



**Evaluación de metales pesados en el proceso de compostaje orgánico de residuos de hojas de coca**

**Evaluation of heavy metals in the process of composting organic waste of coca leaves**

Apaza-Condori Emma Eva\*, Mamani-Pati Francisco, Sainz-Mendoza Humberto

Datos del Artículo	Resumen
<p>Universidad Pública de El Alto-UPEA. Área de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Recursos Naturales, Ingeniería Agronómica. Laja-Los Andes - La Paz, Bolivia. (591)2-2115231 Instituto de Investigación y Extensión Agrícola (IINEA). Área de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Recursos Naturales, Ingeniería Agronómica</p> <p><b>*Dirección de contacto:</b> <b>Emma Eva Apaza-Condori.</b> Área de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Recursos Naturales, Ingeniería Agronómica. La Paz, Bolivia. (591)2-2115231 E-mail: <a href="mailto:evapazacondorie@gmail.com">evapazacondorie@gmail.com</a></p>	<p>La presente investigación tiene por objeto evaluar las concentraciones totales de los metales pesados en las muestras de compost de residuos de hoja de coca. El presente trabajo se llevó a cabo en el Centro Experimental de Kallutaca, módulo de Bioabonos de la Carrera Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto, Municipio de Laja La Paz. Los tratamientos planteados fueron: T1 (Hoja de coca + Yogurt); T2 (Hoja de coca + suero de leche); T3 (Hoja de coca + levadura) y T4 (Testigo). El diseño utilizado fue completamente al azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones. La concentración de metales pesados (cadmio, cobre, níquel, plomo, mercurio y cromo); fueron categorizados dentro de la clase A, para los cuatro tratamientos según las clasificaciones establecidas por Moreno &amp; Moral (2008)</p> <p style="text-align: center;">© 2015. <i>Journal of the Selva Andina Biosphere. Bolivia. Todos los derechos reservados.</i></p>
<p><b>Palabras clave:</b> Compost, metales pesados hoja de coca yogurt suero de leche levadura</p>	<p style="text-align: center;"><b>Abstract</b></p>
<p><b><i>J Selva Andina Biosph.</i></b> <b>2015; 3(2):95-102.</b></p>	<p>The present study is to evaluate the total concentrations of the heavy metals in waste compost samples from coca leaf. This work was carried out in the Kallutaca Experimental Center, Biofertilizers module Career Agricultural Engineering at the Public University of El Alto, La Paz municipality of Laja. Posed treatments were: T1 (+ Yogurt Coca wastes); T2 (Coca wastes + whey); T3 (Coca wastes + yeast) and T4 (Control). The design was completely randomized with 4 treatments and 3 repetitions. The concentration of heavy metals (cadmium, copper, nickel, lead, mercury and chromium); they were categorized into Class A, for the four treatments according to the classifications established by Moreno &amp; Moral (2008).</p> <p style="text-align: center;">© 2015. <i>Journal of the Selva Andina Biosphere. Bolivian. All rights reserved.</i></p>
<p><b>Historial del artículo</b> Recibido abril, 2015. Devuelto noviembre, 2015 Aceptado noviembre, 2015. Disponible en línea, noviembre 2015</p>	
<p><b>Editado por:</b> <b>Selva Andina Research Society</b></p>	
<p><b>Key words:</b> Compost, heavy metals Coca leaf yogurt whey yeast</p>	

## Introducción

Las plagas obligan a usar insecticidas cada vez más tóxicos en los sembradíos de coca de Yungas, según expertos y cocaleros (Mendoza 2010). “El uso de químicos ha crecido considerablemente, al extremo de verificarse un uso intensivo, irracional e ingenuo, por parte de los productores”, advirtió el coordinador de la Organización No Gubernamental Plaguicidas Bolivia (Plagbol), Guido Condarco (Mendoza 2010).

Los metales pesados hallados en fertilizantes y plaguicidas de uso común, son utilizados en el sector agrícola, y al utilizarse la materia orgánica proveniente de ello, se toma muy en cuenta para la elaboración del compost, ya que esta tiende a utilizarse para la producción agrícola, a partir de una determinada concentración pueden resultar tóxicos para las plantas, asimismo representa un riesgo en la salud humana (Martí *et al.* 2002).

