



Descomposición de residuos orgánicos en pacas: aspectos fisicoquímicos, biológicos, ambientales y sanitarios*

Jeyme Liset Ardila Delgado**, Jonathan Cano Córdoba***, Guillermo Silva Pérez**** y Yolanda López Arango*****

Decomposition of organic waste in packs: physical, chemical, biological, environmental and sanitary aspects

Decomposição de resíduos orgânicos em fardo: aspectos físico-químicos, biológicos, ambientais e sanitários

RESUMEN

Introducción. Los residuos sólidos orgánicos se caracterizan por poseer elementos o sustancias biodegradables que han motivado la búsqueda de tecnologías más eficientes para su descomposición. **Objetivo.** Analizar aspectos físicos, químicos, biológicos, ambientales, sanitarios de la descomposición de residuos

orgánicos con pacas. **Metodología.** Estudio exploratorio y descriptivo. Se construyeron pacas con poda de jardín y estiércol fresco, proporción 50 % cada uno, entre febrero-junio de 2011. Se realizaron monitorizaciones de pH, humedad, peso, temperatura, volumen, lixiviado, gases, microorganismos, artrópodos y roedores. Se encuestaron 101 integrantes de la comunidad educativa. Se realizó base de datos y

* Artículo original derivado del proyecto de investigación: "Descomposición de residuos orgánicos con tecnología limpia en pacas: aspectos físicos, químicos, biológicos, entomológicos, ambientales y sanitarios. Medellín, Colombia, 2011". Financiado por el Fondo de Apoyo Docente de la Facultad Nacional de Salud Pública, Universidad de Antioquia, realizado entre 2010-2011. ** Administradora en Salud énfasis en Gestión Sanitaria y Ambiental, Facultad Nacional de Salud Pública, Universidad de Antioquia. *** Administrador en Salud énfasis en Gestión Sanitaria y Ambiental, Facultad Nacional de Salud Pública, Universidad de Antioquia. **** Tecnólogo Forestal, Grupo Hábitat, Territorio y Medio Ambiente (HTM), Consultor. ***** Bacterióloga y Laboratorista, Magíster en Salud Pública, Facultad Nacional de Salud Pública, Universidad de Antioquia.

análisis mediante Epi-Info y Excel. **Resultados.** El pH osciló en el 6,11-8,9; humedad 30,1 %-67,3 %; temperatura interna máxima 57 °C y mínima 25 °C, temperatura ambiental 19-24°C; sin niveles de amoníaco, metano y sulfuro de hidrógeno durante los muestreos; no se hallaron roedores, moscas ni cucarachas domésticas. El proceso de descomposición se llevó a cabo por hongos, bacterias y artrópodos descomponedores. Se obtuvo producción de 76 % compost. La comunidad educativa percibe las pacas como técnica saludable, de fácil manejo y útiles para desarrollar actividades

lúdicas y de enseñanza-aprendizaje. **Conclusión.** La técnica de pacas actúa como proceso biológico y aeróbico que favorece interacciones entre microorganismos y artrópodos para la degradación de residuos orgánicos mediante un manejo limpio y sano, como opción para sanear residuos orgánicos, favorecer entornos saludables y proteger la salud pública y el ambiente.

Palabras clave: residuos orgánicos, descomposición, educación ambiental, pacas, técnica limpia.

ABSTRACT

Introduction. The remains of solid organic waste have biodegradable elements or substances that have brought the necessity of more efficient technologies for their decomposition. **Objective.** Analyze physical, chemical, biological, environmental and sanitary aspects of solid organic waste by making packs. **Methodology.** Exploratory and descriptive study. The packs were made with garden pruning and fresh manure -50 % of each one- between February and June, 2011. Humidity, pH, weight, temperature, volume, leachate, gases, microorganisms, arthropods and rodents were monitored. 101 people from the academic community were surveyed. A database was made and, by means of an Epi-Info and Excel, the data were analyzed. **Results.** The pH oscillated between 6, 11-8, 9; humidity 30,1 % -67,3 %; maxim internal temperature, 57 °C and

minimum, 25 °C, ambient temperature, 19-24°C; there were no ammonia, methane or hydrogen sulfide during the sampling process; no rodents, flies or domestic cockroaches were found. The decomposition process was carried out by fungi, bacteria and decomposer arthropods. 76% of compost was produced. The educative community perceives the packs as a healthy, easy-to-handle and useful technique to develop recreational and teaching/learning activities. **Conclusion.** The technique of making packs acts as a biological and aerobic process that eases the interaction between microorganisms and arthropods for degrading organic waste by in a clean and healthy way, and is an option to sanitize organic waste, favor healthy environments and protect human and environmental health.

Key words: organic waste, decomposition, environmental education, packs, clean technique.

