

Evaluación del compostaje de residuos de dos agroindustrias palmiteras del Trópico de Cochabamba en silos hiperventilados

Paola Yañez Q., Alberto Levy M., Mauricio Azero A.

Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica Boliviana
Av. General Galindo s/n, Cochabamba, Bolivia

e-mail: paola_yanezq@hotmail.com, mzero@ucbcba.edu.bo

Resumen

El procesamiento de palmito en las agroindustrias Bolhispania y Fabopal genera un promedio de 9.483 t año⁻¹ de residuos sólidos orgánicos, los cuales bajo el sistema actual de disposición final a cielo abierto, provocan impactos negativos sobre el medio ambiente. Un equipo técnico propuso el compostaje de estos residuos a través de un proceso de alta temperatura, denominado compostaje en silos hiperventilados (CSH), aplicado por primera vez en Bolivia. En este contexto, se evaluó la etapa de descomposición rápida del proceso en los aspectos técnico y ambiental. Esta evaluación reveló varios aspectos positivos que la posicionan como una opción ventajosa; entre otras, permitió obtener un producto casi estable en un tiempo considerablemente menor al del compostaje convencional, no requirió de sistemas de volteo o aireación forzada, no generó lixiviado alguno y rindió un producto que cae dentro de los parámetros de calidad para su comercialización. Por otra parte, la evaluación identificó la necesidad de estandarizar el proceso de CSH, validar el periodo de descomposición y la fase de maduración del producto.

Palabras clave: Compostaje, residuos de palmito, silos hiperventilados, Trópico de Cochabamba.

1 Introducción

La mayoría de las agroindustrias palmiteras tienen una alta tasa de generación de residuos sólidos, entre los cuales el 98% son biodegradables y el 2% no lo son [5]. En la región del Trópico de Cochabamba, principal zona productora de palmito del país, dichas agroindustrias están interesadas en implementar procedimientos de transformación de residuos sólidos orgánicos que les permitan transformarlos en subproductos revalorizados, capaces de incorporarse a un circuito económico.

Actualmente, los residuos orgánicos son dispuestos directamente sobre el suelo y a cielo abierto, en las inmediaciones de las plantas procesadoras. Esta forma de manejo

provoca impactos negativos en el ecosistema, tales como la necesidad progresiva de nuevas áreas para la disposición final. La disminución de la biodiversidad microbiana del suelo, modifica las condiciones naturales de circulación del agua y el aire hacia el suelo, y atrae macro vectores y micro vectores [21].

A fin de encontrar un proceso de tratamiento y valorización para estos residuos, el Programa de Desarrollo Alternativo Regional contrató un equipo técnico consultor [9] para proponer un sistema de gestión integrada de residuos sólidos en las agroindustrias palmiteras del Chapare, Bolhispania y Fabopal. Dicho grupo propuso la obtención de abono orgánico sólido a través de la técnica de compostaje. Esta elección se justificó por la demanda de abonos orgánicos existente para sistemas de producción de palmito, banano, piña, entre otros, considerando que los suelos tropicales se caracterizan por ser ácidos, escasos en materia orgánica, de mal drenaje y deficientes en macro y micronutrientes. Además, para incrementar la rapidez de la descomposición, se probó una técnica de alta temperatura consistente en la hiperventilación pasiva del residuo a través de la construcción de silos a partir de mallas metálicas [9].

El compostaje de residuos orgánicos es un proceso biológico de descomposición aeróbica que por acción de organismos mesófilos y termófilos conduce a la producción de un residuo estable, que puede ser utilizado como enmienda orgánica [11]. Diferentes técnicas de compostaje han sido aplicadas para generar un producto revalorizado a partir de desechos domésticos e industriales [4], sin embargo, aún no se han desarrollado de manera suficiente los procedimientos y sistemas de control que permitan procesos de compostaje eficientes a nivel comercial [14]. Esta deficiencia se debe a que las interacciones entre los diversos factores que intervienen en este proceso biológico son complejos y con un fuerte componente local, que no está aún bien definido ni comprendido [14], a pesar de los esfuerzos considerables que se han puesto en ello [19]. Esta carencia en la técnica del compostaje conduce a que los proyectos de elaboración de compost enfrenten problemas técnicos, económicos, sociales y ambientales, que ponen en riesgo la sostenibilidad de los objetivos planteados al inicio del proyecto. En esta línea, diversos autores [14] [12] recomiendan un mayor control técnico en todas las fases y actividades del proyecto. Algunos factores que han sido señalados como importantes para un adecuado control son la temperatura, humedad, aireación, pH y la relación C/N [18]. Sin un seguimiento técnico de variables como éstas, el proceso de compostaje se torna artesanal y comienza a presentar problemas que dificultan su continuidad [18]. En este sentido, Lugo [14], en un estudio realizado en el Ecuador encontró que solamente el 14% de los proyectos realiza un control técnico durante el proceso de compostaje y que el 86% restante únicamente realiza control manual o empírico. Según este autor, esta forma de manejo determinó que el 25% de los proyectos no consigan cumplir con los objetivos planteados y el 87,5% no vendan el producto final por no cumplir con parámetros de calidad de abonos [15].