Moreno & Moral (2008), Debemos considerar que el propio proceso de compostaje altera de forma significativa la composición inicial de la/s materias primas a compostar, debido a: i) La potencial pérdida de nutrientes solubles y volátiles. ii) El efecto concentración ocasionado por la pérdida de materia, fundamentalmente CO<sub>2</sub> y compuestos nitrogenados. iii) Cambio en la biodisponibilidad de los nutrientes.

La presente investigación tiene por objeto evaluar las concentraciones totales de los metales pesados Cd, Pb, Hg, Cu, Cr y Ni en las muestras de compost de residuos de hoja de coca.

## Materiales y métodos

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Campo Experimental Kallutaca de la

carrera Ingeniería Agronómica - UPEA; ubicado en el municipio de Laja, provincia Los Andes. Geográficamente se sitúa entre 16° 31' 10" latitud sur y 68° 19' 03" longitud oeste, a una altitud de 3901 msnm forma parte del altiplano norte (Guarachi 2011).

*Activadores locales (biológicos):* Yogurt, suero de leche y levadura.

*Hoja de coca residual:* En el marco del convenio realizado con la Carrera Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto y el Viceministerio de Coca y Desarrollo Integral, Dirección General de la Hoja de Coca e Industrialización (DIGCOIN), se acopio la hoja de coca residual trasladado desde Villa Fátima, localizado específicamente en la calle Unduavi de la ciudad de La Paz. En el lugar se pesaba los bultos o taques cada uno constaba de 10 kg, siendo registrada por la misma dirección, asimismo la hoja de coca procedía de los diferentes departamentos y provincias, tendiendo a variar en sus diferentes tamaños, color y el estado de la hoja de coca. La cantidad utilizada fue de 163 bultos o taques.

*Estiércol de vaca e ingesta:* A través de una coordinación efectuada con el matadero municipal de la ciudad de El Alto se pudo adquirir la ingesta para su uso, asimismo este producto se mezcló con el estiércol de vaca, siendo adquirido de la Carrera de medicina Veterinaria y Zootecnia de la UPEA. Soliva (2001), el método utilizado para la instalación fue el sistema "Indore". La formación de las 12 pilas para el proceso de compostaje estaban a 2.00 m de pila a pila. Cada pila tenía una dimensión de 2m de ancho x 2m de largo x 1m de alto.

Calculo de los materiales

*Volumen de los residuos de hoja de coca,* se utilizó como referencia una lata de manteca que tiene

la forma de un prisma recto. Coronel (2012), lo formuló de la siguiente manera:

$$V_{\text{volumen del prisma recto}} = (a * b * c) = m^3$$

$$V_{\text{residuos de hoja de coca}} = (0.20m * 0.20m * 0.35 m) = 0.014 m^3$$

La masa o la cantidad de los residuos de hoja de coca se pesó en la lata de manteca sobre una balanza analítica, obteniendo distintas cantidades y promediando se obtuvo 0.8 kg.

Densidad de la hoja de coca residual, en función a la masa y el volumen hallado. Coronel (2012), lo expresa como:

$$\delta = \frac{m}{V} = \frac{kg}{m^3}$$

$$\delta_{\text{residuos de hoja de coca}} = \frac{0.8 kg}{0.014 m^3} = 57.1 kg/m^3$$

El volumen estuvo en función al largo, ancho y altura de la pila, para la primera capa de residuos de hoja de coca:

$$V_{\text{volumen}} = (a * b * c) = m^3$$

$$V_{\text{residuos de hoja de coca}} = 2.00 m * 2.00 m * 0.30 m = 1.2 m^3/capa$$

Masa (cantidad), está en función a la densidad y el volumen. Coronel (2012), lo expresa como:

$$m = \delta * V$$

$$m_{\text{residuos de hojas de coca}} = 57.1 \frac{kg}{m^3} * 1.2 \frac{m^3}{capa} = 68.5 \cong 68 kg/capa$$

Por pila se armó dos capas de un total de 136 kilos y para las 12 pilas fue un total de 1632 kilos de hojas de coca.

