

## **EL COMPOST ALTOANDINO COMO SUSTENTO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO**

*HIGH-ANDEAN COMPOST AS FERTILITY SUPPORT FROM SOIL TO CLIMATE CHANGE*

Eduardo Chilon <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> P Universidad Mayor de San Andrés; Universidad Católica Boliviana.

\* Autor de correspondencia: Héroes del Acre N° 1850, La Paz Bolivia (eduardochilon@gmail.com)

### **Resumen**

El Cambio Climático Global, es ya un serio problema para las Comunidades Altoandinas de Bolivia y de los países de Latino América, y está afectando seriamente a las bases productivas suelo, agua y vegetación, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de los pueblos originarios; frente a esta situación nuestros pueblos están revalorizando, adoptando y adaptando medidas, muchas de las cuales vienen desde tiempos ancestrales y que siguen vigentes hasta la actualidad. Una alternativa local viable y práctica es la alimentación del "suelo vivo" con el abono orgánico compost; en este contexto se realizó la tercera fase de la investigación, en la Comunidad Achaca, Municipio de Tiahuanaco, ubicada a una altitud cercana a los 4000 metros s.n.m, evaluándose seis tratamientos de compostaje con el uso de activadores biológicos locales, en las modalidades de alto relieve y en pozas, estableciéndose que los tratamientos de compost elaborados con fermento de quinua y caldo de humus de lombriz, presentaron las mejores condiciones en calidad y de 1.6 a 1.8 meses de tiempo de compostación; verificándose que estos activadores biológicos locales tienen altos niveles de proteína, en comparación a los activadores de yogurt, levadura y suero de leche, que presentaron menores contenidos proteínicos. También se verificó el efecto benéfico del compost sobre la fertilidad física, química y biológica de suelos agrícolas, sobre todo en el mejoramiento de la porosidad del suelo, en la dinámica poblacional de microorganismos benéficos y en el incremento de la cosecha de papa, cuadruplicándose los rendimientos en relación al promedio nacional. Así mismo se evidenció el efecto positivo del compost altoandino en la biorremediación de suelos contaminados con aceite dieléctrico derivado de hidrocarburos.

### **Palabras clave**

Compost, abonamiento orgánico, microorganismos del suelo, biorremediación de suelos, producción ecológica y cambio climático.

## Abstract

AGlobal Climate Change is already a serious problem for the highland Communities of Bolivia and Latin American countries, and is seriously affecting the production base soil, water and vegetation, threatening the food security of indigenous peoples; against this situation our people are reconsidering adopting and adapting measures, many of which come from ancient times and remain valid until today. A viable local alternative feeding practice is „living soil“ with compost manure and in this context was the third phase of the research, in Achaca Communities, City of Tiahuanaco, located at an altitude of around 4000 meters above sea level, composting evaluated six treatments using local organic activators in high relief modalities and pools, establishing that compost treatments made with quinoa and broth ferment vermicompost showed the best quality conditions from 1.6 to 1.8 months composting time, verifying that these local biological activators have high levels of protein, compared to the activators of yogurt, yeast and whey, which showed lower protein contents. We also verified the beneficial effect of compost on soil physical, chemical and biological agricultural soils, especially in improving soil porosity in the population dynamics of beneficial microorganisms and increasing potato harvest, quadrupling the yields relative to the national average. It also was shown positive effect of High-Andean compost in bioremediation of soils contaminated with hydrocarbons derived dielectric oil.

## Key words

Compost, composting organic soil microorganisms, bioremediation of soils, organic production and climate change.

## INTRODUCCIÓN

Las culturas andinas, amazónicas y chaqueñas ancestrales fueron las primeras en crear y practicar lo que ahora se denomina Trofobiosis (trofo: alimento, biosis: vida), y fueron las pioneras en “alimentar” orgánicamente al suelo vivo, con lo cual garantizaban cultivos resistentes y buenos rendimientos sostenibles, que les permitían satisfacer los requerimientos nutricionales de una población ancestral heterogénea y dispersa. Entendieron la relación directa que se establece entre el suelo vivo-planta-ser humano, y que las mayores cosechas dependen del vigor de las plantas, este vigor depende de la fertilidad del suelo y la vida y la fertilidad del suelo dependen del “alimento orgánico” en calidad y cantidad suficientes. (Chilon, E. 2010)

La presente investigación, corresponde a la tercera fase, del Proyecto sobre “Compostaje Alto andino, seguridad Alimentaria y Cambio Climático”, en este marco la primera experiencia de compostaje altoandino, se realizó el año 1999 en Comunidades del Municipio de Tiahuanaco, con el método clásico indore, requiriéndose más de 11 meses para el compostaje; si bien este compost se probó con buenos resultados en la producción de cultivos, el reto y exigencia de las familias campesinas, por factores optimización de tiempo y economía fami-

liar, fue disminuir el tiempo de compostación sin afectar la calidad del abono final.

Para el logro de esta demanda comunal se continuó con la investigación del efecto de los activadores biológicos locales, observándose que los fermentos de quinua y tarwi, el yogur y el suero, así como la levadura y en menor medida otros activadores de productos locales, presentaban un excelente efecto en la activación biológica del compost, disminuyendo el tiempo de compostación de 7 a 2 meses. Con estos resultados se comenzó el trabajo de transferencia de la metodología a las Comunidades; esta actividad se intensificó los años 2005 a 2008. En el período 2009-2012 se evaluó el comportamiento térmico del compostaje, en condiciones controladas, verificándose que el rol de los microorganismos locales es fundamental en la compostación altoandina.