Otro problema identificado, como lo señala Lugo, es que las metodologías de compostaje están dirigidas fundamentalmente a ambientes de regiones templadas, siendo limitada la literatura que apunta a zonas tropicales húmedas.

Con referencia al Trópico de Cochabamba, las escasas experiencias documentadas sobre elaboración de abonos muestran que en su mayoría fueron proyectadas con un enfoque educativo y general, en los cuales se promovieron e implementaron métodos artesanales de compostaje, realizando el control técnico de parámetros a través de métodos manuales o empíricos como ser el tacto, olor, color, etc.

En este sentido, el presente trabajo tiene el propósito de documentar la experiencia de compostaje mediante silos hiperventilados (CSH), a través de la descripción de la construcción e instalación de los silos en las agroindustrias Bolhispania y Fabopal del Trópico Cochabambino. Adicionalmente, a fin de realizar un análisis ambiental, se realiza una comparación del proceso de compostaje en SH y el tratamiento actual de disposición a cielo abierto imperante en las dos agroindustrias, a partir del monitoreo de temperatura, pH, humedad y el control de la generación de lixiviado. Con todo esto se pretende evaluar de manera preliminar el proceso de compostaje por SH, con el fin de aportar información que ayude en la generación de tecnologías adaptadas para mitigar los impactos ambientales de los residuos de la industria palmitera.

2 Materiales y métodos

Para evaluar la eficiencia del proceso de transformación del residuo y la calidad del compost obtenido, en principio, se cotejó el actual proceso de transformación de biomasa –de disposición a cielo abierto– en el predio de la agroindustria con el proceso de transformación de biomasa en el silo hiperventilado. A continuación, se efectuó la evaluación de la técnica de CSH en base al seguimiento de parámetros específicos. Todas las evaluaciones presentadas fueron llevadas a cabo en un período de tres meses, entre octubre y diciembre de 2002.

2.1 Diseño, construcción e instalación de puntos de monitoreo (PM) y silos de compostaje

Se construyeron puntos de monitoreo para comparar la generación de lixiviado actualmente, con el sistema de disposición de residuos a cielo abierto, versus el sistema de compostaje de los residuos mediante silos hiperventilados.

Puntos de monitoreo en los sitios de disposición de residuos a cielo abierto

Con el objetivo de simular las actuales condiciones en las que se descomponen los residuos, de disposición a cielo abierto en predios aledaños a las agroindustrias, se establecieron dos puntos de monitoreo, uno por cada agroindustria. Para este efecto, se enterró un balde plástico de una capacidad de 50 L, cubriéndolo con una tapa perforada en el centro con la finalidad de introducir un trozo de tubo PVC perforado, que permita concentrar y guiar los lixiviados al fondo del balde.

Para impedir la manipulación de los residuos del PM, se instaló una estructura de malla de gallinero que permitía aislarlos. El PM presentó un diámetro de 58 cm y una altura de 80 cm. Se ubicó dentro de éste 57 kg de residuo de palmito (vainas, yucas y recortes de pulpa), pesados en tachos plásticos de 60 L.

Puntos de monitoreo y construcción de los silos hiperventilados

Además de los PM, se diseñaron baterías de reactores prototipo para el CSH, provenientes de la conjunción de conocimientos y tecnologías de compostaje de Takakura (aireación a través de chimeneas perforadas) y Jean Pain (metodología de compostaje en silos). La característica principal de estos reactores es la completa aireación por todas las caras y al interior a través de chimeneas perforadas [9]. La batería cilíndrica, con dimensiones de 1,8 m de altura y 2,5 m de diámetro, estuvo situada en una tarima a 50 cm del suelo y presentó una capacidad de $8,8 \text{ m}^3$.

Los materiales utilizados para la construcción e instalación de cada silo fueron los siguientes:

- 2 vigas de 6 m (2" × 6").
- 4 vigas de 4 m (2" × 3").
- 1 rejilla cuadrada 2,5m × 2,5 m (fierro redondo $\frac{5}{14}$ con reticulado cada 10 cm).
- 1 cilindro de 1,8 m de alto y 2,5 m de diámetro (malla de gallinero con trabillas de fierro redondo de $\frac{1}{4}$ cada 20 cm).
- 5 chimeneas de tubo PVC de 3" y 2 m de alto (perforaciones de 1").
- 18 m² de folia negra de plástico (9 m² para techo y 9 m² para recolector de lixiviado).
- 1 andamio móvil para cargado (dos turriles y cuatro tablas).

La instalación se inició con la construcción del soporte de madera, donde se ubicaron dos baterías con el objetivo de proveer mayor aireación a la mezcla y evitar el contacto con el agua, debido a que la topografía del lugar era bastante irregular y con tendencia a producir encharcamientos. Paralelamente se cavaron hoyos en los cuales se instalaron los recolectores de lixiviados, que constaron de turriles enterrados y hojas de plástico negro que van desde los turriles al soporte de madera, de la forma que se muestra en la figura 1. Más adelante se acoplaron a las rejillas los silos de malla de gallinero y fierro corrugado previamente armados. Se instalaron las chimeneas perforadas (5 por cada batería) ajustándolas a los cilindros (figura 1).