Volumen del estiércol de vaca e ingesta (contenido ruminal), se utilizó como referencia una lata de manteca que tiene la forma de un prisma recto. Coronel (2012), lo formuló de la siguiente manera:

$$V_{\text{volumen del prisma recto}} = (a * b * c) = m^3$$

$$V_{\text{volumen de la lata}} = (0.20m * 0.20m * 0.35 m) = 0.014 m^3$$

Densidad del estiércol de vaca e ingesta, en función a la masa y el volumen hallado. Coronel (2012), lo expresa como:

$$\delta = \frac{m}{V} = \frac{kg}{m^3}$$

$$\delta_{\text{estiércol de vaca e ingesta}} = \frac{10.00 kg}{0.014 m^3} = 714.0 kg/m^3$$

La cantidad del estiércol de vaca (50%) más la ingesta (50%) se pesó en una balanza analítica, obteniendo distintas cantidades y promediando se obtuvo 10.00 kg.

El volumen estuvo en función al largo, ancho y altura de la pila, para la primera capa de estiércol de vaca e ingesta:

$$V = 2.00 \text{ m} * 2.00 \text{ m} * 0.20 \text{ m} = 0.8 \text{ m}^3/\text{capa}$$

Masa (cantidad), en función a la densidad y el volumen:

$$m_{\text{estiércol de vaca e ingesta}} = 714.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.8 \frac{\text{m}^3}{\text{capa}} = 571.2 \cong 571 \text{ kg/capa}$$

$$m_{\text{estiércol de vaca e ingesta}} = 571 * 2 = 1142.4 \cong 1142 \text{ kg/pila}$$

Por pila se armó dos capas de un total de 1142 kg y para las 12 pilas fue un total de 13704 kg de la mezcla de estiércol de vaca (50%) e ingesta (50%).

La cantidad está en función al porcentaje de humedad donde el estiércol de vaca es de un 86% y la ingesta de un 87%, estudios realizados por Parra & Castro (2004).

*Activadores biológicos:* Yogurt (Industrias PIL), Levadura Fleischman (Industrias Venado) y el Suero de leche procede de una vaca Holstein (Carrera de medicina Veterinaria y Zootecnia de la UPEA). Chilón (2010), indica que los derivados de la leche principalmente el yogurt y el suero de leche, así como la levadura, presentan un excelente efecto en la activación biológica del compost, disminuyéndose paulatinamente el tiempo de obtención del abono orgánico de 7 a 3.5 meses. Los activadores biológicos fueron utilizados directamente de sus envases sin realizar ningún tratamiento previo o análisis biológico, asimismo el agua utilizado fue potable para la preparación.

Preparación: Se mezcló 2 L de yogurt en 4 L de agua potable, 2 L de suero de leche en 4 L de agua

y 500 g de levadura en 4 L de agua, siendo estas los tratamientos y como testigo solo se utilizó agua del lugar (Kallutaca).

Procedimiento

Se impermeabilizó toda la superficie del suelo con un agrofilm de 250  $\mu\text{m}$ , para evitar la contaminación antrópica dentro de la pila de compost y de esa manera evitar ciertas impurezas que no están ligadas al producto final

No se realizó ningún tratamiento previo a los residuos de hoja de coca. Las pilas de compostaje estuvieron compuestas de las siguientes capas: Residuos de hoja de coca humedecida con 2 L agua con 30 cm de altura, estiércol de vaca e ingesta con 20 cm de altura, residuos de hoja de coca humedecida con 2 L agua con 30 cm de altura y por último estiércol de vaca e ingesta con 20 cm de altura. Se utilizó para cada pila un callapo de 1.50 m para sostener la pila de compost, asimismo se pudo observar el desprendimiento de metano que asciende a la atmósfera.