RESUMO

Introdução. Os resíduos sólidos orgânicos se caracterizam por possuir elementos ou substâncias biodegradáveis que motivou a busca de tecnologias mais eficientes para sua decomposição. **Objetivo.** Analisar aspectos físicos, químicos, biológicos, ambientais, sanitários da decomposição de resíduos orgânicos com fardo. **Metodologia.** Estudo exploratório e descritivo. Se construíram fardo com poda

de jardim e estrume fresco, proporção 50 % cada um, entre fevereiro-junho de 2011. Se realizaram monitorizações de pH, umidade, peso, temperatura, volume, lixiviado, gases, microrganismos, artrópodes e roedores. Se entrevistaram 101 integrantes da comunidade educativa. Se realizou base de dados e análises mediante Epi-Info e Excel. **Resultados.** O pH oscilou entre 6,11-8,9; umidade 30,1 %-67,3 %; temperatura interna máxima 57 °C e mínima 25 °C, temperatura ambiental 19-24°C; sem níveis

de amoníaco, metano e sulfuro de hidrogeno durante as amostras; não encontraram roedores, moscas nem baratas domésticas. O processo de decomposição se levou a cabo por fungos, bactérias e artrópodes decompos. Se obteve produção de 76 % composto. A comunidade educativa percebe os fardos como técnica saudável, de fácil manejo e úteis para desenvolver atividades lúdicas e de ensinamento-aprendizagem. **Conclusão.** A técnica de fardos atua como processo biológico

e aeróbico que favorece interações entre microrganismos e artrópodes para a degradação de resíduos orgânicos mediante um manejo limpo e sano, como opção para sanar resíduos orgânicos, favorecer entornos saudáveis e proteger a saúde pública e o ambiente.

Palavras chave: resíduos orgânicos, decomposição, educação ambiental, fardos, técnica limpa.

INTRODUCCIÓN

Los seres humanos generan cada vez más residuos orgánicos, situación que ha motivado la búsqueda de tecnologías más eficientes para su descomposición. No obstante, se han registrado problemáticas sanitarias y ambientales con el manejo inadecuado de la descomposición, entre otras: presencia de moscas, cucarachas, roedores domésticos; emisión de alcoholes, cetonas, ésteres, anhídrido carbónico, amoníaco, metano, ácido sulfhídrico, benceno, otros, algunos causantes de olores nauseabundos; contaminación del suelo y aguas por lixiviados; contaminación de alimentos por patógenos o parásitos; exposición de los trabajadores a microorganismos y a altas temperaturas; otros (Pérez y otros, 1999; Domingo, 2000; Obiols, 2008, Yamiris y Gómez, 2004).

Con el fin de reducir y controlar los impactos negativos de los procesos de descomposición, este estudio estuvo dirigido a determinar los aspectos físico-químicos, microbiológicos, ambientales y sanitarios de la descomposición de residuos sólidos orgánicos mediante pacas, generando mínimos impactos sanitarios, ambientales y disminuyendo las molestias en salud pública (Silva, 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del lugar

El estudio se desarrolló en el Centro Educativo Conquistadores, área rural, vereda Aguas Frías, corregimiento Altavista, Medellín. La institución tiene ubicación geográfica N 006° 14 min 07.7",

W 075° 38 min 23.4", a 1500 metros sobre el nivel del mar, temperatura anual 18-24°C y precipitación anual 2000-4000 mm con zona clasificada como bosque muy húmedo premontano (bmh- PM).

Procedimientos

Se realizó un estudio descriptivo, con dos fases: una con la comunidad educativa y otra con las pacas construidas para el estudio de descomposición.

• Comunidad encuestada del Centro Educativo Conquistadores

Se aplicó encuesta a 101 personas: 85 (84 %) estudiantes de grados 9 °, 10 ° y 11 °; 8 (8 %) personal administrativo-directivo; 7 (7 %) profesores con manejo del tema de residuos sólidos orgánicos en sus currículos y un 1 %, empleado de oficios generales; se obtuvo autorización de directivos y consentimiento informado, acorde con la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud sobre normas para la investigación en salud.

La encuesta se aplicó en noviembre de 2010 y fue respondida durante la jornada estudiantil y en el sitio de trabajo; el fin fue explorar la percepción frente a las ventajas, desventajas, beneficios y/o molestias que presenta esta técnica en la institución.

• Construcción de pacas

Se construyeron cuatro pacas, entre el 3 y el 9 de febrero de 2011. Para tal fin, se adecuó el terreno con leve pendiente. La superficie se

dividió en 4 secciones, las cuales fueron cubiertas con plástico transparente de 1.50 cm x 1.50 cm. Una vez cubierto, se instaló en cada base un tubo PVC de 2 pulgadas de diámetro y un metro de largo, con perforaciones a lo largo del mismo, vigilando que quedara sobresaliendo por un lado de la base de la futura paca, para el drenaje de lixiviados y para muestreo de gases; asimismo, se instaló verticalmente, en el centro, tubo PVC de 2 pulgadas de diámetro y 1.50 m de largo, de manera que sobresaliera en la parte superior. El tubo contenía perforaciones cada 3 cm por toda la circunferencia hasta el sitio donde quedaba

cubierto por los desechos (1 metro); al resto del tubo (50 cm) que sobresalía no se perforó, y se instaló, en el extremo, tapón de PVC para evitar escape de gases. Luego, se colocó una prensa de madera sobre el plástico; día a día se pesaban los desechos y se depositaban dentro de la prensa, y eran simultáneamente pisados hasta obtener la medida de un metro cúbico. Las pacas se clasificaron en 1-2, ubicadas a 30 cm una de la otra y expuestas al sol; y las 3-4 ubicadas a 120 cm con relación a las pacas 1-2, y también conservaron 30 cm de distancia, cubiertas con un techo de Eternit a una altura de 2 m (figura 1).



Figura 1. Construcción de las pacas 1 y 2 sin techo, pacas 3 y 4 con techo, Colegio Conquistadores, febrero 2011.