Se cubrió la base con material vegetal de desecho (pastos) para evitar que el material picado a compostar traspase la rejilla cuadrada de la base. Una vez cerradas las baterías se descargó el sustrato a compostar. Finalmente, se pasó a cubrir los cilindros con hoja de plástico negro dejando libres los extremos de las chimeneas con el propósito de mantener la aireación de la batería, tal como se observa en la figura 1.

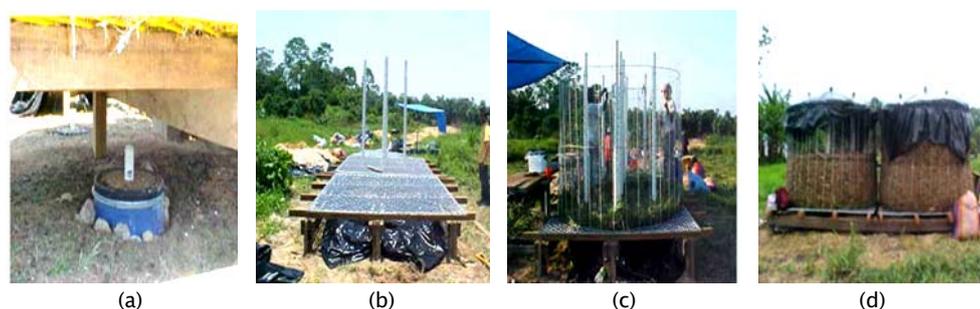


Figura 1: Diseño, construcción e instalación del SH. a) Recolector de lixiviado, b) Soporte de madera y rejilla cuadrada, c) Instalación de silos y chimeneas, d) Silos cargados de sustrato y cerrados.

La mezcla a la cual se realizó seguimiento técnico en las dos agroindustrias fue la siguiente:

Tabla 1. Receta del material a compostar para un silo [9].

Materiales a compostar	Proporción en la mezcla en volumen	Volumen
	--- % ---	--- m ³ ---
Aserrín	14	1,24
Cascarilla de arroz	22	1,94
Porcinaza	14	1,24
Gallinaza	10	0,88
Residuos de palmito	40	3,53
Total	100	8,83

Se utilizó chancaca o miel de caña como principal fuente de energía para la fermentación. El inóculo microbiano consistió en levaduras, por su rol en degradar proteínas complejas y carbohidratos, y producir sustancias bioactivas (vitaminas, hormonas, enzimas) que estimulan el crecimiento y la actividad microbiana [20]. Todo el proceso de instalación y monitoreo del compostaje se realizó entre octubre y diciembre del año 2002.

2.2 Parámetros de monitoreo del proceso de descomposición, tanto a cielo abierto como en los SH

El proceso de descomposición de los residuos fue monitoreado tanto para el caso de la disposición a cielo abierto como en los SH.

En base a pruebas realizadas previamente por el equipo técnico [9] y comportamientos normales mostrados por la literatura para las técnicas de alta

temperatura -en el sentido de que en los primeros 10-15 días sucede la mayor parte del proceso de descomposición [4] [6], ocurriendo a continuación solamente la maduración del compost-. Por esta razón, se estableció un periodo de estudio de 10 días, al cabo del cual se esperaba que el material habría pasado por la mayor parte del proceso activo de descomposición, perdiendo peso y volumen efectivamente.

Monitoreo de la descomposición en los sitios de disposición a cielo abierto

En cada industria, se realizaron mediciones al inicio del período y al final (al cabo de 10 días). Se midieron los siguientes parámetros: masa, humedad, temperatura, acidez y volumen de lixiviado generado en el PM. Los primeros 4 parámetros se midieron en muestras compuestas tomadas en los puntos de monitoreo de cada industria.

Monitoreo de la descomposición en los silos hiperventilados

Como factores de control del proceso se consideraron la temperatura, pH, humedad y generación de lixiviado.

Temperatura: La temperatura se midió diariamente con la ayuda de un termómetro digital. El registro se realizó diariamente a la misma hora (11:00 am). En los silos de compostaje se registraron temperaturas en tres niveles diferentes: en la parte superior, media y la base. En el PM se registró la temperatura en la base y la zona central.

pH: Se midió diariamente sobre muestras extraídas de los diferentes residuos del material a ser compostado y una muestra de 50 g de la mezcla obtenida de diferentes puntos del silo. Estos residuos se picaron y diluyeron en 200 ml de agua destilada, se agitó cuidadosamente hasta obtener una mezcla homogénea y se dejó reposar por 15 minutos. Se utilizó un pH-metro digital en el caso de Bolhispania. En el caso de Fabopal, se utilizó papel indicador universal.

Contenido de humedad de los residuos: Se extrajeron muestras al inicio y al final del proceso, las cuales fueron sometidas a secado en horno a 70 °C hasta obtener un peso constante. Posteriormente, se calculó el porcentaje de humedad de los residuos.