El objetivo estratégico de alcance mundial y nacional de la investigación, es contribuir a la adaptación al cambio climático, preservando la seguridad alimentaria de las comunidades vulnerables, con el alimento al “suelo vivo” utilizando el abono orgánico compost elaborado con materiales locales, y posibilitar la recuperación y resistencia de la fertilidad del suelo, frente a los efectos negativos del cambio climático global.

## DEFINICIONES Y CONCEPTOS

**E**l desarrollo del proyecto de investigación -acción sobre el compostaje altoandino, involucrando a los productores de las comunidades campesinas y a los recursos humanos en formación de nuestras Universidades, han posibilitado desarrollar y ampliar los conceptos y definiciones relacionados con el compostaje andino. (Chilon, E. 1997, 2010, 2011; Cortez, J. 1998; Sotomayor, C. 2000; Noriega, Y. 2001; Parra, N. 2003).

**Alimento orgánico del suelo:** Es 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:** El Compost es un abono orgánico pre-humificado, 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 rastros de cosecha, paja de cereales, estiércol de bovinos, ovinos y camélidos, ceniza de fogón, con el manejo adecuado de la humedad, aireación y la aplicación de activadores biológicos locales como fermentos de quinua y tarwi, yogurt, levadura y agua, con la obtención del compost final de 1.5 a 2 meses.

**Modalidad de elaboración de compost:** El compost se puede elaborar en la modalidad de alto relieve, o encima de la superficie del suelo, con el cuidado que en época de intenso frío se proteja a la pila de

compost con una cubierta de plástico opaja por períodos de tiempo cortos; y la modalidad de compostación a bajo relieve, en una fosa de cuatro metros de largo por tres de ancho y una profundidad de 1.50 metros, que proporciona una mejor protección y condiciones al proceso de descomposición del compost.

**Compost CA-TB1g:** Compost que corresponde a la primera generación de compostaje altoandino, realizado en Tiahuanaco y en otras comunidades campesinas, período 1999-2007; CA-TB1g significa Compost altoandino-Tiahuanaco Bolivia 1ª 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 y en proceso de transferencia masiva a las comunidades campesinas. CA-TB2g significa Compost Altoandino-Tiahuanaco Bolivia 2ª generación.

**Activadores biológicos locales (ABL):** Sustancias orgánicas obtenidas de la fermentación o chicha de quinua, tarwi 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 como yogurt, suero de leche, y también del aislamiento de microorganismos de levadura, que coadyuvan al proceso de compostación.

**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)

**Composición del compost:** El compost altoandino está compuesto por una amplia variedad de microorganismos como bacterias, hongos, actinomicetos, algas, protozoos y otros organismos que generan vitaminas, hormonas, sustancias mucilaginosas, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos que fa-

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, actinomicetos, 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 "mad-

re" 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.

**Alimento al suelo con 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 por su variedad de componentes nutritivos, hacen surgir una amplia gama de diferentes microorganismos.

Cuadro 1: Distribución de tratamientos de compostación

MODALIDAD DE COMPOSTACION	TRATAMIENTOS DE COMPOSTACION
<b>ALTO RELIEVE (Sobre la superficie del suelo)</b>	Ta1: CH-A (Compost elaborado con estiércol, restos vegetales, ceniza + activador caldo humus de lombriz)
	Ta2: Y-A (Compost elaborado con estiércol, restos vegetales, ceniza + activador Yogurt)
	Ta3: SL-A (Compost elaborado con estiércol, restos vegetales, ceniza + activador suero de leche)
	Ta4: LEV-A (Compost elaborado con estiércol, restos vegetales, ceniza + activador levadura)
	Ta5: Q-A (Compost elaborado con estiércol, restos vegetales, ceniza + activador fermento de Quinua)
	Ta6: T-A (Compost testigo elaborado con estiércol, restos vegetales, ceniza)
<b>BAJO RELIEVE (En Pozas)</b>	Tb1: CH-B (Compost elaborado con estiércol, restos vegetales, ceniza + activador caldo humus de lombriz)
	Tb2: Y-B (Compost elaborado con estiércol, restos vegetales, ceniza + activador Yogurt)
	Tb3: SL-B (Compost elaborado con estiércol, restos vegetales, ceniza + activador suero de leche)
	Tb4: LEV-B (Compost elaborado con estiércol, restos vegetales, ceniza + activador levadura)
	Tb5: L-B (Compost elaborado con estiércol, restos vegetales, ceniza + activador Leche)
	Tb6: T-B (Compost testigo elaborado con estiércol, restos vegetales, ceniza)

mos que vigorizan la "vida del suelo" y favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas. 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 y metamórficas. (Chilon, E. 2006)

**Biorremediación de suelos contaminados con compost altoandino:** Es el proceso biológico de recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, con la aplicación del compost altoandino que favorece la intervención y la acción de los microorganismos presentes en el compost, con un método técnico-científico patentado, bajo condiciones controladas y un manejo adecuado de la humedad y la aireación.

#### UBICACIÓN DE LA ZONA EXPERIMENTAL

La presente investigación de compostaje altoandino corresponde a su tercera fase, y se realizó en los campos experimentales de la Carrera de Agronomía UAC-Tiahuanaco de la Universidad Católica Boliviana, ubicado en la comunidad Achaca, Municipio de Tiahuanaco, Provincia Ingavi, Departamento La Paz, Bolivia, a una altitud de 3872 metros s.n.m., que en condiciones normales presenta temperaturas promedio de 8°C y mínimas de -10°C y una precipitación promedio de 350 a 500 mm/año. En la investigación participaron los estudiantes de las materias de Edafología y Fertilidad de Suelos UCB UAC Tiahuanaco y de la Facultad de Agronomía UMSA.

