₂ (CDM)	85,66	A
T ₉ (CDB x HRM)	85,40	A
T ₄ (HRA)	85,25	A
TE (Testigo)	81,69	B

La prueba múltiple de Duncan para el pH del suelo, se presenta en el cuadro 6, verificándose que el testigo (ligeramente alcalino) estadísticamente supera a los otros tratamientos que presentan una tendencia a incrementar el valor del pH. Luego se observan tres grupos estadísticamente similares entre sí, el primer grupo conformado por los tratamientos de abonamiento con harina de rocas T₄ (harina rocas dosis alta) con pH 7.61, T₅ (harina rocas dosis media) con pH 7.64 y T₆ (harina rocas dosis baja) con pH 7.75, presentan una ligera variación del pH del suelo; el segundo grupo conformado por los tratamientos T₈ (compost dosis media x harina rocas dosis media) con pH 7.94 y tratamiento T₉ (compost dosis baja x harina de

rocas dosis media) con pH 7.99, presentan un mediano incremento del pH pasando al rango moderadamente alcalino, lo que verifica una moderada reacción posiblemente por acción biológica de la materia orgánica; los tratamientos del tercer grupo conformado por los tratamientos T₃ (compost dosis baja) con pH 8.24, tratamiento T₂ (compost dosis media) con pH 8.39, tratamiento T₇ (compost dosis baja x harina rocas dosis media) con pH 8.41 que se mantienen en el rango de moderadamente alcalino y el tratamiento T₁ (compost dosis alta) con pH 8.54 que está en el rango fuertemente alcalino, evidenciándose que el compost solo o en mezcla intensifican las reacciones químicas en el suelo.

Cuadro 6. Prueba de DUNCAN sobre pH del suelo

TRATAMIENTOS	PROMEDIOS	DUNCAN (0.05)
TE (Testigo)	7,50	A
T4 (HRA)	7,61	A B
T5 (HRM)	7,64	A B
T6 (HRB)	7,75	A B
T8 (CDM x HRM)	7,94	B C
T9 (CDB x HRM)	7,99	B C
T3 (CDB)	8,24	C D
T2 (CDM)	8,39	D
T7 (CDA x HRM)	8,41	D
T1 (CDA)	8,54	D

Resultados del 2° experimento abonamiento compost y harina de rocas en plántulas de cebada (septiembre 2103-febrero 2014)

El segundo experimento se realizó durante los meses de septiembre 2013 a febrero 2014, evaluándose el efecto del abonamiento con compost y harina de rocas, sobre plántulas de cebada (*Horedum vulgare*) y sobre el suelo; en el cuadro 7 se presenta los valores promedio del efecto del abonamiento sobre las plántulas de cebada, observándose que los mayores valores de materia seca ocurren en los tratamientos T6 (compost dosis media x harina rocas dosis baja) con 72,49%, T9 (compost dosis baja x harina rocas dosis baja) con 71,78%, T14 (harina rocas dosis alta) con 69,82% y T15 (harina rocas dosis media) con 67,17%, superando a los otros tratamientos, a su vez todos los tratamientos superan al testigo (tratamiento 10) que presenta 57,60% materia seca. Estos resultados evidencian que la mezcla de compost y harina de rocas tiene un efecto benéfico sobre la materia seca de las plántulas de cebada, tal como lo demuestran los tratamientos T6 y T9, explicado por la actividad enzimática de los microorganismos del compost que solubilizan los nutrientes de la harina de rocas, facilitando su asimilación por las plántulas de cebada.

Comparando los tratamientos compost y harina de rocas se observa que los mayores valores ocurren en los tratamientos T14 (harina rocas dosis alta) con 69,82%, y T11 (compost dosis alta) con 66,30% materia seca, lo que supondría que a corto plazo ocurre una mayor asimilación de nutrientes por las

plántulas de cebada a partir de la harina de rocas, en tanto que el compost requeriría un mayor tiempo para una mayor actividad y descomposición por los microorganismos.

Por otro lado los mayores valores en altura de planta, se presenta en los tratamientos T3 (compost dosis baja) con 91,83 cm, T14 (harina rocas dosis alta) con 88,16 cm, T5 (compost dosis media x harina rocas dosis media) con 87,83 cm y T12 (compost dosis media) con 87,00 cm, superando a los otros tratamientos, a su vez todos los tratamientos superan al testigo (tratamiento 10) que solo presenta 64,00 cm de altura de plántulas de cebada. En las variables peso fresco/planta y peso seco/planta, el tratamiento T15 (harina rocas dosis media) presenta el mayor valor con 9,79 gr peso verde/plántula, y 3,22 gr peso seco/plántula respectivamente.