En el caso de los residuos de palmito se seleccionaron muestras de los diferentes componentes (vainas, yucas, recortes), las cuales se picaron y mezclaron para ser sometidos al secado, así como muestras de los diferentes materiales a compostar. Para determinar el porcentaje de humedad de la mezcla se obtuvieron muestras de diferentes niveles del silo, se mezclaron y una porción fue sometida al secado.

Generación de lixiviado: Se utilizó una balanza romana para pesar el balde receptor de lixiviado al cabo de los 10 días. Posteriormente se enviaron muestras al laboratorio para analizar el contenido de sólidos totales, sólidos filtrables, sólidos suspendidos y DQO.

2.3 Control de calidad del abono

Para evaluar la calidad del abono se determinó la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio. Para este fin, se recolectó una muestra de abono orgánico fermentado de cada unidad experimental. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad Mayor de San Simón.

3 Resultados y discusión

3.1 Descomposición de residuos según el manejo actual de disposición a cielo abierto

Los resultados obtenidos del seguimiento a los residuos en el PM durante el periodo de 10 días se muestran en el Tabla 2. Allí se muestran los valores promedio de las dos industrias.

Tabla 2. Comportamiento de parámetros en un periodo de 10 días – Manejo actual de disposición a cielo abierto de los residuos orgánicos.

Parámetro	Bolhispania		Fabopal		Promedio	
	día 1	día 10	día 1	día 10	día 1	día 10
Masa húmeda, Kg	57	40	57	36	57	38
Humedad, %	84	53	86	38	85	45,5
Masa seca, Kg	9,1	18,8	8,0	22,3	8,6	20,7
Lixiviado, L	0	8	0	14	0	11
pH	7	5	6	4,5	6,5	4,7
Temperatura, °C	21	26	19	24	20	25

Los valores de masa y porcentaje de humedad disminuyeron en un 30% y 37% respectivamente. Este comportamiento estuvo acompañado de una generación de lixiviado. El pH tuvo una variación de un potencial neutro a ácido (de 7 a 5) y los registros de temperatura indicaron valores de 21-26 °C. Los valores de pH, así como los valores de temperatura proporcionaron las condiciones adecuadas para el desarrollo de microorganismos mesófilos [21]. Los ácidos orgánicos y/o alcoholes producidos durante el proceso de descomposición influyen en la acidificación del suelo [21], explicando los valores de pH más ácidos al décimo día. Asimismo, la disminución del peso de los residuos está relacionada con la pérdida de humedad y la transformación de la materia por parte de microorganismos. De la misma manera, los valores de temperatura registrados indican que el proceso no llegó a etapas termogénicas, sugiriendo que no se eliminaron los mesófilos patógenos como hongos, esporas y semillas.

La carga contaminante del lixiviado generado por los residuos se encuentra por encima de los límites permisibles para descargas líquidas establecidas por la Ley 1333. Los valores de laboratorio correspondientes a la agroindustria Bolhispania superan el límite en los siguientes porcentajes: sólidos suspendidos en 3.000 %, DQO 3.960 %; el pH con un valor ácido 5,0 estando los límites permisibles entre 6 y 9. En el caso de la agroindustria Fabopal, los límites se encuentran por encima en los siguientes porcentajes: sólidos suspendidos en 6.866 %, DQO 5.544 % y pH ácido 5,5 (ver Tabla 3).

Tabla 3. Carga contaminante del lixiviado generado por los residuos de palmito.

Referencia	Parámetros				
	Sólidos totales	Sólidos filtrables	Sólidos suspendidos	DQO	pH
	----- <i>mg L⁻¹</i> -----				
Lixiviado Bolhispania	9.487	7.570	1.917	9.900	5,0
Lixiviado Fabopal	14.350	10.230	4.120	13.860	5,5
Límites permisibles para descargas líquidas ¹	---	---	60	250	6 - 9

¹ Según el Reglamento de la Ley de Medio Ambiente 1333 [1]

3.2 Descomposición en los SH

Temperatura

Los valores promedio de temperatura registrados en los SH se muestran en la Figura 3.

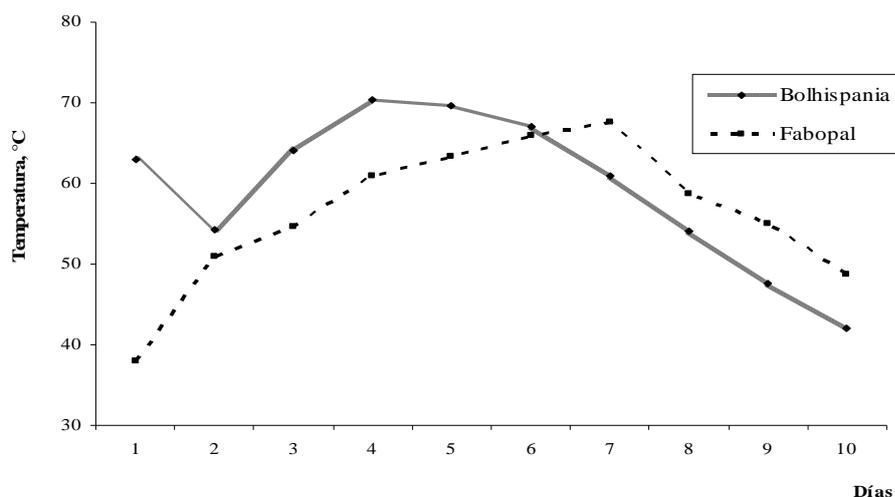


Figura 2: Evolución de temperatura en CSH.

