Recibido: 10 enero 2022 Aceptado: 28 de febrero 2022

Aplicación de activadores biológicos en dos tipos de compostaje para la degradación de residuos orgánicos, Carmen Pampa, Coroico - Bolivia

Application of biological activators in two types of compost for the degradation of organic waste, Carmen Pampa, Coroico - Bolivia

Máximo Nova Pinedo[1] Beatriz Mamani Sánchez[2] y Juan Gabriel Álvarez Mejia[3]

[1]Carrera de Ingeniería Agronómica, Unidad Académica Campesina Carmen Pampa (UAC-CP) Universidad Católica Boliviana "San Pablo". https://orcid.org/0000-0003-1104-6402

[2]Departamento de Investigación y Proyectos - Unidad Académica Campesina Carmen Pampa (UAC-CP). Universidad Católica Boliviana "San Pablo". bmamani@uac-cp.edu.bo. https://orcid.org/0000-0002-9513-6941

[3]Carrera de Ingeniería Agronómica, Unidad Académica Campesina Carmen Pampa (UAC-CP) - Universidad Católica Boliviana "San Pablo".

bmamani@uac-cp.edu.bo

Resumen: Uno de los problemas que actualmente se suscitan en centros urbanos y rurales es la generación de basuras domésticas de un 80%. En el Municipio de Coroico hasta la fecha operativamente no cuenta con sistemas de descomposición el cual genera efectos negativos en el medio ambiente. Razón por la cual es necesario buscar alternativas de reutilización de basuras orgánicas. Es en ese sentido, el **[Objetivo]:** del trabajo fue evaluar la aplicación de activadores biológicos (yogurt, levadura) y un control (testigo) para acelerar la biodegradación de residuos orgánicos (restos de cocina, aserrín, cogollos de plátano, rastrojos vegetales y estiércol de cerdo) a través de dos métodos de compostaje en cajón y en pila en la descomposición. **[Metodología]** Se emplearon dos tipos de compostera (cajón y pila) a los cuales se adicionó desechos orgánicos. A cada uno de ellos, se agregó activadores biológicos (yogurt y levadura) y un control. El diseño aplicado fue DBA con arreglo bifactorial, con tres repeticiones. Las variables evaluadas son: temperatura y pH del sustrato, descenso del sustrato y porcentaje de descomposición. **[Resultados]:** La temperatura del sustrato por efecto de los activadores de yogurt y levadura se incrementó a 60ºC con relación al control. El pH y la altura del sustrato presentaron un similar comportamiento entre activadores no ocurriendo lo mismo con el control. Al cabo de 90 días, los dos tipos de activadores fueron más eficientes en la descomposición del compost en 93% y 94% que sin estos (56%). **[Conclusión]** La descomposición de restos orgánicos fue efectiva por la aplicación de los activadores (yogurt y levadura) que, en ausencia de estos, y el tipo de compostera cajón fue la más efectiva en la descomposición.

Palabras clave: Activadores biológicos, residuos orgánicos, tipos de compostaje, descomposición y biodegradación

Abstract: One of the problems that currently arise in urban and rural centers is the generation of 80% domestic waste. In the Municipality of Coroico, to date, it does not have operational decomposition systems, which generate negative effects on the environment. Reason why it is necessary to look for alternatives for the reuse of organic waste. In this sense, the [**Objective**]: of the work was to evaluate the application of biological activators (yogurt, yeast) and a control (control) to accelerate the biodegradation of organic waste (kitchen scraps, sawdust, banana buds, vegetable stubble and pig manure) through two methods of composting in bin and pile in decomposition. [**Methodology**] Two types of compost bins (drawer and pile) were used, to which organic waste was added. Biological activators (yogurt and yeast) and a control were added to each of them. The applied design was DBA with bifactorial arrangement, with three repetitions. The variables evaluated are: temperature and pH of the substrate, decrease in the substrate and percentage of decomposition. [**Results**]: The temperature of the substrate due to the effect of the yogurt and yeast activators increased to 60ºC in relation to the control. The pH and the height of the substrate presented a similar behavior between activators, but the same did not occur with the control. After 90 days, the two types of activators were 93% and 94% more efficient in compost decomposition than without them (56%). [Conclusion] The decomposition of organic remains was effective by the application of activators (yogurt and yeast) which, in the absence of these, and the type of drawer composter was the most effective in decomposition.

Keywords: Biological activators, organic waste, types of composting, decomposition and biodegradation

1 Introducción

El crecimiento poblacional se concentra principalmente en centros urbanos, que en rurales debido a la migración (Ormachea, 2009). Sin embargo, en áreas rurales depende de otras características como los centros de educación, zonas turísticas, entre otras, donde hay mayor afluencia de personas. Lo cual genera desechos orgánicos e inorgánicos, y lastimosamente no cuentan con un sistema operativo de manejo de residuos, como es el caso del Municipio de Coroico, que se considera en el primer Municipio turístico de Los Yungas de La Paz, tiene bastante afluencia de visitas por la cercanía del centro urbano de la ciudad La Paz.

Por otra parte, la generación de residuos sólidos según la Dirección de Desarrollo y Medio Ambiente se incrementa en 500% en los últimos 30 años en todas las ciudades capitales de Bolivia LIDEMA (2012) citado en (Vincenty, y otros, 2018). Los residuos sólidos generadas por las actividades cotidianas del ciudadano boliviano está dada en: 83% que provienen de los hogares, 10% de los mercados, 4% de la industria y mataderos, 2% de áreas públicas y 1% de hospitales (INE, 2017). La ausencia de un sistema integral de residuos sólidos urbanos en la población de

Coroico no sólo se ve reflejada en la presencia de basura en las calles, sino que también se refleja en la falta de concientización y coordinación con la sociedad civil que repercute la dinámica turística (Vincenty, y otros, 2018).

En las comunidades del Municipio de Coroico se tienen dificultades en el manejo y mala disposición que se acrecienta por el tiempo que tardan en descomponerse y en consecuencia son desechados en cualquier lugar. Por otra parte, las granjas generan desechos que son eliminados en desembocaduras de fuentes de agua que generan contaminación del medio ambiente provocando efecto invernadero con la emisión de gases, lixiviados que contaminan el suelo, cuerpos acuíferos y en consecuencia afectando la salud de los seres vivos.