#### METODOLOGIA

La investigación se realizó con el diseño estadístico bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con un total de 48 unidades experimentales, evaluándose los parámetros de temperatura, duración de la compostación, volumen inicial y volumen final, así como las características físicas químicas y biológicas del compost. En el caso del ensayo de campo se evaluó el efecto del compost en el rendimiento del cultivo de papa y sobre las propiedades del suelo, utilizándose el mismo diseño y las mismas repeticiones. También se realizó la evaluación del efecto del compost en la biorremediación de suelos contaminados con aceite dieléctrico de hidrocarburos.

Se ensayaron seis tratamientos en dos modalidades a alto relieve y en pozas o bajo relieve, con la metodología estandarizada de compostaje altoandino, que se continúa difundiendo en las Comunidades campesinas del altiplano y los valles de Bolivia. Todos los tratamientos se elaboraron con materiales locales, estiércol de bovinos y camélidos andinos, restos de paja de cereales, malezas y rastrojos de cosecha, ceniza de fogón tradicional y agua; con la adición de los activadores biológicos en estudio, tales como el caldo de humus de lombriz, yogurt, suero de leche, levadura, fermento de quinua y el tratamiento testigo. El manejo del compostaje, el control de la humedad, temperatura y la aireación de las pilas de compost fue uniforme en todos los casos. En el Cuadro 1 se presenta el detalle de los tratamientos de compost ensayados.

#### RESULTADOS

Durante la campaña 2011-2012 se evaluó el efecto sobre el compost, de los activadores biológicos: fermento de quinua, yogurt, suero de leche, levadura, leche y caldo de humus de lombriz; así como el período de tiempo de la compostación, el comportamiento térmico de los tratamientos, y la calidad del compost de cada uno de los tratamientos; también se evaluó el efecto sobre el rendimiento de tubérculos de papa y sobre las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo.

Respecto al período de compostación, los tratamientos ubicados a bajo relieve (en fosa) que a pesar de contar con mejores condiciones de protección y menores pérdidas de humedad, presentaron una influencia poco significativa frente a los tratamientos a alto relieve, sin embargo en ambas modalidades se observó un menor tiempo de compostación en los tratamientos cuyos activadores locales fueron más ricos en nitrógeno proteico, como es el caso de los tratamientos con activadores de fermento de quinua y caldo de humus. (Graf. 1)

Los resultados obtenidos, verifican el efecto de la "activación" de los fermentos biológicos locales, con una posible influencia sobre los microorganismos locales, que intensifican la descomposición de la materia orgánica, acelerando el proceso de compostación, evidenciándose que a mayor contenido de nitrógeno proteico presente en el activador