En los SH de ambas agroindustrias, la etapa de latencia pasó inadvertida puesto que el material tenía un tiempo de acopio, registrándose en el par de silos temperaturas iniciales correspondientes a la etapa mesotérmica 1 (10-40 °C), la cual perduró entre el primer y segundo día. En el silo de la agroindustria Bolhispania se presentaron temperaturas más elevadas, comportamiento que se originó probablemente por el grado de compactación del material lo que provocó una pobre disipación de calor. La etapa termogénica (40-75 °C) tuvo una duración de 7 días. En Bolhispania, incrementó durante los primeros dos días hasta alcanzar un máximo de 72 °C, para luego disminuir sostenidamente hasta el 10º día. En Fabopal, la temperatura se incrementó de manera paulatina durante 5 días, hasta alcanzar un máximo de 68 °C, para luego caer sostenidamente hasta el 10º día. La temperatura máxima alcanzada en los silos de compostaje aseguró la destrucción de gérmenes patógenos y favoreció la rápida descomposición de los materiales. Una temperatura más elevada hubiera ocasionado mayores pérdidas por oxidación de la materia orgánica y muerte de microorganismos beneficiosos.

La segunda etapa mesotérmica o de enfriamiento (≤ 40 °C) tuvo una duración de 2 días, llegando a registrarse temperaturas entre 36 y 46 °C al décimo día. Estos valores están por encima de la temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C en promedio, diario) indicando que el proceso de compostaje sigue en la etapa activa y que aún requiere de un periodo de descomposición, antes de dar lugar a la fase de maduración hasta alcanzar valores estables y cercanos a la temperatura ambiente.

En consecuencia, todavía se debe prever un período de descomposición activa en el SH y posteriormente un período de estabilización. Para tener una aproximación del tiempo que resta hasta obtener un compost final, se comparó las curvas de temperatura obtenidas en los SH con las curvas de temperatura presentadas en otras experiencias de compostaje que aplican diferentes métodos rápidos de compostaje de alta temperatura. Estos métodos cuentan con características similares a las observadas en los SH, entre las que podemos mencionar: periodos activos de descomposición cortos, altas temperaturas y aireación forzada [16]. Las experiencias consultadas registran tiempos de maduración en promedio de 40-50 días para la obtención de un compost estable a una temperatura final de 25 °C [4] [16].

Para realizar una aproximación comparativa se consideran los valores presentados en un estudio realizado en Corea el año 1996 [8]. La experiencia consistió en el empleo de la técnica rápida de pilas estáticas de aireación forzada continua e intermitente (PEAFCI) para obtener compost a partir de desechos de estiércol de ganado y cascarilla de arroz. El proceso se llevó a cabo en un invernadero, dentro del cual la temperatura ambiente interna estaba controlada por un calentador a combustible, manteniéndola dentro de un rango de 15 - 43°C; la aireación forzada fue suministrada a la masa a través de sopladores turbo.

En el estudio mencionado, Hong [8] observó que el comportamiento de la temperatura presentó dos fases bien definidas. La primera, denominada activa, se desarrolló en 22 días y se caracterizó por alcanzar etapas termófilas y de enfriamiento hasta valores de 30 °C. La segunda etapa, denominada etapa de curación, se inició a partir de 23° día y se caracterizó por la disminución de la temperatura presentando poca variabilidad hasta estabilizarse en 25 °C al cabo de 40 días de iniciado el proceso. En la figura 4 se muestra de manera gráfica el comportamiento de estas dos fases en comparación con la curva de temperaturas promedio reportadas en los SH.