Sin embargo, se tienen alternativas de tratamiento de residuos orgánicos para la recuperación, reutilización y transformación de los mismos, a fin de convertirlos en insumos útiles para sectores agrícolas, disminuyendo así el efecto negativo sobre el medio ambientes (Gómez, 2019). La agricultura orgánica propone el uso de abonos orgánicos para mejorar características físicas, químicas y biológicas del suelo, todo ello conlleva a una mejor disponibilidad de nutrientes para la planta y exprese un buen rendimiento (Gómez, 2010).

El compostaje es un proceso donde bacterias, hongos y actinomicetos degradan en un ambiente aeróbico, los materiales orgánicos. Durante el mismo se produce liberación de CO_2 y una reducción de la masa del material. Este proceso permite la disminución y/o eliminación de patógenos, elimina olores y estabiliza el material. El compostaje involucra distintas etapas relacionadas con cambios en la temperatura (mesófila-termófila-enfriamiento-maduración). Los factores que condicionan o gobiernan el proceso de compostaje son: la temperatura, humedad, pH, oxígeno, la relación C/N del material original, tamaño de partícula y calidad del sustrato. La relación ideal C/N de la mezcla al inicio del proceso es de 30:1 (Alvarez, y otros, 2016). La descomposición de la materia orgánica está influenciada por la actividad de los micro y macro organismos y por las condiciones ambientales (Bueno, 2008)

Los suelos contienen una amplia variedad de formas biológicas, con tamaños muy diferentes, como los virus, bacterias, hongos, algas, colémbolos, ácaros, lombrices, nemátodos, hormigas y, por supuesto, las raíces vivas de las plantas superiores que facilitan la desintegración de compuestos orgánicos (Fassbender, 1982; Wild, 1992) citado en Julca *et al*, 2006).

Otra de las ventajas que presenta los residuos orgánicos están libre de patógenos y parásitos (OPS, 1999). El proceso de compostaje requiere entre 4 a 6 semanas, puede ser revertida por el avance tecnológico incorporando aditivos al proceso de compostaje, con el fin de acelerar el proceso a los cuales se conoce como activadores

Uranga, 1995 cit. en (Jiménez, 1998), estos son un suministro de azúcares, nitrógeno, cepas seleccionadas de bacterias u otros microorganismos, enzimas, plantas medicinales y preparados biodinámicas (Dalzell, y otros, 1991). En trabajos previos mencionan usar el yogur, el suero de leche y la levadura, las cuales se detalla sus características en la siguiente tabla (Chilón, 2010)

Tabla 1. Relación de activadores biológicos y su composición.

Activador	Descripción	Minerales y proteínas	Relación activador/agua
Yogur	*Estreptococos, Lactobacilos bulgaricos*	Proteína 3%, Ca 178 mg/kg, P 213mg/kg, K 350 mg/kg, So 100 mg/kg	2 L/4 L
Suero de leche	Liquido del procesado de queso	Proteína 0,96% Ca 0,53% P 0,33%	2 L/4 L
Levadura	*Saaccharomyces* sp (fresco royal)	Ca 4.100 mg/kg, P 9.200 mg/kg, K 9.900 mg/kg, Mg 2.300 mg/kg	0,5 kg/4 L

Fuente: Chilon (2010).

En este sentido, en el presente trabajo de investigación planteó como objetivo evaluar la aplicación de activadores biológicos (yogurt y levadura) y un testigo (control) para acelerar la biodegradación de residuos orgánicos bajo dos métodos de compostaje (cajón y pila) en la Comunidad de Carmen Pampa en el Municipio de Coroico. Al mismo tiempo a) comparar las fluctuaciones de la temperatura y pH de compostaje con la aplicación de activadores biológicos en dos métodos de compostera tipo cajón y pila. b) determinar el porcentaje de descomposición de la materia orgánica con la aplicación de activadores biológicos (yogurt y levadura) en dos métodos de compostaje.

2 Materiales y métodos

2.1 Localización del área de estudio

La Comunidad de Carmen Pampa se localiza en el Municipio de Coroico, provincia Nor Yungas del Departamento de La Paz. Se encuentra a 16°26'40" de longitud Sur y 67°69'78" de longitud Oeste a una altitud de 1.750 m s.n.m. A una distancia de la ciudad de La Paz a 123 km.

2.2 Metodología

Previamente se acondicionó el espacio trabajo en instalaciones de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. Se construyeron 9 cajones de madera de 1 cubo, y con el fin de facilitar la aireación, se dejó un espacio de 50 cm entre los laterales del cubo los cuales serían usados como compostera tipo cajón. Sin embargo, para las pilas de compostera se construyó con ayuda de callapos (troncos de madera) en función a lo recomendado por la (FAO, 2001) de largo, ancho y alto de 1 m de la compostera tipo pila.

Por otra parte, se acopio residuos orgánicos como: a) desechos de cocina de las dos cooperativas de la Universidad y de Colegios y pensiones de Coroico, b) el aserrín se obtuvo de la barraca de la Universidad y c) estiércol de cerdo se consiguió de la granja San Gabriel de la Comunidad de Carmen Pampa. Todo el material orgánico se procedió a triturar entre 15 a 20 cm, esto con el fin de aumentar espacios de aire y facilitar la actividad metabólica y reproducción de los microorganismos. El apilamiento de los restos orgánicos se realizó en capas, de la siguiente forma se colocó en capas desde la base del suelo a cada tipo de compostera, primero se agregó el material vegetal hasta 20 cm de altura, restos de cocina 10 cm, estiércol de cerdo 10 cm, tierra del lugar, aserrín 6 cm y cogollos de plátano así sucesivamente hasta llegar una altura de 1 m tanto en las composteras de cajones y en pilas de acuerdo a lo sugerido por Paco *et al* (2011).

La preparación de los activadores consistió en la mezcla de 2 L de yogurt disueltos en 4 L de agua; y para la levadura 0,5 kg en 4 L de agua, tal como recomienda (Chilón, 2010). Los activadores fueron aplicados durante el apilado en cada compostera. Seguidamente, en cada compostera se mezcló para regular la temperatura óptima para los microorganismos y para proteger los cambios de temperatura y humedad, sobre todo de la lluvia y fueron cubiertas con nylon de color negro.

Para homogenizar los sustratos y controlar los factores de descomposición, se realizó el volteo 2 veces de forma manual con la ayuda de una pala permitió remover y mezclar el material compostado y para airear se colocaron chimeneas con el fin facilitar el ingreso de oxígeno en los dos tipos de compotera.