Sobre el efecto de los tratamientos en el suelo, ocurre un incremento del pH en todos los tratamientos en comparación al testigo (pH: 7,55 ligeramente básico), intensificándose en los tratamientos con compost, en razón de sus características químicas básicas; el menor incremento del pH ocurrió en los tratamientos con harina de rocas, lo que se debería al corto tiempo de reacción en el suelo. Respecto a la conductividad eléctrica en la mayor parte de los tratamientos ocurre un ligero incremento, pero sin llegar a un nivel de riesgo, y solo en el tratamiento T15 (harina rocas dosis alta) el valor disminuyó en comparación con el testigo, manteniéndose la condición de salinidad ligera, lo que indica que el compost y la harina de rocas aplicados al suelo, no generan salinidad.

Cuadro 7. Promedios de efecto del abonamiento con compost y harina de rocas sobre plántulas de cebada (*Hordeum vulgare*) y sobre el suelo

TRATAMIENTOS	Promedio efectos abonamiento sobre plántulas de maíz (<i>Zea mays</i>)				Promedios efectos sobre el suelo	
	Peso verde gr/plant a	Peso seco gr/planta	Altura planta (cm)	% Materia seca	pH	C. Eléctrica dSm
T1 CDA x HRA (Compost dosis alta x harina rocas dosis alta)	6,272	2,321	76,333	63,498	7,93	1342,7
T2 CDA x HRM (Compost dosis alta x harina rocas dosis media)	6,170	2,281	86,500	63,383	7,97	1160,0
T3 CDA x HRB (Compost dosis alta x harina rocas dosis baja)	6,628	2,421	85,000	62,792	7,96	1218,5
T4 CDM x HRA (Compost dosis media x harina rocas dosis alta)	5,250	1,860	68,500	65,712	7,94	1387,2
T5 CDM x HRM (Compost dosis media x harina rocas dosis media)	5,338	1,995	87,833	64,072	7,78	1395,7
T6 CDM x HRB (Compost dosis media x harina rocas dosis baja)	5,168	1,421	78,167	72,487	7,89	1097,3
T7 CDB x HRA (Compost dosis baja x harina rocas dosis alta)	5,020	1,726	70,000	66,150	7,61	1444,3
T8 CDB x HRM (Compost dosis baja x harina rocas dosis media)	5,843	2,073	86,167	65,958	7,59	1269,8
T9 CDB x HRB (Compost dosis baja x harina rocas dosis baja)	5,938	1,663	67,167	71,775	7,78	1175,5
T10 TE (Testigo)	5,070	1,888	64,000	57,602	7,55	1260,8
T11 CDA (Compost dosis alta)	6,885	2,140	83,167	66,298	8,40	989,5
T12 CDM (Compost dosis media)	9,130	2,951	87,000	65,928	7,92	1208,0
T13 CDB (Compost dosis baja)	9,058	2,955	91,833	64,635	7,88	1119,7
T14 HRA (Harina rocas dosis alta)	9,428	2,735	88,167	69,815	7,76	918,2
T15 HRM (Harina rocas dosis media)	9,797	3,218	86,000	67,172	7,73	1124,3
T16 HRB (Harina rocas dosis baja)	7,468	2,511	74,000	65,380	7,71	1129,8

Los resultados evidencian que el compost y la mezcla de compost-harina de rocas tienen un efecto

benéfico sobre las propiedades físicas del suelo, superando a la harina de rocas y al testigo. El efecto

más notorio es en la densidad aparente y la porosidad, evidenciándose que a mayor cantidad de compost aplicado mayor es el efecto benéfico sobre el suelo, estos resultados coinciden y corroboran lo obtenido en otros estudios realizados en altiplano, valles y yungas de Bolivia (Noriega, Y. 2001; Parra, N. 2003; Ruíz, N. 2012), en el presente experimento esta tendencia y efecto positivo, también se observó en los tratamientos de mezcla compost-harina de rocas.