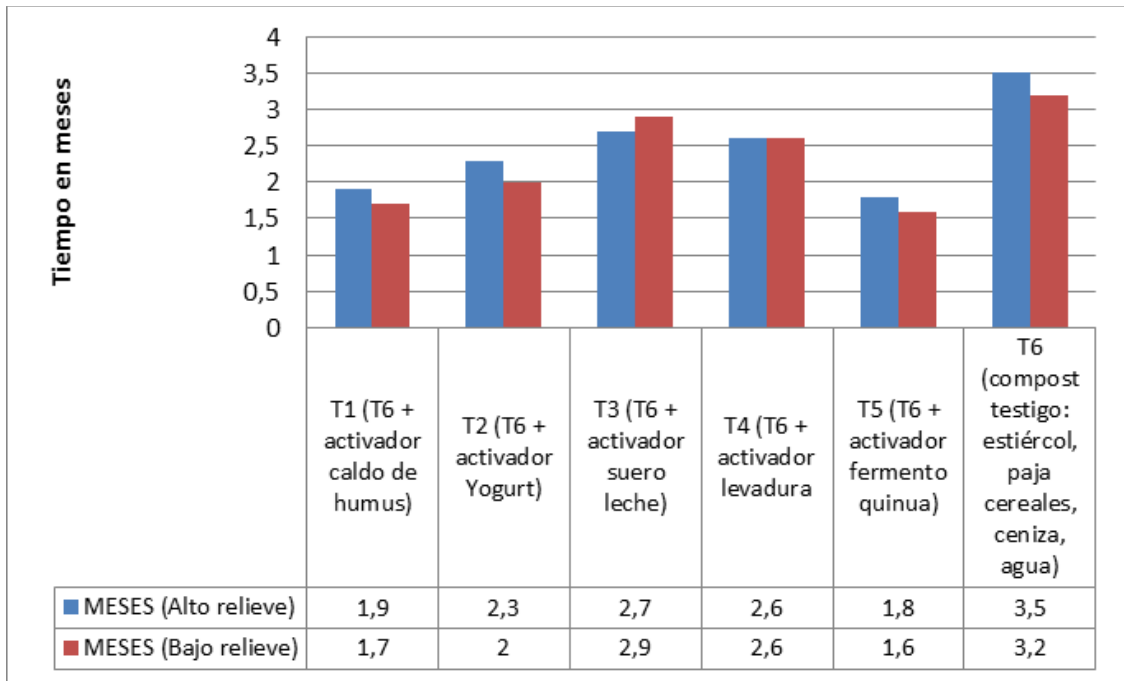


Gráfico 1: *Tratamientos y Tiempo de Compostación*

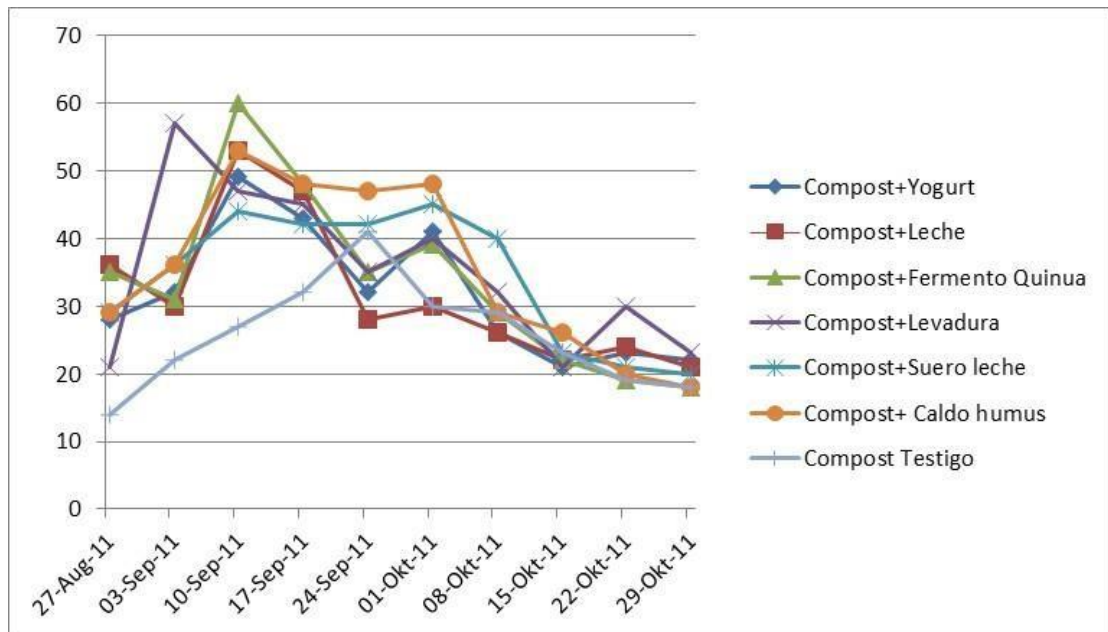


Gráfico 2: *Comportamiento térmico durante la compostación a Alto relieve*

-caso del fermento de quinua y el caldo de humus de lombriz - mayor es su efectividad en la aceleración de la compostación; este comportamiento también se observó en la investigación de la campaña anterior cuando se utilizó fermento de tarwi. (Chilon, E. 2011).

Ramírez, R. (2012), utilizando como activadores derivados de la leche caso yogurt y suero de leche, y levadura, estableció una tendencia de mayor efectividad a mayor contenido proteínico de los activadores.

La evaluación de las temperaturas del compost altoandino, mostró curvas térmicas diferenciadas, con un proceso de descomposición que se desarrolló en un rango promedio de 16°C a 60°C, corroborándose que los tratamientos con activadores biológicos presentaron las cuatro etapas térmicas de diferente duración y comportamiento, y que fueron constatadas anteriormente (Chilon, E. 2011). La 1° fase inicial de corta duración, la 2° fase térmica con valores de temperatura más altos, la 3° fase de maduración con disminución gradual de la temperatura y de mayor tiempo de duración, y la 4° fase de culminación de la compostación. (Gráfico 2).

En la modalidad del compostaje a alto relieve la mayor temperatura, se presentó en el tratamiento compost fermento de quinua con 60°C, seguido

por los tratamientos de compost con levadura y caldo de humus de lombriz. El tratamiento testigo presentó una curva de evolución térmica muy diferente a la de los tratamientos con activadores biológicos, lo que demostró el efecto de los activadores biológicos sobre el proceso de compostación y sobre la actividad de los microorganismos locales. (Gráfico 2)

La evaluación de la temperatura del compost altoandino, mostró diferencias entre modalidades de compostación a alto y bajo relieve; también se presentaron diferencias con relación a otros ensayos realizados en Yungas y Valles (Cortez, J. 1998; Noriega, Y. 2001; Sotomayor, C. 2000). En el caso de la experiencia realizada en Sapahaqui, zona frutícola de valle de la Provincia Loayza en La Paz, se observó similitudes del comportamiento térmico en el tratamiento de compost con yogurt, pero diferencias en el tiempo de compostación. (Ramírez, R. 2012)

Las temperaturas del compost a bajo relieve, fueron diferentes a las temperaturas observadas en los tratamientos a alto relieve, mostrando en forma más notoria, los cuatro momentos o fase que presenta el compost altoandino, siendo los tratamientos con activadores biológicos los que desarrollaron las temperaturas más altas, tal como ocurrió con los tratamientos de fermento de qui-