En una etapa inicial, a cada compostera se adiciono 5 L de agua y posteriormente fue a requerimiento, con fines prácticos se saca un puñado de compostaje y se aprisiona con la palma, si sale 5 mL de líquido significa que está húmedo, de lo contrario se adiciona agua (metodología aplicada en los módulos didácticos por los técnicos de la UAC-CP, Com. per. Ing. Máximo Nova, 2019). Finalmente, se realizó la cosecha del compost, el criterio usado es cuando la materia orgánica generada

producto del compost presenta aspectos similares de tierra suelta y olor agradable (Paco, *et al* 2011).

Elaboración de compostera tipo cajón	Elaboración de compostera tipo pila
Elaboración del mix de activadores biológicos	**Distribución de Unidades experimentales**

Medición de descenso	Medición de pH de sustrato
de sustrato	

Figura 1: Secuencia procedimental de la metodología aplicada durante el trabajo de investigación.

2.3 Diseño experimental

El experimento consistió en un diseño de bloques completamente al azar con arreglo bifactorial: 2 tipos de compostaje, 2 tipos de aplicación de activadores biológicos y un testigo (sin activador), con 3 repeticiones (bloques) por cada tratamiento. Resultado de la combinación se tiene 18 unidades experimentales.

Tabla 2. Combinación de tratamientos

Tipo de compostera	Activadores biológicos		
	Testigo	Levadura	Yogurt
Cajón	*T-1*	*T-3*	*T-5*
Pila	*T-2*	*T-4*	*T-6*

2.4 Análisis de datos

Se realizó el análisis de varianza (ANVA) para determinar diferencias entre y dentro grupos, en el caso de presentar diferencias se realizó la comparación de medias Duncan (Beltrán, 2015). La evaluación se realizó cada 15 días durante 90 días.

2.5 Las variables de respuesta evaluadas

a) Temperatura durante el proceso de compostaje fue registrada con termómetro a 50 cm de profundidad de la muestra del sustrato.

b) Descenso de volumen del sustrato orgánico de las pilas o cajón de la compostera con la ayuda de una cinta métrica se procedió a medir el volumen del compost desplazado, desde la parte superior hasta el volumen desplazado.

c) Para la medición del pH del humus, por el método del cuarteo se obtuvo una muestra de 1 kg de humus para determinar el pH, y para ello se empleó el método del potenciómetro usando una relación de 30 g de compost en 50 ml de agua destilada en un vaso precipitado de 100 ml de agua destilada luego se diluyo con una varilla de vidrio, se dejó reposar por 10 minutos y posteriormente se midió el pH (Recomendaciones docente de la materia de fertilidad de suelos com. per. Mamani UAC-CP).

d) Porcentaje de descomposición para ello se extrajo a 1 kg de compost de cada tratamiento este fue tamizado (tamiz de 1 cm x 1 cm) y mediante la siguiente formula se determinó el porcentaje de descomposición

$$\%Descomposición = \frac{muestra\ cernida\ kg}{muestra\ recolectada\ kg} 100\%$$

Formula fue tomada de Paco *et al* (2010)

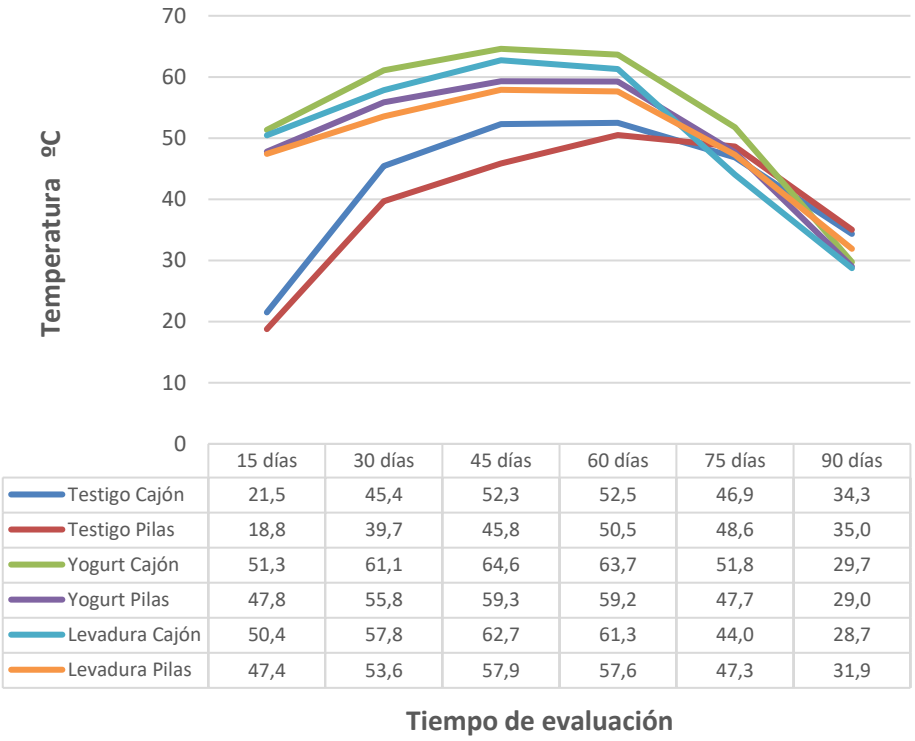
La información se analizó empleando el programa estadístico InfoStat L versión 2018.

3 Resultados y Discusión

3.1 Temperatura

Según el ANVA para la variable temperatura no presentó diferencias significativas entre bloques y la interacción de factores (tipo de compostera y activadores biológicos) a los 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días (F=0,09; F=0,19; F=0.32; F=0.88; F=2,93; F=1,03; $GL_{2,12}$P>0.05) respectivamente. Sin embargo presentaron diferencias entre activadores biológicos a los 15, 30, 45, y 60 días (F=649,92; F=116,27; F=99,71; F=64,29; $GL_{2,12}$ P<0.05) respectivamente, excepto 75 y 90 días (F=2,48 y F=3,28; $GL_{2,12}$ P>0.05) respectivamente, en las que no mostraron diferencias. En la **Figura 2** se evidencia, que sin la adición de un activador biológico a los 15, 30, 45 y 60 días, la temperatura fue menor con relación a los activadores

biológicos con yogurt y levadura, excepto a 75 y 90 días, que no hay diferencias en el registró de la temperatura entre los activadores biológicos y el control. Con relación a los dos tipos de activadores, la temperatura mayor con adición de yogurt que la levadura, excepto a los 75 y 90 días estas fueron similares, ocurriendo la misma situación para el testigo (control). A la vez, se observa una máxima temperatura registrada a los 45 y 60 días de evaluación tanto con el yogurt (62ºC y 61ºC) y la levadura de 60ºC y 59ºC. Los tratamientos con los activadores biológicos a los 45 y 60 días presentaron una mayor temperatura, lo que significa una la intensificación de la actividad de los microorganismos durante el proceso de compostaje. Dichos resultados son respaldados por (Chilon, y otros, 2015)