Fuente: elaborada por el autor

Para las pacas se utilizaron desechos vegetales (poda, hojas, chamizas, frutos, cáscaras, otros) y heces provenientes de corrales de caballos, conejos y cabras de la institución, así: las pacas 1-2 con promedio 158 Kg de desechos de establo

y 153,5 Kg de vegetales, el promedio general fue 311,5 Kg; las pacas 3-4 con promedio 150,5 Kg de desechos de establo y 162,5 Kg de vegetales, el promedio general fue 313, Kg.

- **Mediciones y muestreos físicos y químicos**

El estudio inició el 9 de febrero y culminó el 30 de junio (142 días). Durante el período se hicieron mediciones antes, durante y después del proceso como se indica en la tabla 1.

Tabla 1. Periodicidad de los diferentes tipos de muestreo en las pacas construidas, Centro Educativo Conquistadores, febrero-junio de 2011

| Muestreo de aspectos físico-químicos, biológicos y ambientales | Meses de muestreo (semanas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|------|---|---|---|-------|---|---|---|
| | Febrero | | | | Marzo | | | | Abril | | | | Mayo | | | | Junio | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Temperatura y lixiviados | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| pH | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Humedad | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mohos y levaduras | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Muestreo entomológico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ácido sulfhídrico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Amoniaco (NH ₃) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Metano (CH ₄) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coliformes totales fecales | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ecotoxicidad | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: elaborada por los autores

Las técnicas empleadas fueron:

- Humedad y pH: se extrajo material sólido de cada una de las pacas, se envasó en bolsas con cierre y se llevó al laboratorio para su respectivo análisis.
- Volumen: se midió con flexómetro convencional y se aplicó la siguiente fórmula: ancho del cubo x longitud del cubo x altura del cubo. La medida inicial de cada paca fue 1 m³.
- Temperatura: mediciones entre 11:00 y 12:00 horas, durante los días de muestreo. La temperatura interna se midió con termómetro dentro de la paca, hasta el centro de la misma y dejado allí por 5 minutos, momento en cual se hacía lectura; la temperatura externa se midió encima de la paca por cinco minutos; la temperatura ambiente se midió a la sombra, en lugar aledaño a las pacas.
- Lixiviados: se midieron en beaker de 1000 mL colocado debajo del tubo de PVC, según tabla 1. Se analizó una muestra en el mes 5, en el laboratorio del Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares de la Universidad de Antioquia.
- Peso: se hizo en dos etapas, peso inicial y peso final. Para el peso inicial se depositaron los desechos por separado en canecas, pesados en báscula convencional y se calcularon peso total de cada paca, y promedio de las cuatro pacas. El peso final se calculó a los cinco meses; a este pesaje se le llamó pesaje neto. Al material neto de cada paca se le realizó zarandeo para filtrar y pesar el material sólido resultante de la descomposición (abono); por último, se pesó el material no degradado que no se filtró en el zarandeo.
- Medición de gases: para toma de muestras se utilizó bomba de monitoreo y bolsas Tedlar de 500 mililitros. A cada paca se le retiraba el tapón del tubo PVC y se introducía una manguera conectada a la bomba de monitoreo que succionaba los gases presentes y los depositaba en la bolsa. Para análisis de ácido sulfhídrico (H₂S) se utilizó equipo Arizona Instruments Jerome J605 de lectura directa;

para análisis de metano (CH_4) y amoníaco (NH_3) se utilizó equipo Miran Thermo de lectura directa infrarroja.

- **Muestreo microbiológico**

Se analizaron mohos, levaduras y coliformes fecales totales, al inicio, a mitad y al final. Para esto, se extrajeron muestras con espátula del material sólido del centro de la paca, que fueron envasadas y rotuladas en bolsas con cierre y llevadas al laboratorio de Grupo Diagnóstico y Control de la Contaminación (GDECON) de

la Universidad de Antioquia. También, se hizo análisis microbiológico al lixiviado y análisis de ecotoxicidad.

- **Identificación de artrópodos**

Se realizó captura e identificación de artrópodos con trampas, según periodicidad indicada en tabla 1, con trampas de aceite mediante platos plásticos de 15 cm de diámetro de color amarillo y blanco impregnados en aceite de ricino, jama, captura manual, trampas Balsolmer y trampas de feromonas para cucarachas (figura 2).



Figura 2. Métodos de muestreo entomológico en las pacas, febrero-junio de 2011.

Fuente: elaborada por el autor

Los platos se ubicaron sobre la superficie y en la base (suelo); además, un plato control se ubicó en una zona verde retirada más de 100 metros de distancia de las pacas; los platos eran retirados, empacados y reemplazados en cada muestreo. Los jameos fueron de 3 tipos: aéreo encima, aéreo sobre la paca y aéreo lateral. En el sitio control se realizaron jameos aéreos. La captura manual se realizó en el suelo (alrededor de las pacas), en los laterales y en el interior (mediante pequeñas excavaciones), utilizando pinzas y pinceles para recolectar los especímenes. Las trampas Bansolmer se ubicaron sobre cada paca a una distancia de 20 centímetros de la superficie de la paca. Los especímenes colectados fueron depositados en viales con alcohol o cajas plásticas secas (según el tipo de artrópodo) y las mariposas envueltas en papel; las muestras fueron rotuladas y llevadas al laboratorio.