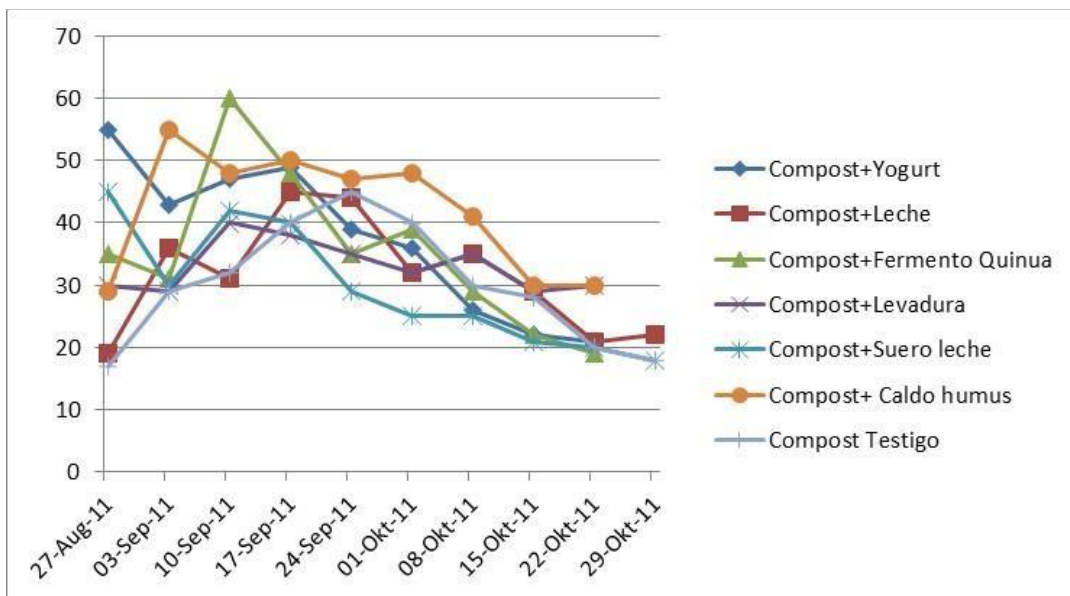


Gráfico 3: Comportamiento térmico durante la compostación a Bajo relieve

nua, y caldo de humus. El tratamiento testigo tuvo un comportamiento similar al de la modalidad a alto relieve, diferenciándose de los tratamientos con activadores biológicos, con un comportamiento similar a una curva normal, con temperaturas iniciales bajas para ir progresando y luego volver a disminuir hasta estabilizarse al concluir la compostación, tal como se observa en el Gráfico 3.

En el cuadro 2, se presentan las características de los tipos de compost elaborados a alto relieve, observándose que el tratamiento T2 Y-A (estiércol, restos vegetales, ceniza, activador yogurt) presenta los valores más altos de Nitrógeno y fósforo, mientras que el tratamiento T5 Q-A (estiércol, restos vegetales, ceniza, activador fermento de quinua) presenta el nivel más alto de potasio y de carbono orgánico; la reacción o pH en todos los tratamientos varía de ligeramente alcalina a alcalina, con una Conducti-

vidad eléctrica mayor a 4 dSm, con una ligera salinidad.

Sobre el análisis microbiológico de las Unidades de Formación de Colonias UFC, todos los tratamientos presentaron un alto recuento de microorganismos mesófilos y coliformes; pero el tratamiento T5 Q-A (estiércol, restos vegetales, ceniza, activador fermento de quinua) presentó la mayor población de microorganismos *Proteus*, y de hongos y levaduras superando a los otros tratamientos.

Respecto a las características químicas del compost, tomando en cuenta estos resultados y aquellos de las fases anteriores de la investigación (Chilon, E. 2010, 2011), los valores en porcentaje de los contenidos de Nitrógeno, fósforo, Potasio y carbono orgánico del compost final, no son muy concluyentes para establecer la calidad del compost,

Cuadro 2: Resultados del Análisis Químico y Biológico del Compost elaborado con Activadores Biológicos. Modalidad Alto Relieve

N°	Parámetros	T1 CH-A (Compost+ activador caldo humus)	T2 Y-A (Compost+ activador Yogurt)	T3 SL-A (Compost+ activador Suero de leche)	T4 LEV-A (Compost+ activador Levadura)	T5 Q-A (Compost + activador fermento Quinua)	T6 T-A (Compost Testigo)
1*	% Nitrógeno total	0.52	0.87	0.81	0.67	0.77	0.71
2*	% Fósforo	0.24	0.31	0.22	0.27	0.16	0.25
3*	% Potasio	0.88	0.88	1.25	0.82	1.37	1.07
4*	% Carbono orgánico	7.15	9.42	8.73	10.30	10.48	8.66
5*	pH agua (1:5)	8.54	8.35	8.34	7.94	8.66	8.25
6*	CE (mS/cm) (1:5)	5.14	5.62	7.38	6.56	7.44	7.53
7*	% Humedad	60.07	57.03	55.71	54.65	55.19	56.29
8**	Recuento <u>mesófilos</u> totales	> 10 <sup>5</sup>	>10 <sup>5</sup>	>10 <sup>5</sup>	>10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	>10 <sup>5</sup>
9**	Recuento <u>coliformes</u> totales 37°C	4.4	9.1 x 10 <sup>4</sup>	2.9 x 10 <sup>3</sup>	1.8 x 10 <sup>3</sup>	9.1 x 10 <sup>4</sup>	5.2 x 10 <sup>3</sup>
10**	Recuento <u>klebsiella spp</u>	240	--	--	--	10	--
11**	Recuento <u>proteus spp</u>	120	--	20	20	220	60
12**	Recuento de hongos y levaduras a 25° y 30°	640	280	260	>105	2.6 x 10 <sup>3</sup>	700
13**	Recuento de <u>Staphylococcus saprofitico</u>	--	--	20	--	10	20

(\*) Laboratorio IBTEN-Unidad de Análisis y Calidad Ambiental, La Paz. (Febrero 2012)

(\*\*) Laboratorio MIC-Microbiología Industrial Clínica, La Paz (Febrero 2012).



posiblemente porque los métodos de laboratorio utilizados requieren ser adecuados y ajustados para abonos orgánicos, caso del compost y humus de lombriz.

En el cuadro 3, se muestra las características de los tipos de compost elaborados en la modalidad de bajo relieve, observándose que el tratamiento T2 Y-B (estiércol, restos vegetales, ceniza, activador yogurt) presentó el mayor contenido de nitrógeno y de carbono orgánico, y el tratamiento T1 CH-B (estiércol, restos vegetales, ceniza, activador caldo humus de lombriz) presentó los mayores valores de fósforo y potasio, superando a los otros tratamientos; la reacción o pH en todos los tratamientos varía de neutro a alcalina, respecto a la conductividad eléctrica los tratamientos T5 Q-B (estiércol, restos vegetales, ceniza, activador fermento quinua) y T2 Y-B (estiércol, restos vegetales, ceniza,

activador yogurt) sin problemas de salinidad, los otros tratamientos presentaron una ligera salinidad.