	15 días	30 días	45 días	60 días	75 días	90 días
Testigo Cajón	21,5	45,4	52,3	52,5	46,9	34,3
Testigo Pilas	18,8	39,7	45,8	50,5	48,6	35,0
Yogurt Cajón	51,3	61,1	64,6	63,7	51,8	29,7
Yogurt Pilas	47,8	55,8	59,3	59,2	47,7	29,0
Levadura Cajón	50,4	57,8	62,7	61,3	44,0	28,7
Levadura Pilas	47,4	53,6	57,9	57,6	47,3	31,9

Figura 2: Variación de la temperatura en el proceso de compostaje, según el activador biológico.

En cuanto a los tipos de compostaje presentaron diferencias para los tiempos de evaluación de 15, 30, 45 y 60 días (F=16,58; F=31,20; F=46,54 y F=19,71; $GL_{1,12}$ $P<0.05$) respectivamente, excepto a los 75 y 90 días (F=0,41, F=0,34; $GL_{1,10}$ $P>0.05$). A través de la **Figura 3** se observa, a los 45 y 60 días la temperatura fue mayor en el

tipo compostera cajón en relación a la compostera pila. En función a las fases térmicas que ocurre en el proceso de compostaje, se podría señalar que a los 30 días de evaluación llego a 45ºC (con los dos tipos de activadores). Al respecto, (Marquez, y otros, 2005) señalan la temperatura llega a 45ºC comienza el proceso de compostaje y los microorganismos se multiplican rápidamente en pocos días e incluso en horas a consecuencia de la actividad metabólica que utilizan hidratos de carbono y proteínas fácilmente asimilables.

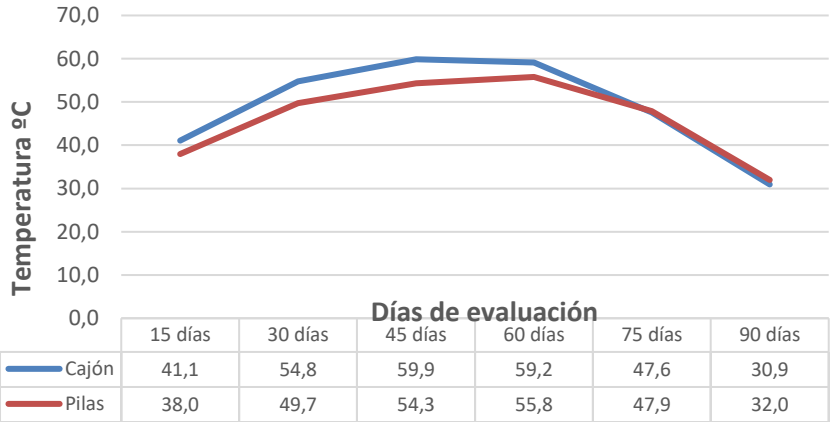
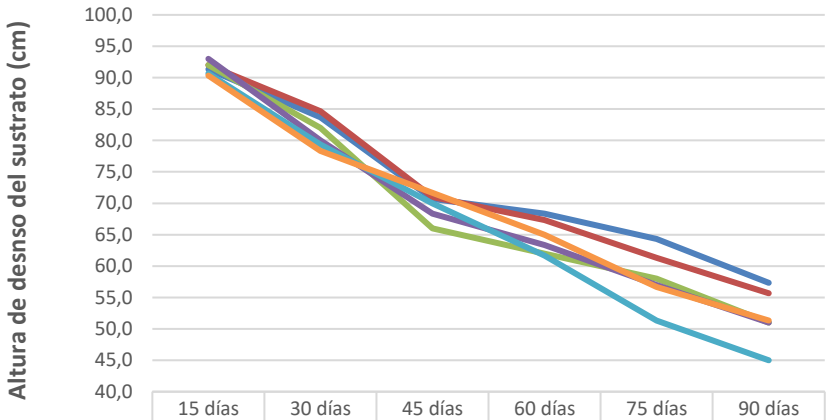


Figura 3: Variación de la temperatura en el proceso de compostaje según el tipo de compostera.

Al registrarse una temperatura mayor a 60ºC a los 45 y 60 días con los activadores y tipos de compostera (**Figura 2** y **3**) es un indicador de la fase termofílica según la (FAO, 2013) menciona que valores cercanos a 60ºC y 70ºC, los microorganismos mesófilos son reemplazadas por aquellas que crecen mayores temperaturas, en su mayoría bacterias termófilas que facilitan la degradación de fuentes más complejas de carbono y nitrógeno en amoniaco. A partir de los 60ºC las bacterias termófilas cesan su actividad y aparecen hongos que producen enzimas para degradar la lignina y hemicelulosa. Esta fase también recibe el nombre de higienización, por el calor generado que destruye bacterias, contaminantes de origen fecal, quistes semillas de malezas, puede durar desde unos días hasta meses dependiendo de las condiciones climáticas, lugar y otros factores. Además, en las **Figuras 2 y 3** se denota que a los 75 días la temperatura desciende drásticamente y por consecuente está ingresando a la fase de maduración y se esperaría la descomposición de la materia orgánica (FAO, 2013).

3.2 Altura de descenso de sustrato

El ANVA para la altura de descenso de sustrato no presentó diferencias significativas entre bloques. Sin embargo, presentaron diferencias entre los tipos de activadores biológicos y el testigo a los 30, 45, 60, 75 y 90 días respectivamente (F=19,94; F=4,43; F=14,61; F=16,09 y F=55,79; $GL_{2,12}$ P<0.05) excepto a 15 días (F=0,50; $GL_{2,12}$ P>0.05) no mostraron diferencias. En la **Figura 4** se evidencia, que la adición de activadores (yogurt y levadura) hay un descenso del sustrato que sin estos. Esta situación puede explicarse por la actividad de los microrganismos presentes en el yogurt y levadura a los 45, 60, 75 y 90 días en el proceso de compostaje (degradación de restos de materia orgánica) y en consecuencia el descenso de la altura del sustrato esta afirmación es confirmada por la (OPS, 1999) quienes señalan que además de la actividad de los microorganismos depende del manejo de la compostera y los aditamentos empleados.