- **Condiciones de trabajo y de salud**

Se realizó entrevista al empleado de servicios generales sobre percepción de las condiciones de trabajo y sobre morbilidad sentida.

- **Análisis de la información**

La base de datos y el análisis se procesaron en Epi-info versión 7 y Excel.

RESULTADOS

- **Temperatura**

El comportamiento de los parámetros físicos de la temperatura ambiental promedio durante los muestreos fue mínima 19 °C y máxima 4 °C, promedio 20,5 °C. la temperatura interna permitió determinar las fases mesofílica: durante los días de construcción de pacas se obtuvieron temperaturas entre 27° y 34 °C, etapa correspondiente a la mesofílica; a partir de la primera semana de muestreo se registró la fase termofílica (09 de febrero-23 de marzo), donde el proceso de descomposición alcanzó el pico más alto en la paca 1-2 de 54 °C, y en las pacas 3-4, de 57 °C. A partir de la sexta semana empezó la fase de enfriamiento o maduración (06 de abril de 2011) y la temperatura más

baja registrada en pacas 1-2 fue 25 °C, y en pacas 3-4 fue 26 °C; en esta fase, se notó que la temperatura interna de las pacas se aproximó a la temperatura ambiente (gráfico 1). La temperatura etapa correspondiente a la mesofílica; a partir de la primera semana de muestreo se registró la fase termofílica (09 de febrero-23 de marzo), donde el proceso de descomposición alcanzó el pico más alto en la paca 1-2 de 54 °C, y en las pacas 3-4, de 57 °C. A partir de la sexta semana empezó la fase de enfriamiento o maduración (06 de abril de 2011) y la temperatura más baja registrada en pacas 1-2 fue 25 °C, y en pacas 3-4 fue 26 °C; en esta fase, se notó que la temperatura interna de las pacas se aproximó a la temperatura ambiente (gráfico 1). La temperatura externa se registró con el fin de observar si el calor interno de las pacas era percibido en la parte exterior de la misma. El pico máximo promedio de temperatura externa que registraron las pacas 1-2 durante los cinco meses de mediciones fue 25 °C y en las pacas 3-4, fue 26 °C; el registro promedio de temperatura más bajo fue 19,5 °C para las pacas 1-2, y 20 °C para las pacas 3-4. Esto indicó que la temperatura externa de las pacas tuvo un comportamiento similar a la temperatura ambiente, por lo que no se percibió que afecte a la temperatura del entorno.

- **pH**

Las pacas 1-2 registraron pH máximo promedio 8,8, pH mínimo promedio 6,8 y promedio 7,8. Las pacas 3-4 registraron pH máximo promedio 8,9, pH mínimo promedio 7,06 y promedio 8,09. Los resultados indican oscilaciones cortas durante el período.

- **Humedad**

Las pacas 1-2 presentaron en promedio 67.3 % de humedad máxima, 34.8 % de humedad mínima y promedio 50.05 %; las pacas 3-4 presentaron en promedio 61.9 % de humedad máxima, 30.1 % de humedad mínima y promedio 45.6 %. El promedio de humedad de las cuatro pacas fue 47.8 %.

- **Masa**

El promedio de peso final neto de las pacas 1-2 fue 311 Kg equivalente al 100 %, de los cuales 237 kg

(76,2 %) fue abono, y 74 Kg (23,8 %), material no degradado; el promedio de peso final neto de las pacas 3-4 fue de 278,5 Kg equivalente al 100 %, de los cuales 214 Kg (76 %) fue abono y 64 Kg (23,5%) de material no degradado.

• Volumen

El volumen disminuyó paulatinamente con la degradación. El volumen inicial fue 1 m³; el volumen final promedio de pacas 1-2 fue 0,68 m³ y de pacas 3-4 fue 0,86 m³.

• Producción de lixiviados

Durante el primer mes, las pacas 1-2 produjeron un promedio de 1010 cm³ de lixiviado, mientras que las pacas 3-4 no produjeron. En meses siguientes, las pacas 1-2 tuvieron un incremento gradual en comparación con las pacas 3-4, debido a que en estas últimas, el techo les brindó protección de las lluvias, disminuyendo la cantidad de agua en el proceso de descomposición. El volumen máximo de lixiviado producido por las pacas 1-2 fue 1010 cm³, el mínimo 105 cm³

y el promedio 513 cm³; el volumen máximo de lixiviado en las pacas 3-4 fue 1000 cm³, el mínimo 0 cm³ y el promedio 270 cm³.

Comportamiento de parámetros químicos

• Sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Solo la primera muestra (tomada a los 2 días después de construida) registró un valor de 17 ppb en las pacas 1-2, el cual superó el valor máximo permisible de 7 ppb según Resolución 610 de 2010, norma de calidad del aire en Colombia. Las muestras restantes registraron valores inferiores a 3 ppb (límite de detección del analizador Jerome J605).

• Amónico (NH₃) y Metano (CH₄)

Los valores fueron inferiores al límite de detección del equipo, <1.5 ppm para metano y <0.7 ppm para amoniaco, lo que indica que estuvieron por debajo del valor límite permisible que para amoniaco es 35 mg/m³, y para metano es 1,5 mg/m³, según Resolución 610 de 2010.