En el cuadro 8, se muestra el análisis de varianza de los efectos del abonamiento con compost y la harina de rocas, sobre las plántulas de cebada y sobre el suelo, observándose que las variables altura de plántulas de cebada y pH del suelo, presentan diferencias estadísticas altamente significativas, la variable peso verde presenta diferencias significativas; las variables peso seco, % materia seca de las plántulas de cebada, y la variable conductividad eléctrica en el suelo no presentan diferencias significativas. En todos los casos los coeficientes de variabilidad están en los rangos aceptables. Estos resultados, evidencia que a corto plazo ocurre un efecto diferenciado de los tratamientos de compost, harina de rocas y la mezcla compost y harina de rocas, sobre las plántulas y sobre el suelo.

En el cuadro 9, se presenta la prueba múltiple de Duncan para la altura plántulas de cebada, observándose que el tratamiento T13 (Compost dosis baja) es superior estadísticamente a los otros tratamientos, estos a su vez son superiores al testigo; luego se observan seis grupos estadísticamente similares entre sí, el primer grupo conformado por los tratamientos T14 (harina rocas dosis alta) y T5 (harina rocas dosis media); el segundo grupo constituido por los tratamientos T12 (compost dosis media), T2 (compost dosis alta x harina rocas dosis media), T8 (compost dosis baja x harina rocas dosis media) y T15 (harina rocas dosis media); el tercer grupo formado por los tratamientos T3 (compost dosis alta x harina rocas dosis baja) y T11 (compost dosis alta); el cuarto grupo conformado por los tratamientos T6 (harina rocas dosis baja), T1 (compost dosis alta x harina rocas dosis alta), T16 (harina rocas dosis baja) y T7 (compost dosis baja x harina rocas dosis alta); el quinto grupo conformado por los tratamientos T4 (harina rocas dosis alta) y T9 (compost dosis baja x harina rocas dosis baja); el último grupo que corresponde al testigo y que presenta el menor valor de altura de plántulas de cebada.

Cuadro 8. ANVA tratamientos cuadrados medios y significancia efectos sobre plantas de cebada (*Hordeumvulgaris*) y sobre el suelo

Fuentes de Variación	Grados Libertad	Efectos sobre plantas de cebada					Efectos sobre el Suelo	
		Peso verde	Peso seco	Altura planta	% seca	Materia	pH	Cond.Elect
Tratamientos	15	0,5987 *	0,1901 NS	469,65 **	76,3016 NS		0,2437 **	28,1293NS
Error	80	0,3466	0,1091	187,102	52,1815		0,0979	29,9093
Total	95							
C.V.		23,27	22,58	17,10	10,97		3,99	15,96

(NS): No significativo (*): Significativo (**): Altamente significativo

En el cuadro 10, se presenta la prueba múltiple de Duncan para el pH del suelo, observándose que el testigo (pH: 7,55 ligeramente alcalino) y otros 14 tratamientos de compost, harina de rocas y sus interacciones son estadísticamente superiores al tratamiento T11 (Compost dosis alta) que presenta un pH: 8,40 calificado como moderadamente alcalino, estableciéndose que el compost en sus dosis media y alta, sólo o en mezcla con la harina de rocas incrementa el valor del pH del suelo, hasta un rango moderadamente alcalino, que en el presente caso no afectó a las plántulas de cebada.

En el cuadro 11, se muestra el análisis de varianza de los factoriales, observándose que los factores compost, harina de rocas, interacción compost x harina de rocas, y las variables de evaluación de las plántulas de cebada, peso verde, peso seco y materia seca, no existen diferencias significativas, lo mismo ocurre con la variable altura de planta, excepto para el abonamiento con compost que presenta significación estadística. Las variables del suelo pH y conductividad eléctrica, tampoco presentan significación estadística, excepto para el factor de abonamiento con harina de rocas, donde el pH del suelo es altamente significativa, lo que evidencia un marcado efecto de los tratamientos sobre la reacción del suelo. Los coeficientes de variación para peso verde, peso seco, altura de planta, % materia seca, conductividad eléctrica del suelo y pH son 19.01, 22.46, 16.94, 9.49, 3.46 y 17.15% respectivamente, lo que indica que los datos obtenidos son confiables.

En el cuadro 12 se presenta la prueba de Duncan para la variable altura de planta y el factor abonamiento con compost, observándose que el tratamiento T12 (compost dosis media) con 86.83 cm, supera a los tratamientos T13 (Compost dosis baja) que presenta 76.77 cm y al tratamiento T11 (compost dosis alta) que tiene 71.61 cm, siendo estadísticamente iguales. Observándose que a mayor dosis de abonamiento con compost se tiene una menor altura de plántulas, obteniéndose una mejor respuesta con la dosis media de compost.