	15 días	30 días	45 días	60 días	75 días	90 días
Testigo Cajón	91,3	83,7	70,7	68,3	64,3	57,3
Testigo Pilas	92,0	84,7	71,0	67,3	61,3	55,7
Yogurt Cajón	92,0	82,0	66,0	62,0	58,0	51,0
Yogurt Pilas	93,0	80,0	68,3	63,3	57,0	51,0
Levadura Cajón	90,7	79,3	70,0	61,7	51,3	45,0
Levadura Pilas	90,3	78,3	71,7	65,0	56,7	51,3

Figura 4: Variación de la altura de descenso de sustrato (cm) en el proceso de compostaje según el tipo de activador biológico.

Con relación a los tipos de compostaje, el ANVA no presentó diferencias a los 15, 30, 45, 60 días respectivamente (F=16,58; F=31,20; F=46,54; F=19,71; $GL_{1,12}$ P>0.05). Entretanto, en la interacción de factores (tipo de compostera*activador biológico) el ANVA no detecto diferencias significativas a los 15, 30 y 45 días

(F=1,98; F=1,27; F=0,2; $GL_{2,12}$ P>0.05) respectivamente. No obstante, presentó diferencias a los 75 y 90 días (F=14,7; F=11,3; $GL_{2,12}$ P<0.05) respectivamente. En la **Figura 5** se observa a los 75 días la combinación del tipo de compostera pilas sin activadores biológicos presentó menor descenso con relación a la compostera tipo cajón. Sin embargo, la compostera tipo cajón en combinación con los activadores de yogurt y levadura presentaron un rápido descenso de 55 cm (yogurt) y de 51 cm (levadura) con relación a la compostera en pilas descendió el sustrato a 57 cm.

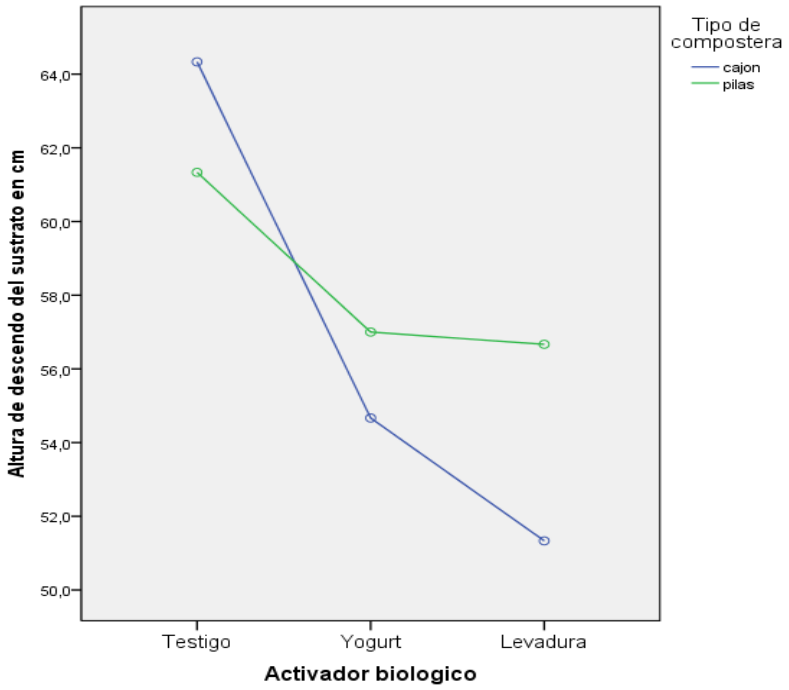


Figura 5: Efecto de la interacción del tipo de compostera (cajón y pilas) y los activadores (testigo, yogurt y levadura) en la altura de descenso del sustrato a los 75 días de evaluación.

Para los 90 días de evaluación de interacción (tipo de compostera*activador biológico) se denota que la combinación tipo cajón con el activador levadura presentó menor descenso de 45 cm con relación al tipo pilas (51 cm), y este presentó similar comportamiento con el activador del yogurt (**Figura 5**). Con ello se constata, que la combinación de levadura y cajón a los 75 y 90 días presentan un rápido descenso del sustrato (**Figura 5 y 6**).

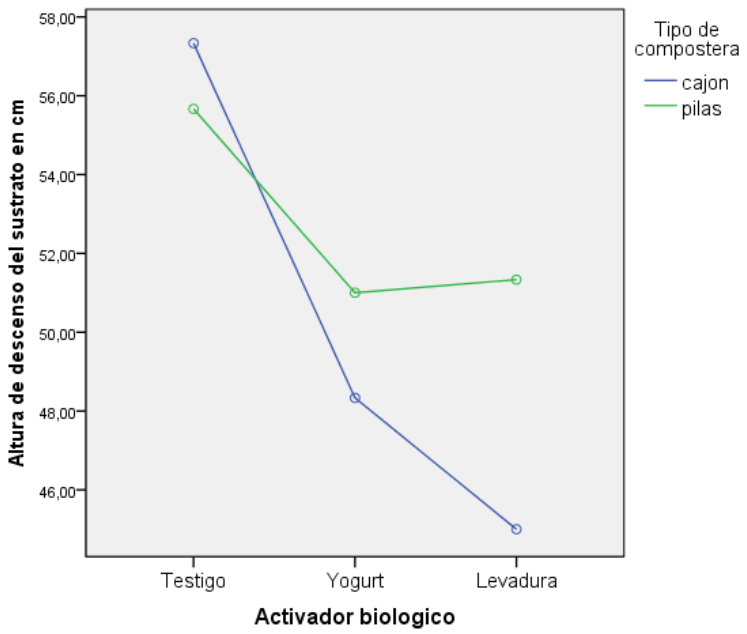


Figura 6: Efecto de la interacción del tipo de compostera (cajón y pilas) y los activadores (testigo, yogurt y levadura) en la altura de descenso del sustrato a los 90 días de evaluación.