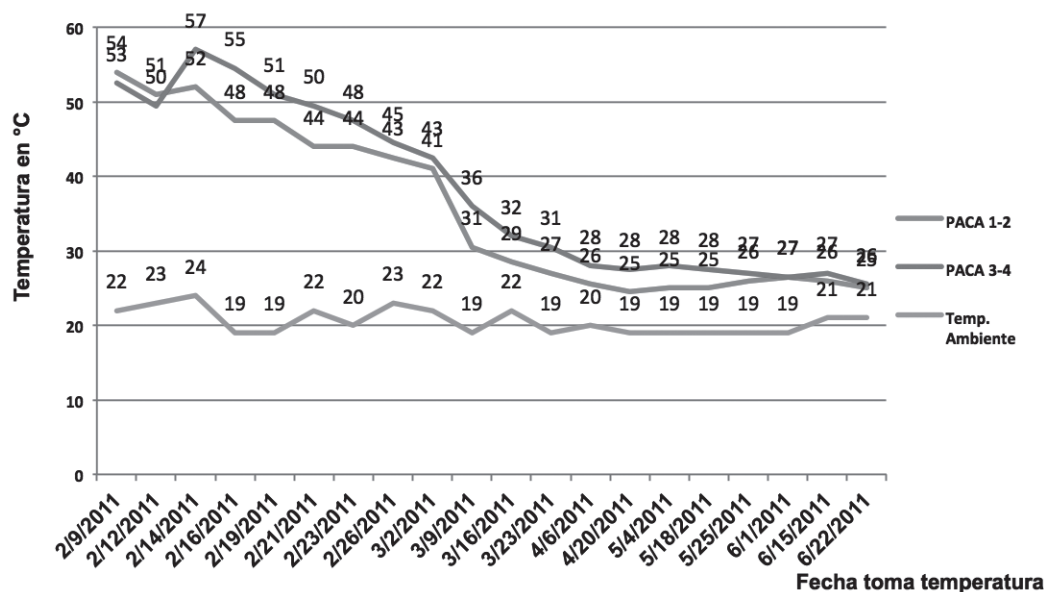


Gráfico I. Promedio de temperatura interna de las pacas vs la temperatura ambiente, febrero-junio 2011

Fuente: elaborada por el autor

- **Químicos presentes en el lixiviado**

Se observaron resultados similares, con un ligero incremento en el nitrógeno orgánico y ácidos

butírico, acético y propiónico en las pacas con techo, en comparación con las pacas sin techo; igualmente, menor cantidad de DBO y DQO (tabla 2).

Tabla 2. Reporte de químicos presentes en el lixiviado de las pacas 1-2, junio de 2011

| Parámetro | Técnica | Resultado Pacas 1 - 2 | Resultado Pacas 3 - 4 | Norma | d.e. | Unidades |
|--|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|-------|-------------------|
| Al | E.C | N.D | N.D | No aplica | | % |
| CaO | E.C | 0.022 | 0.030 | No aplica | 0.001 | % |
| MgO | E.C | 0.014 | 0.016 | No aplica | 0.001 | % |
| K ₂ O | E.C | 0.186 | 0.195 | No aplica | 0.002 | % |
| Na | E.C | 0.039 | 0.019 | No aplica | 0.001 | % |
| Zn | E.C | N.D | N.D | No aplica | | % |
| Densidad | Gravimetría | 1.00 | 1.00 | NTC 5167 | | g/cm ³ |
| P ₂ O ₅ | Espectro-fotometría | 0.017 | 0.012 | NTC 234 | | % |
| N total | Kjeldahl | 0.02 | 0.08 | NTC 370 | | % |
| pH | Potenciometría | 7.54 | 8.44 | SSL-MM-42-2-92 | | |
| Etanol | G.C | 0.0 | 0.0 | No aplica | | % |
| Ácido acético | E.C | 140.2 | 180.1 | No aplica | 0.1 | ppm |
| Ácido butírico | E.C | 118.5 | 173.7 | No aplica | 0.0 | ppm |
| Ácido propiónico | E.C | 126.8 | 179.1 | No aplica | 0.1 | ppm |
| DBO ₅ (mgO ₂ /L) | OXITOP | 1750 | 1500 | NIS | 353 | mg/L |
| DQO Total (mgO ₂ /L) | Reflujo Cerrado | 5410 | 1886 | SM 5220-D | 231 | mg/L |

N. D.: No detectado

Fuente: elaborada por los autores.

Comportamiento de los parámetros microbiológicos

Se observó disminución de la población de microorganismos, principalmente de coliformes totales y *E. coli*. En el lixiviado se reportó la ausencia de microorganismos patógenos (tabla 3).

Comportamiento e identificación de artrópodos

Se identificaron 13 órdenes de insectos y predominaron cuatro que participan en el proceso de descomposición de materia orgánica: Collembola 81.5 % con 3 familias, Díptera 8.5 % con 16 familias, Coleoptera 3.7 % con 14 familias e Hymenoptera 2.8 % con 5 familias (tabla 4). Se

destaca la ausencia de moscas (*Musca doméstica*), cucarachas (*Blatella germánica*, *Periplaneta americana* o *Periplaneta australiana*) o roedores domésticos (*Rattus rattus*, *Ratus norvegicus*), que no fueron encontrados en ningún período del estudio. También se identificaron otros insectos, artrópodos y anélidos que hacen parte del ciclo trófico que genera este tipo de nicho artificial.