En el cuadro 13 se presenta la prueba de Duncan para la variable pH del suelo y el factor abonamiento con harina de rocas, observándose que

el tratamiento T16 (harina rocas dosis baja) que presenta un pH: 7,66 calificado como ligeramente alcalino, supera a los tratamientos T15 (harina de rocas dosis media) con un pH: 7,85 y al tratamiento T14 (harina de rocas dosis alta) que tiene un pH: 7,95, ambos tratamientos son estadísticamente iguales y son calificados como moderadamente alcalinos.

Cuadro 9: Prueba de DUNCAN Altura de plantas de cebada

TRATAMIENTOS	PROMEDIOS	DUNCAN (0.05)
T13 CDB	91,83	A
T14 HRA	88,167	B A
T5 HRM	87,83	B A
T12 CDM	87,00	B A C
T2 CDA x HRM	86,50	B A C
T8 CDB x HRM	86,16	B A C
T15 HRM	86,00	B A C
T3 CDA x HRB	85,00	B D A C
T11 CDA	83,16	B D A C
T6 CDM x HRB	78,16	E B D A C
T1 CDA x HRA	76,33	E B D A C
T16 HRB	74,00	E B D A C
T7 CDB x HRA	70,00	E B D C
T4 HRA	68,50	E D C
T9 CDB x HRB	67,16	E D
T10 (Testigo)	64,00	E

Cuadro 10: Prueba de DUNCAN pH del suelo

TRATAMIENTOS	PROMEDIOS	DUNCAN (0.05)
T10 (Testigo)	7,55	A
T8 CDB x HRM	7,59	A
T7 CDB x HRA	7,61	A
T16 HRB	7,71	A
T15 HRM	7,73	A
T14 HRA	7,76	A
T5 CDM x HRM	7,78	A
T9 CDB x HRB	7,78	A
T13 CDB	7,88	A
T6 CDM x HRB	7,89	A
T12 CDM	7,92	A
T1 CDA x HRA	7,93	A
T4 CDM x HRA	7,94	A
T3 CDA x HRB	7,96	A
T2 CDA x HRM	7,97	A
T11 CDA	8,40	B

Cuadro 11: ANVA factoriales cuadrados medios y significancia efectos sobre plantas de cebada (*Hordeum vulgare*) y sobre el suelo

Fuentes de Variación	Grados Libertad	Efectos sobre plantas de cebada								Efectos sobre el suelo			
		Peso verde		Peso seco		Altura planta		% Materia seca		pH	Cond.Elect		
Abonamiento Harina rocas	2	0,310	NS	0,289	NS	300,90	NS	121,06	NS	0,4041	**	3,4351	NS
Abonamiento compost	2	0,030	NS	0,032	NS	1078,57	*	108,85	NS	0,0423	NS	62,5745	NS
Compost x Harina rocas	4	0,023	NS	0,032	NS	146,60	NS	38,45	NS	0,032	NS	14,5936	NS
Error	45	0,00		0,094		176,48		39,53		0,073		36,58	
Total	53												
C.V.		19,01		22,46		16,94		9,49		3,46		17,15	

(NS): No significativo

(*): Significativo

(**): Altamente significativo

Cuadro 12: Prueba de DUNCAN altura de plántulas de cebada Con abonamiento compost

Tratamientos	Promedios	Duncan (0.05)
T12 CDM	86,833	A
T13 CDB	76,778	B
T11 CDA	71,611	B

Cuadro 13: Prueba de DUNCAN pH del suelo con abonamiento de harina de rocas

Tratamientos	Promedios	Duncan (0.05)
T16 HRB	7,66	A
T15 HRM	7,85	B
T14 HRA	7,95	B