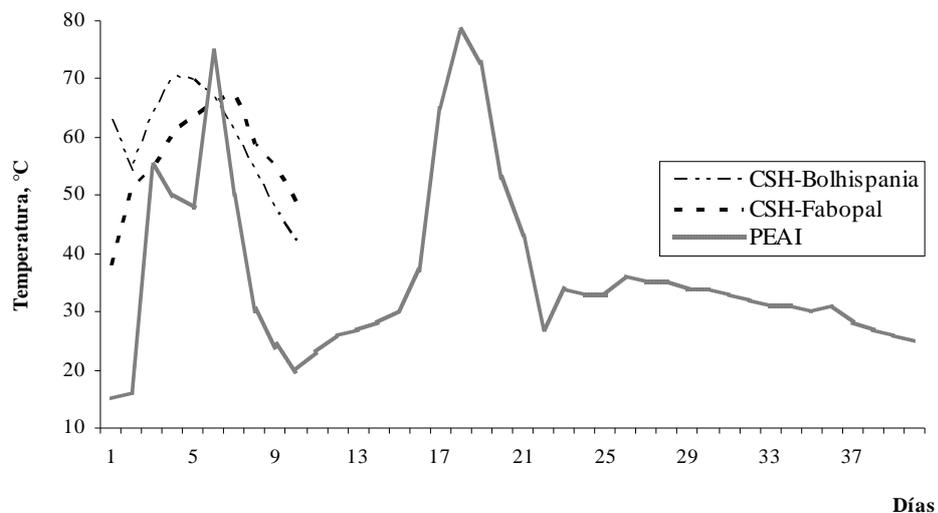


Figura 3: Curvas de temperatura ajustadas correspondientes a la técnica de compostaje en SH, y la técnica rápida de pilas estáticas de aireación forzada continua e intermitente.

La información presentada por Dalzell [4], Hong [8] y Mirsa [16] sugiere que para la obtención del compost final, el proceso requiere probablemente de un periodo adicional próximo a los dos meses, para terminar el proceso activo de degradación y el período de maduración.

pH

El comportamiento del pH, según Labrador [13], se inicia en un valor cercano a 5,3 bajando a un valor de 4,2 al tercer día. Vuelve a incrementar hasta un valor máximo de 8 y finalmente, a partir del séptimo día, el valor de pH se estabiliza alrededor de 7,2 [13]. Los valores de pH en los SH siguen aproximadamente el comportamiento descrito en procesos típicos de compostaje, a excepción de que no presentaron un incremento de acidez en los primeros días. Sin embargo, muestran hacia el final valores similares cuya tendencia se muestra en la Figura 5. Comienzan con un pH moderadamente ácido, que luego asciende hasta niveles moderadamente alcalinos de 7-8, para estabilizarse alrededor de 7, valor considerado óptimo para la aplicación al suelo.

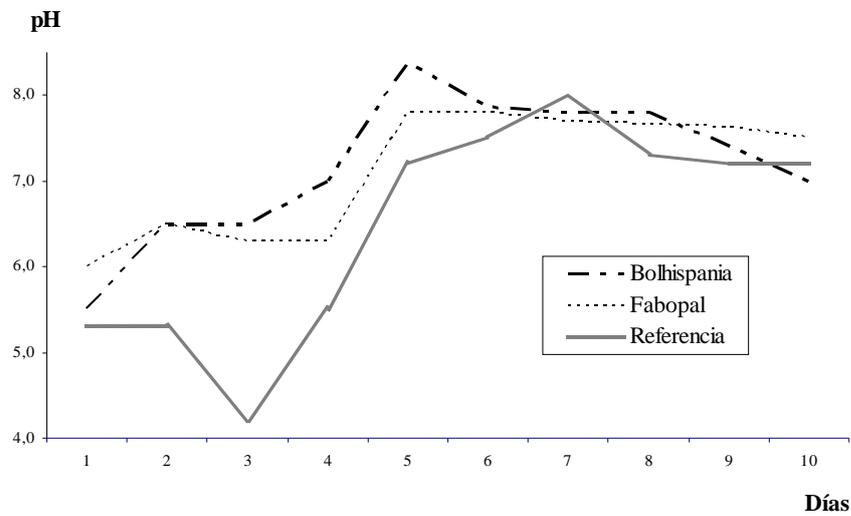


Figura 4: Evolución del pH en los SH, en comparación con valores promedio de Labrador [13].

Humedad

La mezcla de los materiales a compostar en el silo de la agroindustria Bolhispania contenía 61,5 % de humedad inicial y 39,3 % de humedad final. En el caso de Fabopal, se inició con 64,8 % de humedad y a los 10 días alcanzó 43,3 %. Este descenso en el contenido de humedad se explica por la relación entre la disminución de capacidad de retención de agua durante la biodegradación debido a la pérdida de contenido orgánico. Los valores finales de porcentaje de humedad se encuentran aún dentro del rango considerado como óptimo para una buena actividad microbiana, 30-60 % [21].

Generación de lixiviado

En ambas industrias, durante el proceso de formación de compost, no se generó lixiviado debido tal vez a la pérdida de humedad de 22,2 % y 21,5 % respectivamente (Tabla 4). Evidentemente el contenido de agua se disipó como vapor, favorecido por las altas temperaturas alcanzadas durante la etapa termófila. En consecuencia, el suelo no recibió ningún aporte con potencial contaminante, como ocurre con el manejo actual, lo cual minimiza la reproducción de vectores, parásitos y la generación de malos olores.

Tabla 4. Generación de lixiviado y pérdida de humedad en el proceso de formación del compost.