Ventajas, desventajas, beneficios o molestias percibidos

Los estudiantes perciben que el lugar donde están ubicadas las pacas es ordenado 77,6 % (66) y sin olores 52,9 % (45); 87,1 % consideran que la institución tiene un entorno más saludable y 50,6 % manifestó que las pacas le han aportado

conocimiento sobre cómo se deben manejar adecuadamente los residuos orgánicos. Los docentes perciben el lugar ordenado 57,1 %

(4), limpio 85,7 % (6) y sin olores 85,7 % (6). El personal directivo-administrativo considera limpio el lugar en 100 % (8) y sin olores.

Tabla 3. Microorganismos presentes en el material de las pacas, febrero-junio 2011

| Fecha | Pacas | Coliformes totales NMP/10g | E. coli NMP/10g | Recuento de mohos UFC/10g | Recuento de levaduras UFC/10g |
|------------|-------|----------------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------------|
| 14/02/2011 | 1-2 | 1200000 | 2000000 | 1100000 | 1700000 |
| | 3-4 | 79000000 | 4000000 | 3000000 | 1400000 |
| 04/05/2011 | 1-2 | 35000000 | 610000 | 23000000 | 5000000 |
| | 3-4 | 1100000 | 320000 | 14000000 | 2500000 |
| 22/06/2011 | 1-2 | 0,79 | 0 | 800000 | 300000 |
| | 3-4 | 1,07 | 0 | 100000 | 400000 |

NMP: Número más probable; UFC: Unidad formadora de colonias

Fuente: elaborado por el autor.

El 91,4 % de estudiantes, 85,7 % de docentes y 100 % del personal directivo-administrativo consideran que la técnica ha generado un cambio positivo comparado con el proceso de compostaje implementado en la institución dos años antes de las pacas, y con el cual manifestaron sentir olores desagradables que llegaban incluso a las aulas, ubicadas a más de 100 m de distancia.

Percepción de condiciones de trabajo y salud del encargado de las pacas

La persona que labora en este oficio es hombre y ha trabajado 30 meses con las pacas, dos veces por semana. Manifestó tardarse 4 horas construyendo una y sentirse cómodo cuando lo hace. Ha sentido picaduras de insectos, expresó no sentir olores una vez terminadas (aclaró que en el momento de agregar los desechos sí los siente, pero desaparecen luego de estar prensada), ha visualizado insectos de diversos tipos y expresó que el trabajo es más saludable, al igual que el entorno institucional.

DISCUSIÓN

Se destaca que las pacas en este estudio se orientaron al manejo de residuos orgánicos a través de la degradación in situ con abundante

material de poda, pero no pretendió ser usada como técnica para la comercialización de abono ni compost.

• Acerca de los parámetros físicos y químicos en las pacas

Se destaca que las pacas evitan exponer a las personas a altas temperaturas en comparación con otras técnicas que, incluso, requieren la mezcla y volteado periódico de los residuos para enfriamiento (Domingo, 2000). Además, existe corto tiempo termofílico, puesto que en seis semanas se alcanzaron temperaturas cercanas a la ambiental, comportándose como un nicho integrado al entorno que lo circunda, sin diferencia en pacas con o sin techo. Álvarez-Uría y Rodríguez, (2007), registraron que el incremento de temperatura por encima de 45 °C elimina microorganismos patógenos y se debe a la degradación de los carbohidratos disponibles por parte de estos, liberando energía e incrementando la temperatura que, además, es fundamental para la estabilidad del compost. Manzano y otros (1998), de manera similar, registraron disminución de la temperatura a medida que se descomponen los residuos mezclados con poda.

La humedad permaneció en valores ideales la mayoría del tiempo para la biodegradación de

Tabla 4. Insectos por orden, familia y género en las pacas, febrero-junio 2011

| Orden | Familia | Género | Pacas 1-2 | Pacas 3-4 | Control | Total | |
|--|--------------------|---------------------|-------------|-------------|------------|-------------|------------|
| Insectos, artrópodos y anélidos | | | | | | | |
| Coleoptera | Staphylinidae | <i>Staphilinine</i> | 38 | 23 | 2 | 63 | |
| | | <i>Trilobium</i> | 16 | 18 | - | 34 | |
| | | <i>Pselaphidae</i> | 12 | 1 | - | 13 | |
| | Coccinellidae | <i>Psyllobora</i> | 4 | 2 | - | 6 | |
| | Scarabeidae | <i>sp</i> | 10 | 2 | 3 | 15 | |
| | Anthicidae | <i>Anthicus</i> | 21 | 8 | 2 | 31 | |
| | Phalacridae | <i>Stilbus</i> | 5 | 5 | 1 | 11 | |
| | Subtotal | | 118 | 69 | 13 | 200 | |
| Collembolas | Hipogastruridae | <i>Hipogastrura</i> | 1590 | 905 | 200 | 2695 | |
| | Entomobrydae | <i>Entomobrya</i> | 910 | 422 | 20 | 1352 | |
| | Isotomidae | <i>Isotoma</i> | 270 | 135 | - | 405 | |
| | Subtotal | | 2770 | 1462 | 220 | 4452 | |
| Diptera | Muscidae | <i>Musca</i> | 57 | 35 | 7 | 99 | |
| | Phoridae | <i>Dohrniphora</i> | 7 | 12 | 13 | 32 | |
| | Ceratopogonidae | <i>Culicoide</i> | 10 | 7 | 2 | 19 | |
| | Sepsidae | <i>Nemopoda</i> | 47 | 17 | 25 | 89 | |
| | Dolichopodidae | <i>Dolichopus</i> | 33 | 15 | 15 | 63 | |
| | Chloropidae | <i>Chlorops</i> | 6 | 2 | 2 | 10 | |
| | Sciaricidae | <i>Sciara</i> | 4 | 6 | 8 | 18 | |
| | Tipulidae | <i>Limoniinae</i> | 14 | 15 | 4 | 33 | |
| | Acalitras | <i>Milichiidae</i> | 13 | 6 | 6 | 25 | |
| | Fanniidae | <i>Fannia</i> | 6 | 3 | 3 | 12 | |
| | | Subtotal | | 225 | 146 | 94 | 465 |
| | Hymenoptera | Diaphriidae | <i>sp</i> | 13 | 17 | 2 | 32 |
| Formicidae | | <i>Campunotus</i> | 18 | 10 | 1 | 29 | |
| | | <i>Poneirene</i> | 26 | 7 | 2 | 35 | |
| | | <i>Myrmicidae</i> | 15 | 13 | 3 | 31 | |
| Ceraphronidae | | <i>sp</i> | 8 | 2 | 1 | 11 | |
| | Subtotal | | 83 | 55 | 13 | 151 | |
| Total con otros órdenes de insectos y familias identificados | | | 3245 | 1759 | 347 | 5351 | |
| Otros artrópodos y anélidos identificados | | | 65 | 35 | 9 | 109 | |
| Gran Total | | | 3310 | 1794 | 356 | 5460 | |