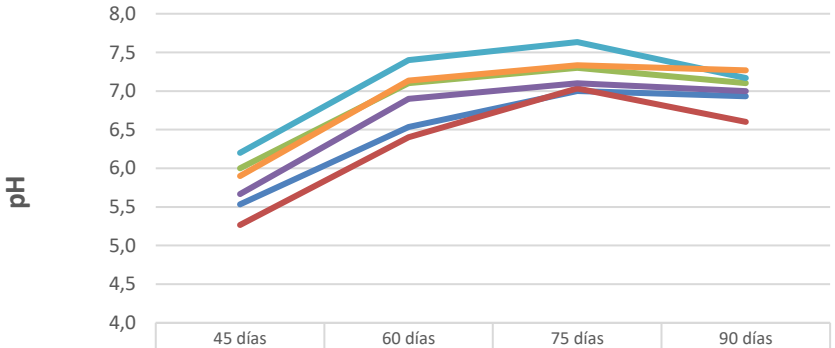
3.3 Variación del pH

Según el ANVA no presentó diferencias significativas entre bloques y la interacción de factores (tipo de compostera y activadores biológicos) a los 45, 60, 75 y 90 días respectivamente (F=0,11; F=0,87; F=2,81; $GL_{2,12}$ P>0.05). Sin embargo, se presentaron diferencias entre activadores biológicos a los 45, 60, 75 y 90 días respectivamente (F=45,15; F=18,61; F=13,39 y F=13, 77; $GL_{2,12}$ P<0.05). En la **Figura 7** se evidencia que sin la adición del activador biológico el pH está por debajo de 5,4; 6,4; 7,0 y 6,8. Con relación al yogurt (5,8; 7,0; 7,3 y 7,0) y levadura (6,0; 7,3; 7,4; 7,2) respectivamente. A través del tiempo, se observa que a partir de los 60 días el pH se incrementa en los dos tipos de activadores y el control.

El comportamiento del pH en era el esperado debido a que durante el compostaje se reportan variaciones desde el día 45 al 90 y esto es explicado por (Miyashiro, 2014) quien indica que la fase mesófila el pH desciende por la producción de ácidos orgánicos, el cual puede estar menor a 5, en esta etapa predominan microorganismos mesófilos, hay un ascenso en la temperatura; durante la fase termófila el pH es alcalino subiendo a valores de 8 a 8.5 puede caer ligeramente

durante la etapa de enfriamiento a valores entre 7 a 8 valores hasta obtener un compost maduro.

En los dos tipos de activadores utilizados al igual que el control se encuentran dentro de un rango de pH óptimo de 6 a 7.5, los cuales son importantes para el crecimiento y multiplicación de microorganismos (FAO, 2013). Al respecto, Benito *et al.* (2005), considera que el valor del pH aumenta gradualmente hasta valores constantes entre 6,5 y 8,5, dependiendo del material empleado (Moreno, otros, 2008). El aumento del pH se debe a la degradación de compuestos de naturaleza ácida y la mineralización de compuestos nitrogenados hasta formar amoníaco, actuando también el proceso de amonificación como un importante sumidero de protones.



	45 días	60 días	75 días	90 días
Testigo Cajón	5,5	6,5	7,0	6,9
Testigo Pilas	5,3	6,4	7,0	6,6
Yogurt Cajón	6,0	7,1	7,3	7,1
Yogurt Pilas	5,7	6,9	7,1	7,0
Levadura Cajón	6,2	7,4	7,6	7,2
Levadura Pilas	5,9	7,1	7,3	7,3

Figura 7: Variación del pH en el proceso de compostaje según el tipo de activador biológico.

Con relación a los tipos de compostaje el ANVA presentó diferencias a los 45 y 75 días de evaluación ($F=27,82$ y $F=8,17$; $GL_{1,12}$ $P<0.05$) respectivamente, no obstante, el ANVA no presentó diferencias significativas ($F=3,71$ y $F=2,46$; $GL_{1,12}$ $P>0.05$) a los 60 y 90 días respectivamente. En la **figura 8** se observa que el pH a partir de 60 días presenta un incremento en relación al día 45. De la misma forma se muestra que la compostera tipo cajón presentó un leve incremento de pH con relación al tipo de compostera en pilas.

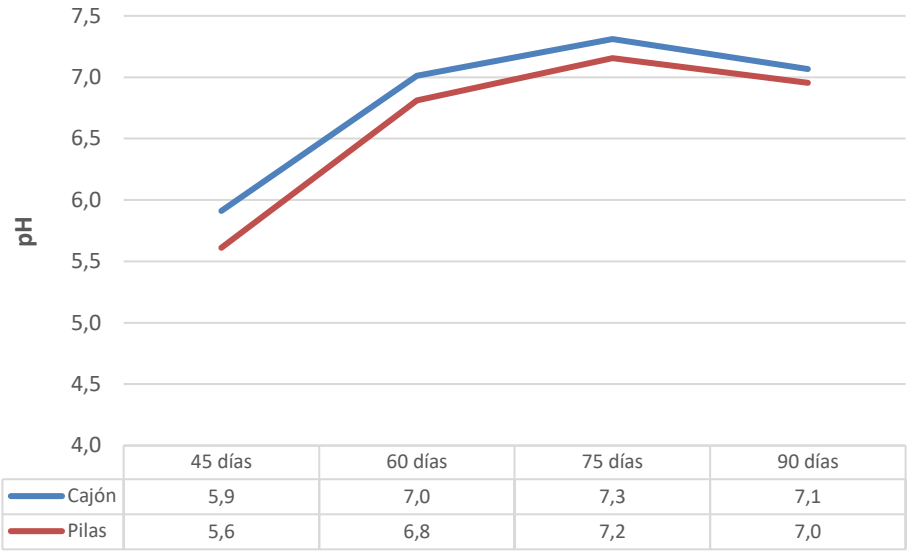


Figura 8: Variación del pH en el proceso de compostaje según el tipo de compostera.

3.4 Porcentaje de descomposición

De acuerdo al ANVA el porcentaje de descomposición del compost detecto diferencias significativas a los 45, 60, 75 y 90 días de evaluación (F=13,5; F=114,2; F=275 y F=1228,2; $GL_{2,12}$ $P<0.05$) respectivamente. En la **figura 9** se observa que la adición de activadores biológicos presenta un mayor porcentaje de descomposición en relación al control. Sin embargo, a los 90 días los dos tipos de activadores son más eficientes en la descomposición del compost, alcanzando de 93% y 94%, ocurriendo lo contrario sin estos (56%). La diferencia de resultados encontrados puede ser explicada los activadores tienen bacterias y otros microorganismos que podrían acelerar el proceso de compostaje.