El estudio del efecto del compost altoandino y sus variantes con fortalecimiento con harina de rocas, sobre los suelos contaminados con hidrocarburos, reporta avances sobre las características microbiológicas y enzimáticas del compost CATB2g y del BIOAF. Al respecto Chilon, Jhoselyne (2014) señala que la compostación es un proceso multienzimático, determinado por los microorganismos, que generan enzimas extracelulares, requiriéndose la interacción de distintas clases de enzimas hasta llegar a la humificación; en razón que los microorganismos del compost basan su alimentación en estas enzimas, los valores de su actividad se utilizan como indicadores de la actividad microbiana; como

una alternativa en su estudio se está aplicando la técnica Cromatográfica, adaptada de la aplicación en medicina de la cromatografía de Pfeifer, con buenos resultados en la determinación de la calidad y estado de humificación del compost. Esta técnica cromatografía adaptada al proceso de biorrecuperación (utilizando compost altoandino y sus variantes) de suelos contaminados con hidrocarburos, resulta una herramienta efectiva en el seguimiento y evaluación del proceso de biorremediación, al reflejar cualitativamente la actividad enzimática de los microorganismos, lo que permite tomar las medidas correctivas oportunamente, para lograr una biorrecuperación completa.

La técnica cromatográfica adaptada a la biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, tienen una buena correlación con los efectos del compost altoandino y sus variantes, especialmente con el abono denominado BIOAF o compost altoandino fortalecido con harina de rocas y con abono orgánico líquido aeróbico (BIOAL); la evaluación inicial mostró que este abono contiene una amplia variedad de microorganismos y de enzimas responsables de la biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, lo que genera un efecto benéfico en el crecimiento y desarrollo de las bacterias autóctonas y aquellas introducidas, responsables de la degradación de los hidrocarburos contaminantes de los suelos. Este resultado sumado a los resultados logrados en varios años de investigación, que tiene como base el estudio del compost altoandino, han permitido ajustar y estandarizar la metodología, las dosis y proporciones, para la biorrecuperación de suelos, situación que está posibilitado pasar de la etapa de investigación a la de servicios de biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, a través de la empresa BIORECSA-BOLIVIA.

Se ha diseñado la fase de continuidad de la biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, en la región del chaco de Bolivia, cuna de los hidrocarburos del país y donde la contaminación de suelos por la actividad hidrocarburífera es más notoria; con el inicio de la investigación se ha planteado la hipótesis que la adaptación y transferencia de la metodología basada en el compostaje altoandino al chaco boliviano, permitirá la biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos en esta región.

CONCLUSIONES

El primer experimento en plántulas de maíz (*Zea mays*), mediante la evaluación del efecto del abonamiento de compost y harina de rocas en la planta y el suelo, comparando los promedios establece que los tratamientos T8 (harina de rocas dosis media x compost dosis media), T6 (Harina rocas dosis baja) y T3 (compost dosis baja) presentan un mayor efecto sobre el incremento del % materia seca de las plántulas, presentando una muy alta significación estadística.

El tratamiento T9 (harina rocas dosis media x compost dosis baja) presenta el mayor valor en las variables peso fresco/planta, peso seco/planta y altura de planta, con 54,9 gr peso verde/planta, 8,02 gr peso seco/planta, y 75,50 cm altura/planta respectivamente, lo que indica un mejor efecto del tratamiento T9 (harina rocas dosis media x compost dosis baja) sobre el peso verde, peso seco y altura de planta de maíz.

Los tratamientos con abonamiento con harina de rocas presentan una ligera variación del pH del suelo manteniéndose en el rango de ligeramente alcalino, lo que se debería a su poca reacción y solubilidad a corto plazo, en cambio los tratamientos de abonamiento orgánico solo o en mezcla con la harina de rocas intensifican las reacciones bioquímicas en el suelo, generando a corto plazo mayores cambios en el pH del suelo.

El segundo experimento con plántulas de cebada (*Hordeum vulgare*), a través de la evaluación del efecto del abonamiento con compost y harina de rocas, en la planta y el suelo, con la comparación de los promedios del % materia seca, se observó que los mayores valores se presentaron en los tratamientos T6 (compost dosis media x harina rocas dosis baja), T9 (compost dosis baja x harina rocas dosis baja), T14 (harina rocas dosis alta) y T15 (harina rocas dosis media), superando a los otros tratamientos y al testigo. Estos resultados verifican que la mezcla de compost y harina de rocas tiene un efecto benéfico sobre la materia seca de las plántulas de cebada, por la actividad de los microorganismos y la acción enzimática del compost que solubilizan los nutrientes de la harina de rocas, facilitando su asimilación por las plántulas de cebada.

Comparando los tratamientos compost y harina de rocas se observa que los mayores valores del % materia seca, ocurren en los tratamientos T14 (harina rocas dosis alta) y T11 (compost dosis alta), lo que verifica que a corto plazo ocurre una mayor asimilación de nutrientes por las plántulas de cebada a partir de la harina de rocas, en tanto que el compost requiere un mayor tiempo para la actividad de los microorganismos y la descomposición de la materia orgánica.