Se usó el activador biológico seleccionado para cada pila y utilizando una regadera a razón de un litro se aplicó de forma uniforme sobre los resi-

duos de hoja de coca en la primera y tercera capa de la pila de compostaje.

Finalizando se cubrió con el agrofilm de 250  $\mu\text{m}$  con una dimensión de 4 m x 4 m a todas las pilas de compostaje, tendiendo a mantener la temperatura y evitar la evaporación. Este proceso no se lo realiza para la producción extensiva, por ser costoso el material.

Manejo en el proceso de compostaje:

*Control de temperatura.* La temperatura se midió cada siete días con ayuda de un geotermómetro o termómetro de suelo expresado en  $^{\circ}\text{F}$ , convirtiéndose en  $^{\circ}\text{C}$  desde una profundidad de 30 cm iniciando desde la parte superior, hasta considerar las partes laterales de la pila de compost, para ello se consideró horarios de mañana y tarde a las 08:30 am y a las 13:00 pm, efectuándose muestreos en cada pila de compost para luego obtener promedios.

*Control de humedad.* Se realizó la medición de la humedad por pila para obtener un promedio, siendo medida cada siete días con un tester kelway soil de parámetros entre el 0-100%, a una profundidad de 25 cm desde la parte superior, de igual manera se consideró las partes laterales de la pila de compost.

*Aireación del sustrato o volteo.* Los volteos de las pilas de compost se realizaron cada quince días, utilizando una pala, una picota y un rastrillo, para que el material que está en el núcleo del compost quede afuera y el material que está afuera ingrese al interior o núcleo, estructurando de una forma uniforme los materiales teniendo así una descomposición adecuada en el proceso de compostaje.

*Cosecha del compost.* El compost o producto final se produjo a partir de materiales residuales que no siempre están libres de materiales inertes o impurezas, por lo que se procede al cernido, con un

cernidor artesanal, el diámetro de los poros era de 1cm, donde el sustrato presenta una textura de media a gruesa.

*Análisis de laboratorio.* Para el análisis químico, se pesó 1 kilo de cada muestra de acuerdo a las normas que exige el laboratorio y se llevaron a analizar de las doce pilas de compost, al Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA - UMSA). Donde los elementos determinados fueron: Cd, Pb, Hg, Cu, Cr y Ni, rigiéndose al método Microwave Reaction System/EPA.

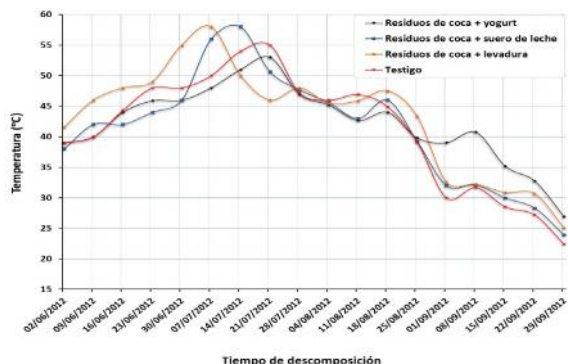
Moreno & Moral (2008), alegan que los productos elaborados con materias primas de origen animal o vegetal no podrán superar el contenido de metales pesados indicados, según sea su clase A, B o C:

**Tabla 1 Límites máximos en metales pesados en sólidos y líquidos (mg/kg)**

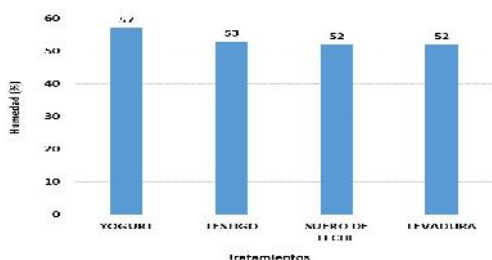
Metal	Clase A	Clase B	Clase C
	0.7	2	3
Cadmio			
Cobre	70	300	400
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Mercurio	0.4	1.5	2.5
Cromo (Total)	70	250	300

## Resultados

**Fig. 1** Evolución de la temperatura registrada en el compost de coca



**Fig. 2** Porcentaje de humedad



## Discusión

Costas *et al.* (1991), Un factor muy a tener en cuenta y que puede limitar el uso de compost, desde el punto d vista agrícola, es su contenido en metales pesados (Cd, Pb, Hg, Cu, Cr y Ni). A partir de una determinada concentración pueden resultar tóxicos para las plantas.