CSH	Pérdida de humedad	Generación de lixiviado
	-- % --	-- L --
Bolhispania	22,22	0
Fabopal	21,49	0

El control de generación de lixiviado es un factor importante debido a los posibles contaminantes que generan durante el compostaje de residuos agrícolas como el nitrógeno en forma de nitratos (NO_3^-). Las pilas almacenadas y en proceso de maduración son fuentes potenciales de nitratos [17]. La lixiviación de nitrógeno a través del suelo puede contaminar las fuentes de suministro de agua, esto implica problemas sanitarios si el agua es usada para el consumo humano.

3.3 Calidad de abono

Actualmente, no existe una norma internacional de calidad de compost. Entre los países vecinos, Chile, a través del Instituto Nacional de Normalización (INN) -miembro de la International Organization for Standardization (ISO) y de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT)- ha elaborado un proyecto de norma Nch2880, que considera normativas de otros países y antecedentes técnicos nacionales (CONAMA, 2003). Esta norma se encuentra en etapa de consulta pública y aprobación, y considera, al igual que otros proyectos públicos de Perú [2] y Ecuador [15], como parámetros de calidad para la comercialización, los rangos establecidos por la Organización Mundial de la Salud en 1985.

Las características y composición del compost obtenido en los SH, de manera general, se encuentran dentro de los rangos considerados aptos para la comercialización según la OMS. Los resultados del análisis químico de las muestras de compost se presentan en el Tabla 5.

Tabla 5. Análisis químico de la mezcla de compost hiperventilado, al 10° día.

Parámetro	Compost	Compost	Valores Referenciales*
	Bolhispania	Fabopal	
	----- % en peso -----		
pH	7,4	7,5	6 - 9
Potasio, K	1,2	0,9	0,4 - 1,6
Fósforo, P₂O₅	1,6	1,3	0,1 - 1,6
Nitrógeno, N_T	1,0	1,0	0,4 - 3,5
Materia orgánica	65,6	44,0	Variable
Relación C/N	27,9	19,8	10 - 30

* En base a datos de OMS.

El pH final, obtenido en los abonos de Bolhispania y Fabopal (7,4 y 7,5), se encuentra dentro del rango de buena calidad. El resultado esperado de un pH neutro (6,6 - 7,3) son mínimos efectos fitotóxicos y en pH medianamente básicos (7,4 - 7,8) se espera la presencia de CaCO₃. El contenido de potasio, también, se encuentra dentro de los rangos normales para compost maduro (0,4 - 1,6%). La cantidad de estos macro elementos benefician la fertilidad global de los suelos agrícolas. Respecto al fósforo total, los valores se encuentran dentro de los valores de calidad (0,1 - 1,6%). La cantidad de fósforo podría disminuir en caso de existir lixiviación en los silos, situación que prácticamente no se dio en ningún caso. La cantidad y la forma que tiene el nitrógeno del compost es determinante para la calidad del producto. Para compost maduros, es deseable que el nitrógeno sea inorgánico en su mayoría y que la fracción de amoníaco sea mínima. Los análisis generalmente reportan la cantidad (porcentaje) de nitrógeno total inmediatamente soluble en el suelo (fertilizante). Los valores de nitrógeno total obtenidos en Bolhispania y Fabopal están alrededor del 1%, el cual cae dentro del rango de 0,4 - 3,5 % considerado normal para un compost maduro. La pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco es mayor cuando el pH es más alto, por lo que adicionar material alcalino a las pilas de compost puede resultar más perjudicial que beneficioso si no es bien controlado. Con referencia a la materia orgánica, si bien no existe un nivel consensuado de materia orgánica, las cantidades deben ser evaluadas en función de la edad del material, su contenido de nitrógeno y el uso final del mismo. Por lo general la materia orgánica es medida en términos del total de biomasa (pérdida de peso en combustión menos nitrógeno total). La diferencia del porcentaje de materia orgánica en los abonos obtenidos en cada agroindustria, 65% en Bolhispania y 44% en Fabopal, puede tener su origen en el proceso térmico al que es sometido el cogollo en la agroindustria Fabopal, convirtiendo a las vainas en materia fácilmente degradable, considerando además que los residuos de palmito representan el 40% de la mezcla. La

relación C/N en ambos casos es elevada respecto a la de un compost estable, o bien porque gran parte del carbono orgánico está en forma de lignina y celulosa que no son disponibles inmediatamente para el uso microbiano o bien por la pérdida de nitrógeno. Los valores elevados de C/N y materia orgánica pueden disminuir aún más a medida que la actividad microbiana transforme y asimile tanto el carbono como el nitrógeno, esto significa que es necesario aún validar el tiempo de maduración del producto obtenido.

4 Conclusiones

La implementación de la técnica de CSH reveló varias ventajas técnicas y ambientales que la posicionan como una alternativa interesante de manejo de residuos sólidos orgánicos.

Los beneficios más importantes identificados en la evaluación fueron que la técnica de CSH permite obtener un producto estable en un tiempo considerablemente menor al del compostaje convencional, no requiere de sistemas de volteo o aireación forzada y tiene la ventaja adicional de reducir la generación de lixiviado al presentar condiciones que favorecen la evaporación.