El análisis microbiológico, muestra que todos los tratamientos presentan un alto recuento de microorganismos mesófilos y coliformes, y el tratamiento T2 Y-B (estiércol, restos vegetales, ceniza, activador yogurt) presentó la mayor población de microorganismos *Proteus*, y de hongos y levaduras.

Por los valores cuantitativos del análisis físico, químico y biológico, así como el tiempo de compostación y el comportamiento térmico, se puede manifestar que el compost elaborado con fermento de quinua superó significativamente a los otros tratamientos.

Cuadro 3: Resultados del Análisis Químico y Biológico del Compost elaborado con Activadores Biológicos. Modalidad Bajo Relieve

N°	Parámetros	T1 CH-B (Compost + activador caldo humus)	T2 Y-B (Compost + activador Yogurt)	T3 SL-B (Compost + activador Suero de leche)	T4 LEV-B (Compost + activador Levadura)	T5 Q-B (Compost + activador fermento Quinua)	T6 T-B (Compost Testigo)
1*	Nitrógeno total %	0.82	0.92	0.71	0.50	0.87	0.70
2*	Fósforo %	0.32	0.22	0.26	0.19	0.22	0.21
3*	Potasio %	1.30	0.62	1.05	0.81	0.50	0.9
4*	Carbono orgánico %	7.34	13.13	9.10	6.59	12.24	8.42
5*	pH agua (1:5)	7.35	7.80	8.6	8.19	7.69	8.3
6*	CE (mS/cm) (1:5)	8.06	3.68	7.10	5.17	2.93	7.21
7*	Humedad %	55.18	51.42	59	65.99	53.80	57.29
8**	Recuento <u>mesófilos</u> totales	> 105	>105	>105	>105	>105	>105
9**	Recuento <u>coliformes</u> totales 37°C	1.7 x 10 <sup>3</sup>	2.8 x 10 <sup>4</sup>	2.1 x 10 <sup>4</sup>	1.0 x 10 <sup>4</sup>	6.4 x 10 <sup>4</sup>	
10**	Recuento <u>coli fecal</u>	60	80				
11**	Recuento <u>proteus spp</u>		200	200	40	110	
12**	Recuento de hongos y levaduras a 25° y 30°	220	>105	2.4 x 10 <sup>4</sup>	1.2 x 10 <sup>3</sup>	>105	

(\*) Laboratorio IBTEN-Unidad de Análisis y Calidad Ambiental, La Paz. (Febrero 2012)

(\*\*) Laboratorio MIC-Microbiología Industrial Clínica, La Paz (Febrero 2012).

En el cuadro 4, se presenta la evaluación del efecto del compost sobre las propiedades del suelo y sobre el rendimiento del cultivo de papa (variedad Huaycha), ensayándose el Compost elaborado con fermento de quinua; el trabajo de campo se realizó durante la campaña agrícola 2011-2012 experimentándose tres dosis, alta (18 Tm compost/ ha), dosis media (12 Tm compost/ha) y dosis baja (6 Tm compost/ha), comprobándose el efecto benéfico sobre las propiedades del suelo, principalmente en la densidad aparente, y la porosidad, evidenciándose que a mayor cantidad de compost aplicado mayor efecto benéfico sobre el suelo. Estos resultados coinciden con otros estudios realizados en altiplano, valles y Yungas de Bolivia. (Noriega, Y. 2001; Parra, N. 2003; Ruiz, M. 2012)

La reacción pH del suelo fue cercano al neutro en todos los tratamientos, la conductividad eléctrica sin problemas de salinidad; el mayor % nitrógeno

no lo presentó el tratamiento de Dosis media, en cambio los tratamientos Dosis alta y testigo presentaron los mayores contenidos de fósforo y potasio. Respecto a la población de microorganismos los tratamientos de suelo con compost (dosis alta, media y baja) superaron al suelo testigo, incluso el tratamiento de suelos con dosis alta de compost presentó la mayor población de *Staphylococcus*, verificándose la relación directa de los abonos orgánicos con el incremento de la población biológica y la actividad de los microorganismos del suelo.

En el gráfico 4, se presenta el efecto de las dosis de compost sobre el rendimiento del cultivo de papa, variedad Huaycha; obteniéndose rendimientos significativos de tubérculos, con 23.700 Kg/ha, 21.350 Kg/ha, 15.942 Kg/ha y 13.215 Kg/ha correspondientes a las dosis alta (18 Tm compost/ ha), dosis media (12 Tm compost/ha), dosis baja (6 Tm compost/ ha) y testigo (0 Tm compost/ha) respectivamente.