Las cantidades de metales pesados en los composts varían en función de los residuos que forman parte de él. Al respecto, Harte (1995) mencionado por Martí *et al.* (2002), indica que en el sector agropecuario son fuentes contaminantes los cohetes antigranizo, aguas residuales utilizadas para riego, guanos, composts, plaguicidas y fertilizantes.

Generalmente los metales pesados se encuentran en concentraciones bajas si se considera la fracción hidrosoluble de los composts, lo que significa que el peligro ligado a esta fase es más bien pequeño (Costas *et al.* 1995).

**Tabla 2** Peso del material inicial y final

Tratamientos	Peso de la hoja de coca (kg)	Peso del estiércol e ingesta (kg)	Peso del material inicial (kg)	Peso del material final (kg)
T1 (Residuos de coca + Yogurt)	408	3426	3834	773.77
T2 (Residuos de coca + Suero de leche)	408	3426	3834	763.72
T3 (Residuos de coca + Levadura)	408	3426	3834	806.63
T4 (Residuos de coca + Agua)	408	3426	3834	761.60
	1632	13704		

**Tabla 3** Concentración de metales pesados presentes en el compost

Tratamientos	Cd <sub>tot.</sub> (mg/kg)	Pb <sub>tot.</sub> (mg/kg)	Hg <sub>tot.</sub> (mg/kg)	Cu <sub>tot.</sub> (mg/kg)	Cr <sub>tot.</sub> (mg/kg)	Ni <sub>tot.</sub> (mg/kg)
T1 (Residuos de coca + Yogurt)	1.17	13.67	<0.20	30.33	9.20	12.00
T2 (Residuos de coca + Suero de leche)	1.27	15.00	<0.20	29.67	9.67	12.33
T3 (Residuos de coca + Levadura)	1.30	16.67	<0.20	30.33	9.57	12.67
T4 (Residuos de coca + Agua)	1.23	19.00	<0.20	31.33	8.23	12.67

Si sólo fuese preocupante la concentración de los metales contenidos en dicha fracción, el aporte de compost supondría poco problema; pero existe fracción de metales ligados a la parte sólida que se puede poner a disposición de las plantas. La fijación de los metales por la fracción sólida de los composts podría deberse a su materia orgánica, por medio de formación de complejos o bien por la formación de compuestos minerales insolubles, como los carbonatos, óxidos, etc. (Costas *et al.* 1995).

Rodríguez *et al.* (2012), Para el uso del compost, se requiere una evaluación sistemática de sus contenidos en metales pesados (MP), porque pueden acumularse en los suelos y sustratos, alterando el equilibrio biológico de los mismos y afectar al rendimiento de los cultivos y la salud animal, inclusive la del hombre.

*Cadmio total.* Costas *et al.* (1991), clasifica en diferentes parámetros (Bajo, Medio y Alto), obteniéndose la cantidad de cadmio presentes en T1, T2, T3 y T4 siendo pertenecientes a la clasificación baja.

Parra & Castro (2004), realizaron estudios sobre la producción aeróbica de compost a partir de residuos de mataderos de reses (Matadero Municipal de Achachicala de la ciudad de La Paz) y residuos de mercado, con referencia a cadmio fue  $<2$  mg/kg cuyo valor es determinado para todos los tratamientos. Huerta *et al.* (2006), comparan resultados de compost elaborados con materia orgánica procedente de RSU siendo las muestras de diversas instalaciones de compostaje del Estado español, obteniendo en cadmio un promedio de 0.9 mg/kg.

*Mercurio total.* Parra & Castro (2004), señalan que el promedio máximo de mercurio hallado fue de 0.41 mg/kg y como promedio mínimo fue de

0.1 mg/kg. Siendo el estudio sobre la producción aeróbica de compost a partir de residuos de mataderos de reses (Matadero Municipal de Achachicala de la ciudad de La Paz) y residuos de mercado (Mercado Rodríguez). Con relación a  $<0.20$  mg/kg de mercurio del presente estudio se le considera bajo a lo antecedido.