Es posible valorizar el 100 % de los residuos de palmito. Sin embargo, para tener una receta inicial equilibrada, se requiere de otros residuos agroindustriales, tales como la porcínaza, gallinaza, aserrín, cascarilla de arroz, etc., lo cual puede redundar en ventajas competitivas o en limitaciones, según la disponibilidad de los mismos para la industria.

El abono orgánico obtenido en la prueba piloto es de calidad suficiente según los parámetros de calidad comunes sugeridos por organismos internacionales. El análisis de estos parámetros indicó que es un material apto para la comercialización.

Por el contrario durante la evaluación de la técnica de CSH, en principio, se identificó que el proceso activo de degradación, así como el periodo de maduración requiere ser establecido y validado debido a que los valores de temperatura al 10° día son aún elevados y su tendencia era todavía a decrecer. Más aún, los análisis fisicoquímicos reportaron todavía valores elevados de C/N.

Referencias

- [1] BOLIVIA. 1995. *Reglamentación de la Ley del Medio Ambiente N° 1333*. Ministerio de Desarrollo sostenible y Medio Ambiente, Republica de Bolivia. Editorial Serrano Ltda. La Paz-Bolivia.
- [2] Cantanhede A.; Monge G.; Wharwood, G. 1993. *Proyecto de investigación en compostificación de Residuos de Mercados*. CEPIS. Lima. En <http://www.cepis.org>. (Verificado en 22/08/06).

- [3] CONAMA. 2003. *Proyecto de norma en consulta publicas- Ncb2880.c2003*. Chile. En <http://www.conama.org>. (Verificado en 28/08/07).
- [4] Dalzell, H.; Biddlestone, A.; Gray, K.; Thurairajam, K. 1991. *Manejo del suelo; producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales*. FAO. Roma.
- [5] ECON, Ecología y Conservación. 2003. *Identificación y tratamiento de residuos generados*. Cochabamba, Bolivia.
- [6] FAO. 1978. *China: reciclaje de desechos orgánicos en agricultura*. Boletín de suelos N° 40. FAO. Roma.
- [7] Ferrufino, A., Lens, J.; Vallejos, J. 1992. *Algunas características ecológicas del Chapare*. Boletín técnico del IBTA-Chapare. N° 26.
- [8] Hong, J.; Park, K.; Sohn, B. 1997. *Effect of composting heat from intermittent aerated static pile on the elevation of underground temperature*. American Society of Agricultural Engineers. Vol. 13 (5) 679-683. Korea.
- [9] Jiménez, F.; Bayro, A.; Yañez, P.; Rodríguez, J. 2002. *Gestión de desechos de sólidos de palmito en el Trópico de Cochabamba - Fase I*. Proyecto CONCADE/DAI. Cochabamba, Bolivia.
- [10] Kiely, G. 1999. *Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Volumen II. Mcgraw-Hill. Madrid, España.
- [11] Körner, I.; Braukmeier, J.; Herrenklage, J.; Leikam, K.; Ritzkowski, M.; Schelegelmilch, M.; Stegmann, R. 2003. *Investigation and optimization of composting processes – test systems and practical examples*. Waste Management 23 17-26.
- [12] Labrador, J. 1996. *La materia orgánica en los agrosistemas*. Coedición Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- [13] Liang, C.; Das, K.C.; McClendon, R.W. 2003. *The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend*. Bioresource Technology 86, 131-137.
- [14] Lugo, S. 1998. *Evaluación de los Proyectos de Compostaje en el Ecuador*. Fundación Natura-REPAMAR-CEPIS-GTZ. Quito, Ecuador.
- [15] Mirsa, V.; Roy, R.; Hiraoka, H. 2003. *On-farm composting methods*. FAO/ Land and Water Discussion Paper. Roma. En <http://ftp.fao.org/docrep/fao/006/y5104e/y5104e00.pdf>. (Verificado en 12/10/06).
- [16] Negro, M.; Villa, F.; Aibar, J.; Alarcón, R.; Ciria, P.; de Benito, A.; García, G.; Lezaún, J.; Meco, R.; Pardo, G. 2005. *Producción y gestión del compost*. Centro de Técnicas Agrarias de Zaragoza España. En <http://www.agrilogica.com/tecnicas/compost>. (Verificado en 28/08/06).

-
- [17] Restrepo, J. 1998. *La idea y el arte de fabricar los abonos orgánicos fermentados-aportes y recomendaciones*. SIMAS (Servicio de Información Mesoamericano sobre Agricultura Sostenible). Managua, Nicaragua.
- [18] Suler, D.J.; Finstein, M.S. 1977. Effect of temperature, aeration and moisture on CO₂ formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste. *Appl. Environ. Microbiol.* 33 345-350
- [19] Suquilanda, M. 2001. *Diagnóstico para el desarrollo de agricultura orgánica en el Trópico de Cochabamba*. Proyecto CONCADE/DAI. Cochabamba, Bolivia.
- [20] Sztern, D.; Pravia, M. 1999. *Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos*. Montevideo. OPP/OPS (OPS/HEP/HES/URU/02-03). En <http://www.ops.org.uy>. (Verificado en 28/05/06).