Fuente: elaborado por el autor

residuos, entre 40 % y 60 %. Estudios han indicado que exceso de sequedad provoca ralentización del proceso (Kulcu y Yaldiz, 2004; Álvarez-Uría y Rodríguez, 2007).

El pH se comportó de manera análoga entre las pacas con o sin techo, favoreciendo cría y reproducción microbiana con condiciones fisicoquímicas óptimas, sin necesidad de utilizar productos químicos, como ocurre con la cal que se adiciona en procesos tradicionales de compostaje para mantener la neutralidad del medio.

Llama la atención la disminución de lixiviado en pacas con techo, manteniendo la misma eficiencia en la producción de compost, lo que indica que esta técnica podría generar menor impacto que las pacas a la intemperie.

En lo que respecta a los gases liberados a la atmósfera, en las monitorizaciones no se detectaron niveles de metano, ni amoníaco, por los equipos usados y solo H_2S se detectó durante la primera semana, en comparación con otras técnicas usadas para compostaje, que producen estos gases en procesos de degradación anaeróbica. Esto indica que en el interior de las pacas se está llevando a cabo un proceso aerobio que no genera estos gases como productos finales o los generaron en niveles no detectables por los equipos. Esta situación beneficia no solo el ambiente sino también la salud ocupacional de los trabajadores, porque con la técnica de pacas no es necesario que las personas estén manipulando las pacas en el transcurso del período de degradación (solo al inicio en la construcción y al final de la descomposición), presentando menor tiempo de exposición a gases perjudiciales para la salud.

Es importante destacar, que el proceso de descomposición presentó la misma eficiencia en ambos tipos de pacas con 76 % de compost, lo cual evidencia que las pacas a la intemperie, además de mayor volumen de lixiviados, producen pérdida de producto final posiblemente a causa de la escorrentía del agua lluvia. Castrillón y Puerta, 2005, en un estudio similar realizado con formaletas móviles de madera a la intemperie

en una institución educativa universitaria en el municipio de Caldas, Antioquia, con residuos orgánicos de pastos y jardín, obtuvieron rendimiento de 25 %, atribuido a la pérdida de humedad y al mismo proceso de descomposición.

• **Parámetros biológicos**

Se identificaron enterobacterias, coliformes totales, *E. coli*, mohos y levaduras, como microorganismos intervinientes documentados en otros estudios en los procesos de descomposición de la materia orgánica (Yamiris y Gómez, 2004). Se observó disminución progresiva de *E. coli* y demás microorganismos, con curva de incremento, estacionaria y de disminución, proceso que sucede naturalmente ante la disponibilidad de alimento y el agotamiento de estos. Álvarez-Uría y Rodríguez (2007) documentaron que la descomposición aeróbica de residuos sólidos o semisólidos se caracteriza por metabolismos respiratorios aerobios y participación de microorganismos mesófilos y termófilos que son capaces de producir un producto estable, sin patógenos y rico en sustancias nutritivas para el suelo, que se produce lentamente y de manera natural, desde el mismo momento de su generación. Tal situación se evidenció al final de este estudio con ausencia de nematodos, protozoos, enterobacterias y *Salmonella*, esta última como la enterobacteria de mayor riesgo en salud, y con valores incluso de ausencia de mohos y levaduras en algunas pacas. Lo anterior indica que la técnica disminuye naturalmente los niveles poblacionales de microorganismos sin necesidad de utilizar invernaderos para compostaje. Por otro lado, se demostró que los microorganismos en la paca no requieren ser ayudados con aireación por volteo para la proliferación, como sucede con otras técnicas de compostaje que utilizan aireación manual o mecánica para favorecer la proliferación por métodos aeróbicos (Álvarez-Uría y Rodríguez, 2007).