### Conflictos de intereses

La presente investigación fue financiada por la Universidad Pública de El Alto, Dirección de Investigaciones Ciencia y Tecnología (DICyT), siendo el intermediario el Instituto de Investigaciones y Extensión Agrícola (IINEA) de la Carrera Ingeniería Agronómica y no presenta conflictos de interés.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Pública de El Alto, Carrera Ingeniería Agronómica por habernos brindado los predios del Centro Experimental Kallutaca, para la ejecución del presente trabajo. Al Instituto de Investigaciones y Extensión Agrícola (IINEA), por la colaboración y apoyo del presente trabajo a través del Ing. Laoreano Coronel Quispe. A la Dirección de Investigaciones Ciencia y Tecnología (DICyT), por haberme dado el sustento económico para la ejecución del presente trabajo. Al Viceministerio de Coca y Desarrollo Integral (VCDI), juntamente con la Dirección General de la Hoja de Coca e Industrialización (DIGCOIN) y la Unidad de Industrialización de la Hoja de Coca, por la colaboración, apoyo, confianza, por la oportunidad de trabajar y contri-

buir a la sociedad. Al laboratorio de Calidad Ambiental – UMSA y a SPECTROLAB - UTO, por su colaboración en los análisis de muestras.

### Literatura citada

- Chilón E. Compostaje altoandino, alimento al suelo vivo y cambio climático. *CienciAgro*. 2010; 2: 221-227.
- Coronel RL. Química General. La Paz. Bolivia. 2012; 22-479 pp.
- Costa F, García C, Hernández T, Polo A. Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Murcia - España. 1991; 88 pp.
- Costa F, García C, Hernández T, Polo A. Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Murcia. 1995; 181 pp.
- Guarachi E. Balance hídrico en el cultivo de papa bajo condiciones de drenaje mixto en SukaKolllos en el centro experimental Kallutaca. Tesis de Licenciatura. Universidad Pública de El Alto. La Paz-Bolivia. 2011; 20 pp.
- Harte J. Guía de las sustancias contaminantes. Grijalbo. México. 1995.
- Huerta O, López M, Soliva M. Caracterización del compost producido en España. *Vida Rural*. 2006; 230: 22-23 pp.
- Martí L, Burba J, Cavagnaro M. Metales pesados en fertilizantes fosfatados, nitrogenados y mixtos. *Rev Fac Cienc Agrar*. 2002; 34: 43-48.
- Martí L, Burba JN, Cavagnaro M. Metales pesados en fertilizantes fosfatados, nitrogenados y mixtos. *Rev Fac Cienc Agrar*. 2002; 34(2): 43-48.
- Mendoza L. Denuncian que usan el folidol para fumigar coca. El Gobierno usará coca ecológica en industrialización. Los cultivos de coca tienen su origen antes de la Colonia. 2010. Disponible en <http://eju.tv/2010/03/se-usa-qui-micos-en-la-coca-sin-medir-su-impacto-en-la-salud>.
- Moreno CJ, Moral HR. Compostaje. (Edit. Cient.). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid - España. 2008; 238-320 pp.
- Parra R, Castro D. Producción aeróbica de compost a partir de residuos de mataderos de reses y mercados. 2004. Consultado 20 mar. 2014. Disponible en <http://www.cpts.org/proyinvesti/PROYECTO08.pdf>.
- Rodríguez-Alfaro M, Muñoz-Ugarte O, Calero-Martin B, Montero-Álvarez A, Martínez-Rodríguez F, Teudys-Limeres T, *et al.* Contenido de Metales Pesados en abonos orgánicos, sustratos y plantas cultivadas en organopónicos. *Cultrop*. 2012; 33: 5-12.
- Soliva M. Compostatge i gestió de residus orgànics. *Estudis i Monografies*, 21. Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. 2001; 111 pp.