En el caso del yogurt, las bacterias que tiene son de la familia *lactobacteriaceae* gram positivas, comúnmente no móviles, no esporuladas que producen ácido láctico que suprime microorganismos dañinos y ayuda a la descomposición de los materiales como la lignina y la celulosa fermentándolos, removiéndolos efectos indeseables de la materia a través de su metabolismo fermentativo, todas las bacterias del grupo crecen en anaerobiosis, pero la mayor parte de ellos no son sensibles al oxígeno y pueden crecer con o sin oxígeno por lo que anaerobios (Paniagua, 2008). Mientras que las levaduras son organismos unicelulares en algún momento de su ciclo se multiplican por brotación o fusión pertenecen a dos clases de hongos (ascomicetico y basidiomicetico), producen ciertas enzimas que generan fermentación de hidratos

de carbono y son microorganismos que sintetizan sustancias antimicrobiales y útiles para las plantas, son organismos aerobios facultativos que indica que las levaduras pueden vivir con oxígeno si carecen de este elemento obtienen su propia energía por fermentación, se generan prácticamente las vitaminas y proteínas vegetales de gran valor biológico, enriquecido con oligoelementos y minerales procedentes de su sustrato alimentario (APROLABL, 2007).

Con respecto a la presencia de microorganismos Paco *et al.* (2004) mencionan que a medida que los microorganismos van descomponiendo los compuestos simples de la materia orgánica, como el potasio disminuye paulatinamente; al concluir el proceso de descomposición, los microorganismos mueren y los nutrientes aprovechados son mineralizados como óxido de potasio (K_2O) para liberar el potasio alimentando en el compost con mayor carga de potasio al final.

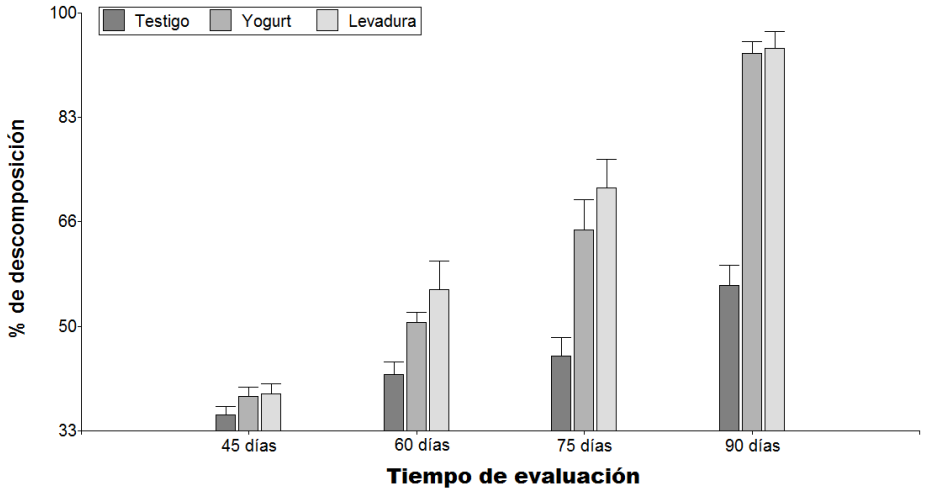


Figura 9: Porcentaje de descomposición de sustrato según el tipo de activador biológico

Cabe recalcar que los dos tipos de activadores presentaron una mayor temperatura que facilita la descomposición. Al respecto, (Villegas, 2002) y (Mollinedo, 2009) indican que los tratamientos con mayores temperaturas se descomponen más rápido.

El ANVA presentó diferencias significativas entre tipos de compostera a los 45, 60 y 90 días de evaluación (F=10,26, F=3,71 y F=8,17; $GL_{1,18}$ $P<0.05$) respectivamente, no obstante, el ANVA no presentó diferencias significativas a los 90 días de evaluación (F=28,92; $GL_{1,18}$ $P>0.05$). En la **figura 10** se muestra que el

tipo de compostera cajón fue en la que registró un mayor porcentaje de descomposición de compost en relación al tipo pilas.

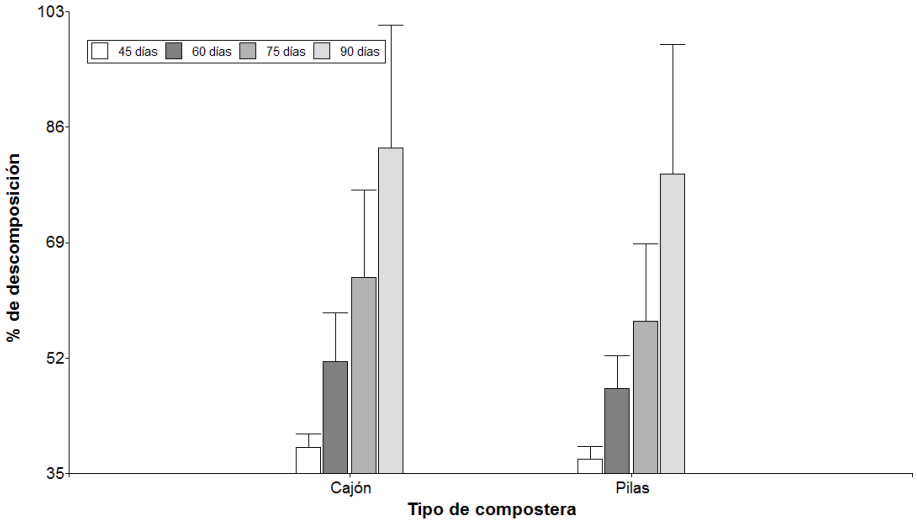


Figura 10: Porcentaje de descomposición de sustrato según el tipo de compostera.

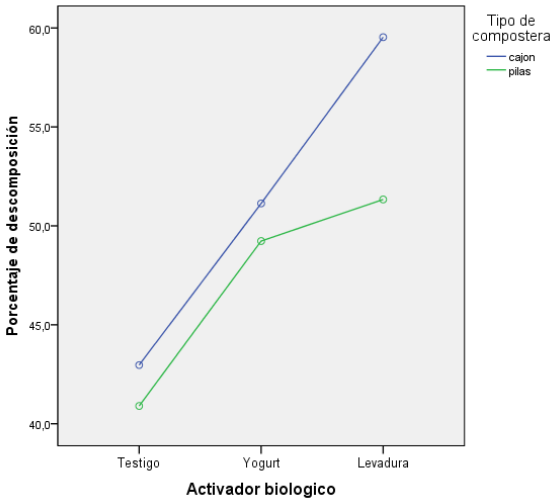


Figura 11: Efecto de la interacción del tipo de compostera (cajón y pilas) y los activadores (testigo, yogurt y levadura) en el porcentaje de descomposición a los 60 días de evaluación.