Cuadro 4: Efecto del Compost sobre las Propiedades Físicas Químicas y Biológicas del suelo

Nº	Parámetros de Evaluación	T3 C-DA (Compost Dosis Alta) 18 Tm/ha	T2 C-DM (Compost Dosis Media) 12 Tm/ha	T1 C-DB (Compost Dosis Baja) 6 Tm/ha	T4 C-T (Testigo) 0 Tm/ha
1	Densidad aparente (gr/cc)	1.28	1.36	1.40	1.56
2	% Porosidad	52	49	47	41
3*	pH (agua 1:5)	7.15	6.99	7.04	6.40
4*	CE Conductuc. Eléctrica (agua 1:5) mS/cm	0.079	0.067	0.061	0.059
5*	% Nitrógeno	0.09	0.1	0.085	0.09
6*	% Fósforo	0.061	0.053	0.050	0.064
7*	% Potasio	0.124	0.093	0.101	0.124
8**	Recuento mesófilos totales	>10 <sup>5</sup> UFC/gr	>10 <sup>5</sup> UFC/gr	>10 <sup>5</sup> UFC/gr	9.8 x10 <sup>4</sup> UFC/gr
9**	Recuento coliformes totales 37°C	8.0 x10 <sup>3</sup> UFC/gr	7.1 x10 <sup>3</sup> UFC/gr	1.4 x10 <sup>3</sup> UFC/gr	1.0x10 <sup>3</sup> UFC/gr
10**	Recuento coli fecal	3.9 x10 <sup>3</sup> UFC/gr	900 UFC/gr		
11**	Recuento klebsiella spp			600 UFC/gr	
12**	Recuento de hongos y levaduras a 25° y 30°		1.6 x10 <sup>3</sup> UFC/gr		
13**	Recuento de <i>Staphylococcus saprofitico</i>	500 UFC/gr	150 UFC/gr	100 UFC/gr	200 UFC/gr

( ) Laboratorio Agronomía UCB-UAC Tiahuanaco, La Paz (mayo 2012)

(\*) Laboratorios IBTEN-Unidad de Análisis y Calidad Ambiental, La Paz. (julio 2012)

(\*\*) Laboratorio MIC-Microbiología Industrial Clínica, La Paz (mayo 2012).

tivamente.

Los mayores rendimientos obtenidos con la dosis alta y dosis media se debería a la mayor mineralización y aporte de nutrientes, observándose que una parte significativa de nutrientes y sustancias orgánicas del compost se almacenó como abono residual aprovechable por la siguiente siembra. El mayor rendimiento obtenido con el abonamiento con compost, superó en 4 veces el promedio nacional, recomendándose la masificación del uso del compost en todas las comunidades rurales, por constituir una alternativa viable para garantizar la seguridad alimentaria, y la preservación de los suelos frente a los riesgos del cambio climático. Similares efectos en el rendimiento de papa amarga, se obtuvo en un experimento de aplicación de compost en Sukakollus. (Parra, N. 2003)

Los resultados obtenidos en la presente investigación, que corroboran los obtenidos en las fases anteriores, con la aplicación al suelo del compost altoandino CA-TB2g, refuerzan la hipótesis que uno o varios microorganismos del compost altoandino no identificados, son los responsables de estos resultados, siendo necesaria una cuidadosa investigación de laboratorio para confirmar o descartar esta hipótesis. Las comunidades altoandinas y de otras partes del mundo, contarían con un insumo biológico que facilitaría la obtención de un abono orgánico de alta calidad en el menor tiempo posible; este abono orgánico aplicado masivamente a

los campos agrícolas garantizaría la seguridad alimentaria, frente a la intensificación de las sequías y heladas y al problema mundial que nos plantea el cambio climático global.

El estudio del efecto del compost Altoandino CA-TB2g sobre suelos contaminados con aceite dieléctrico con PCB, en todos los casos no se verificó significación estadística del efecto de los tratamientos de las fuentes orgánicas compost, humus de lombriz y estiércol de ovino, en los suelos contaminados con aceite dieléctrico con contenido de PCB, sin embargo numéricamente se observó un efecto positivo en la biorrecuperación; estableciéndose que los microorganismos tienen que evolucionar y contrarrestar factores adversos por la contaminación de los suelos con aceites de hidrocarburos, por lo mismo y por las características del crecimiento de las bacterias, los resultados de las investigaciones se dan en términos cualitativos, por las variaciones biológicas difíciles de controlar; observándose que en algunos tratamientos, la cantidad de microorganismos en lugar de aumentar fue disminuyendo, y en otros a la inversa, esto puede deberse a factores ambientales, y a algunos incidentes antrópicos ocurridos en la zona del ensayo.

En el primer período de evaluación de las Unidades de Formación de Colonias de microorganismos (UFC) se observó que el tratamiento con humus de lombriz superó ligeramente a los tratamientos con compost altoandino CA-TB2g, y al estiércol

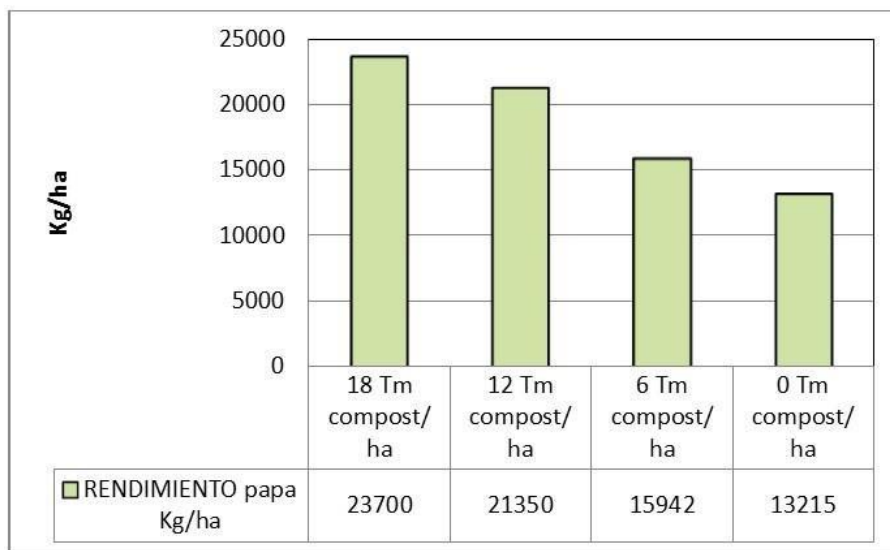


Gráfico 4: Efecto de tres Dosis de Compost sobre el Rendimiento de Cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