En el efecto sobre la altura de plántulas de cebada, los mayores valores se presentaron en los tratamientos T3 (compost dosis baja), T14 (harina rocas dosis alta), T5 (compost dosis media x harina rocas dosis media) y T12 (compost dosis media) superando a los otros tratamientos y al testigo. En el peso fresco/planta y peso seco/planta, el mayor valor lo presentó el tratamiento T15 (harina rocas dosis media).

En el efecto de los tratamientos sobre el suelo, se verificó un incremento del pH en todos los tratamientos en comparación al testigo, intensificándose en los tratamientos con compost, en razón de sus características químicas básicas; el menor incremento del pH ocurrió en los tratamientos con harina de rocas, lo que se debió al corto tiempo de reacción en el suelo. Sobre la conductividad eléctrica se observó que en la mayor parte de los tratamientos ocurrió un ligero incremento, pero sin llegar a un nivel de riesgo, evidenciándose que estos abonos no generan salinidad.

RECOMENDACIONES

Es necesario continuar con los estudios de laboratorio y la aplicación de técnicas especializadas de identificación de géneros y especies de microorganismos del compost altoandino, responsables de la descomposición orgánica, del mejoramiento de la fertilidad de los suelos y de la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.

Es necesario continuar con los ensayos de elaboración de compost utilizando estrictamente materiales locales, en los diferentes ecosistemas del país.

Es necesario continuar con el estudio e investigación de compuestos orgánicos y otros abonos orgánicos enriquecidos, en la

Ambos experimentos en plántulas de maíz y cebada, establecen que el abonamiento con compost y harina de rocas, solos o en mezcla tienen un efecto positivo sobre el incremento del % materia seca, peso verde, peso seco y altura de planta, así como sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, superando a lo obtenido por el testigo.

La biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, es más efectiva con el uso del compost altoandino fortalecido con harina de rocas y abono orgánico líquido aeróbico, contándose con la técnica cromatográfica adaptada a la biorrecuperación de suelos, que coadyuva en el seguimiento y evaluación del proceso de biorremediación, al reflejar cualitativamente la actividad enzimática de los microorganismos, tomándose las medidas correctivas oportunas para lograr la biorrecuperación completa. Tras varios años de investigación, y contando con una metodología y técnica estandarizada, se está pasando de la etapa de investigación a la de servicios de biorrecuperación de suelos contaminados con hidrocarburos.

biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, en otros pisos ecológicos, con una evaluación cuantitativa y la utilización de tecnología y medios adecuados.

Es necesario que programas y proyectos de desarrollo rural, realicen la transferencia de esta técnica innovativa de compostaje a las comunidades indígenas y campesinas, para coadyuvar con la seguridad alimentaria y la disminución de los riesgos del cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. M. Sc. José Vicente Rojas, Docente de la Facultad de Agronomía-UMSA, por el apoyo en el procesamiento estadístico de los datos de campo.

BIBLIOGRAFIA

- 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. (1991) “Efectos de la incorporación de enmiendas orgánicas en el mejoramiento de algunas propiedades del suelo relacionadas con su resistencia a la erosión y el rendimiento de cultivos”. Memorias II Simposio de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Instituto de Ecología UMSA. La Paz-Bolivia.
- CHILON, Eduardo. (2006) “El suelo vivo, abonamiento con harina de rocas”, separata de capacitación a promotores rurales. AOPEB Asociación de Productores Ecológicos de Bolivia, La Paz, Bolivia.
- CHILON, Eduardo. (2011) “Sostenibilidad de suelos agrícolas y abonamiento con compost y harina de rocas”, separata curso de capacitación a promotores ecológicos. PIDAASA, Cochabamba, Bolivia.
- 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. (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, 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.
- HENSEL, Julius. (2004) “Panes de piedra”, Fundación Juquirá Candirú, 1º Edición, traducción del original “Brot Aus Steinen, Durch Mineralische Dúngung der Felder” Leipzig 1898.
- 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.
- 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 EMI, 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.
- RAMIREZ, Romel. (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 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.
- (Policloruro de bifenilo) en el campus de Alto Irpavi La Paz” Tesis de Grado, Carrera de
- 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.
- WEAVER, Don. (2011) “The survival of civilisation”, Burlingame, USA.