Con respecto, a la interacción de factores, el ANVA detecto diferencias significativas a los 60 días de evaluación (F=7,95; $GL_{2,12}$ P<0,05), entretanto a los 15, 45 y 60 no se presentó diferencias estadísticas (F=0,14; F=1,73 F=1,51; $GL_{2,18}$ P>0,05) respectivamente. A través de **Figura 11** se visualiza que la combinación tipo de compostera cajón con la levadura presenta mayor porcentaje de descomposición del sustrato (60%) con respecto a la compostera tipo pilas que registró 51% de descomposición.

4 Conclusiones

A los 45 a 60 días de evaluación por efecto de los activadores de yogurt y levadura, la temperatura del sustrato se incrementó en relación al testigo, lo cual favoreció en la descomposición del sustrato que es un indicador de inicio del proceso de descomposición de la materia orgánica y en consecuencia el proceso de mineralización. Por otra parte, el descenso de la altura del sustrato con la adición de activadores (yogurt y levadura) fueron similares, y estos a la vez fue diferentes del control que tardaron en descender. La medición del pH presentó un similar comportamiento a 45, 60, 75 y 90 días. El tipo de compostera cajón presentó un pH mayor que la compostera pilas.

Al cabo de 90 días de evaluación los dos tipos de activadores (yogurt y levadura) fueron más eficientes en la descomposición del compost con relación al control, obteniéndose un 93% y 94% de descomposición con yogurt y levadura respectivamente, en cambio sin la adicción de activadores llega a descomponerse un 56%. Entre tipos de compostera, el tipo cajón fue más efectivo.

Con el presente trabajo se presenta una alternativa de reutilización de residuos generados en la cocina para la obtención de compost y en áreas rurales o sem-rurales como las Comunidades del Municipio de Coroico y minimizar la contaminación visual y con ello mejorar la calidad de la fertilidad del suelo.

Bibliografía

[1] Alvarez, CR y Rimski-Korsakov, H. 2016. *Abonos orgánicos.* Argentina : s.n., 2016. págs. 35-51.

[2] APROLABL. 2007. *Manual para la producción de compost con microorganismos eficientes.* 2007. pág. 78.

[3] Beltrán, JL. 2015. *Diseños Experimentales.* Oruro : Latinas, 2015. pág. 120.

[4] Benito, M, y otros. *Comparasion of a gas detection tubes test with the traditional alkaline trap method compost stability.* 41, s.l. : Biol Fertil Soils, págs. 447-450.

[5] Bueno. 2008. *Compostaje alto andino, suelo vivo y cambio climático.* s.l. : Instituto de Medicina Biológica, 2008. págs. 10-15.

[6] Chilón, E. 2010. *Compostaje alto andino. Suelo vivo y cambio climático.* s.l. : Ciencia Agro, 2010.

[7] Chilon, E y Chilon, J. 2015. *Compostaje Alto Andino, seguridad alimentaria, cambio climática y biorremediación de suelos.* s.l. : CienciAgro, 2015. págs. 43-56.

[8] Dalzell, HW, y otros. 1991. *Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales.* Italia : FAO, 1991.

[9] FAO. 2001. *Manejo de suelos, producción y uso de compost en ambientes tropicales y subtropicales.* Italia : s.n., 2001.

[10] —. 2013. *Manual de compostaje del agricultor.* Chile : s.n., 2013.

[11] Gómez. 2010. *Taller de Recursos Orgánicos para la Agricultura FIDAR Cochabamba Bolivia.* Cochabamba : s.n., 2010.

[12] Gómez, RP. 2019. *Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en el Municipio de Santa Cruz de Barahona, provincia Barahona.* Instituto Tecnologico de Santo Domingo, Barahona : 2019.

[13] INE. 2017. *Residuos sólidos en ciudades capitales y El Alto llegó a más de un millón de toneladas.* 2017.

[14] Jiménez, DM. 1998. *Normas de calidad de compost.* Universidad de Córdova Escuela Tecnica Superior de Ingenieros Agrnómos y de Montes, Córdova : 1998.

[15] Julca, A, Menese, L: Blas, R y Bello, S. 2006. *La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso.*Chile : IDESIA, 2006.

[16] Marquez, M y Urquiaga, M. 2005. *Manual del buen compostador.* s.l. : GRAMA, 2005.

[17] Miyashiro, I. 2014. *Calidad de seis formulaciones de compost enriquecido con guano de islas.* Universidad Nacional Agraria, La Molina : 2014.

[18] Mollinedo, Z. 2009. *Determinación de la calidad de compost elaborado a partir de residuos solidos orgánicos en el municipio Puerto Mayor de Carabuco Provincia Camacho.* Universidad Mayor de San Andrés, La Paz : 2009.

[19] Moreno, CJ y Morales, HR. 2008. *Compostaje.* Madrid : mundi prensa, 2008, págs. 238-320.

[20] OPS. 1999. Ornganización Panamericana de la Salud. *Manual de la eloboración de Compost: bases y procedimientos.* [En línea] 1999. http://ops-uruguay.bvsalud.org/pdf/compost.pdf.

[21] Ormachea, E. 2009. *Soberanía y seguridad alimentaria en Bolivia: Políticas y estado de situación.* 2009.

[22] Paco, G, y otros. 2015. *Efecto de la lombriz roja californiana (eisenia foetida) durante el composten y vermiconposteo en predios de la estacion experimentak de la Unidad Académica Campesina de Carmen Pampa*, Coroico : Selva Andina, 2015, Vol. 2, págs. 24-39.

[23] Paniagua, J. 2008. *Guía de tecnologia de microorganismos eficientes.* Costa Rica : ADOPAR, 2008.

[24] Villegas, A. 2002. *Aprovechamiento de residuos organicos urbanos para la elaboracion de compost, con la aplicacion de un acelerador orgánico.* Universidad Mayor de San Andres, La Paz : 2002.

[25] Vincenty, RA y Riocaldi, RV. 2018. *Influencia de los residuos sólidos urbanos en la imagen turística del centro urbano del municipio de Coroico.* UMSA, La Paz : 2018.