de ovino; en todos los casos los tratamientos superaron al testigo en la formación de una mayor cantidad de UFC. Sin embargo la evaluación de los componentes contaminantes, realizado con pruebas cualitativas, evidenció que los microorganismos del compost altoandino CA-TB2g, son más eficientes en la disminución de los contaminantes del suelo, superando al humus de lombriz, estiércol de ovino y testigo, lo que hace suponer que las colonias de microorganismos derivados y formados a partir del Compost Altoandino CA-TB2g, son más efectivos en la biorremediación de suelos contaminados por aceites dieléctricos con PCB. (Chilon, E. 2012, Schayman, Y. 2012).

Se ha diseñado una nueva fase de estudio de la biorremediación de suelos contaminados con derivados de hidrocarburos, previéndose la evaluación cuantitativa de los contaminantes y los efectos del compost CA-TB2g reforzado con harina de rocas, en la recuperación de suelos contaminados, aplicando una metodología y técnicas adecuadas.

## CONCLUSIONES

Se comprobó que los tratamientos de compost elaborados con activadores biológicos locales de fermentos de quinua y caldo de humus de lombriz, presentan un menor tiempo de compostación, produciendo un compost de buena calidad, superando a los otros tratamientos; evidenciándose que a mayor proteína presente en el activador local, se obtienen mejores resultados en el abono orgánico final, tanto en tiempo como en calidad.

Se estableció el efecto benéfico de la aplicación del compost, sobre el rendimiento de tubérculos y en el mejoramiento de la fertilidad física y química de los suelos agrícolas, y sobre la dinámica de la población microbiológica del suelo, que es la responsable de los procesos de síntesis, resíntesis, transformación y de los ciclos de liberación de los nutrientes disponibles para las plantas.

Respecto a la evaluación de suelos contaminados con aceites dieléctricos con PCB, se evidenció que los microorganismos del compost altoandino son más eficientes en la disminución de los contaminantes del suelo, superando al humus de lombriz, estiércol de ovino y testigo, lo que hace suponer que las colonias de microorganismos derivados y formados a partir del Compost Altoandino CA-TB2g, son más eficientes en la biorremediación de suelos contaminados por aceites dieléctricos con PCB

El compost se constituye en una alternativa viable para contrarrestar los efectos negativos de la sequía y heladas exacerbadas por el cambio climático global, por su efecto benéfico y de preservación de las propiedades del suelo, que influyen directamente en el incremento del rendimiento de los cultivos de seguridad alimentaria campesina.

## RECOMENDACIONES

Es necesario identificar mediante análisis especializados de laboratorio los 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.

Se recomienda continuar con los ensayos, con otros cultivos de seguridad alimentaria en diferentes pisos ecológicos del país.

Es necesario continuar con el estudio e investigación de la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, con una evaluación cuantitativa y la utilización de tecnología y medios adecuados.

Es necesario continuar con la transferencia de esta técnica innovativa de compostaje a las comunidades altoandinas, para coadyuvar con la seguridad alimentaria frente a los riesgos del cambio climático.

## BIBLIOGRAFIA

CORTEZ, J. (1998) "Comportamiento Agronómico de cinco variedades de soya, con la aplicación de compost en la región de Pahuata Sud Yunga". Tesis de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía UMSA. La Paz, Bolivia.

CHILON, E. (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, E. (1997) "Fertilidad de suelos y nutrición de plantas", 1ª Edición, Ediciones CIDAT, La Paz-Bolivia.

CHILON, E. (2003) "Recuperación de suelos degradados con aplicación de compost". Informe técnico, Municipio de Coripata, La Paz-Bolivia.

CHILON, E. (2006) "El suelo vivo, abonamiento

to con harina de rocas”, separata de capacita ci ón a promotores rurales. AOEPEB Asociación de Productores Ecológicos de Bolivia, La Paz, Bolivia.

CHILON, E., (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](http://www.ibepa.org).

CHILON, E. (2010) “Tecnologías Ancestrales vigentes frente al cambio climático en la Región Andina”. Memorias del Taller Internacional “Experiencias y desafíos de adaptación al cambio climático en comunidades vulnerables de la región andina”. Soluciones Prácticas-Bolivia, AID, UNESCO, CARE, La Paz.

CHILON, E., (2011) “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](http://www.ibepa.org).

PARRA, N. (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, M. (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, Y. (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, R. (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, M. (2012) “Evaluación agronómica del rendimiento de tomate, con la aplicación de compost y gallinaza en la comunidad Hinchupulla, provincia Loayza”, Tesis de Ingeniero Agrónomo, Carrera de Agronomía, Universidad Católica Boliviana UAC Tiahuanaco. La Paz, Bolivia.

SCHAYMAN, Y. (2012) “Biorrecuperación de suelos contaminados por aceites dieléctricos con contenidos de PBC (Policloruro de bifenilo) en el campus de Alto Irpavi La Paz” Tesis de Grado, Carrera de Ingeniería Ambiental, Escuela Militar de Ingeniería EMI, La Paz-Bolivia.

SOLUCIONES PRACTICAS-BOLIVIA (2009) “Taller internacional Experiencias y Desafíos de adaptación al cambio climático en comunidades rurales vulnerables de la región andina” 21-22 septiembre 2009, AID, UNESCO, CARE, AVINA, PLAN por la niñez, La Paz-Bolivia.

SOTOMAYOR, C. (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.