Se resalta la presencia de insectos depredadores y descomponedores que actúan como bioindicadores de limpieza en el medio circundante, similar a otros estudios donde el

hallazgo de hormigas y colémbolos fue registrado en la descomposición de residuos orgánicos en la institución educativa universitaria ubicada en el municipio de Caldas, Antioquia, donde predominaron familias Vespoidea y Myrmecidae (orden Hymenoptera) caracterizadas por ser cazadoras de otros artrópodos, depredadoras y por nutrirse de residuos vegetales, y la familia Entomobryidae (orden Collembola) caracterizados por ser detritívoros, saprófagos o fitófagos; estos artrópodos, de manera similar a lo encontrado en este estudio, acuden a los sitios de descomposición debido a la gran cantidad de otros insectos presentes en las composteras y a la abundancia de recursos alimenticios (Arango y Macías, 2004; Arango y Piedrahita, 2004; Arango y Agudelo, 2004).

Asimismo, se demostró que las pacas no representan un riesgo para vectores de enfermedades, dado que los insectos encontrados son, en su mayoría, de tipo silvestre, por lo que existe poca posibilidad de que en estas se críen insectos que transmitan o propaguen enfermedades. De esta manera, para el caso de moscas y cucarachas solo se encontraron especies silvestres de jardín, pues no se encontraron especies domésticas que actúan como transmisores mecánicos de gérmenes. Arango y Agudelo (2004) registraron la presencia de cucarachas como un insecto de interés en el compost porque ayudan a triturar el material vegetal y contribuyen a la biodiversidad del edafón, generando tramas alimentarias que ayudan a la transformación y maduración de este. En el proceso de construcción de pacas, los residuos que se consideran atrayentes de este tipo de cucarachas y mosca doméstica se depositan en su interior y se forran con desechos forestales para que estos queden en el centro de la paca totalmente cubiertos.

Otros insectos encontrados de tipo silvestre fueron los ácaros, que se hicieron presentes debido a los desechos de los animales de establo y que, al igual que las hormigas, transitaban por las pacas actuando como depredadores y manteniendo el control biológico en las mismas. También se encontraron Coleópteros

(cucarrones) que están asociados a la perforación de túneles; estos son de vital función y actividad dentro de la paca, porque facilitan el acceso a la paca de otros insectos importantes para la descomposición de los residuos; entre estos, se hallaron algunos que son fieles indicadores de ambientes sanos, como son los denominados comúnmente “mariquitas”. Los estafilínidos hallados son indicadores de descomposición de residuos orgánicos.

Con respecto a las monitorizaciones en las pacas y en el sitio control, se halló que entre estos dos puntos de muestreos, no hubo diferencias significativas en cuanto a los órdenes de insectos encontrados. Esto quiere decir que las pacas no fueron el principal atrayente de los insectos silvestres sino que llegaron a estas porque se encuentran en el entorno de la institución educativa que es campestre, ubicada en área rural del municipio de Medellín. Sin embargo, las pacas actúan como control biológico, porque los insectos y otros artrópodos desarrollan allí sus ciclos de vida natural, de crecimiento, alimento, reproducción y, finalmente, cumplen la cadena trófica de depredación o descomposición.

Debido a lo anterior, se deduce que en el proceso de degradación de la materia orgánica en las pacas no solo están interviniendo microorganismos, como hongos y levaduras, sino también insectos y otros artrópodos que actúan como descomponedores y detritívoros que se alimentan también de microorganismos de las pacas o de los compuestos que las integran. Esto permite comprender que el proceso en las pacas es completamente natural, biológico, aeróbico y sostenible, produciendo un ambiente sano, puesto que las pacas se convierten en un nicho más del ambiente en el cual se encuentran.

- **Aceptación y usos del proceso de descomposición orgánicos con pacas**

Se destaca que el proceso de pacas para la descomposición de residuos orgánicos tiene amplia aceptación no solo por parte de los encargados del manejo, sino también de aquellas personas que interactúan directa

o indirectamente con estas, generando un ambiente sano, con posibilidad recreativa y de enseñanza para individuos y comunidades.

Manzano y otros (1998) en España registraron la mayor eficiencia y los beneficios de la degradación de la fracción orgánica de los residuos municipales mezclados con residuos vegetales de poda de jardines en procesos de compostaje, obteniendo no solo mejoramiento en el proceso, sino también mejora en las características del producto y en la disminución drástica de los malos olores, tal como sucedió con la implementación de esta técnica. Según Herrera (2005) se requiere que los residuos orgánicos mezclados con restos de jardín adecuadamente transformados en abono brinden posibilidades de uso en huertas, jardines y pequeñas parcelas de cultivos a las comunidades ubicadas en los corregimientos y zonas rurales periféricas a la ciudad de Medellín, fortaleciendo su vocación agrícola e incrementado su resistencia ante la expansión urbana; el presente estudio demostró que puede lograrse a través de la implementación de esta técnica. A su vez, esta técnica permite ser incorporada en los Proyectos Ambientales Escolares (PRAES) como plataforma y estrategia de educación ambiental con respecto al entorno en el cual se desenvuelven los individuos y colectividades, tal como ha sido establecido por los gobiernos municipales (Alcaldía de Medellín, 2006).

CONCLUSIÓN

Se concluye que la técnica de pacas actúa como un proceso netamente biológico aeróbico que favorece las interacciones entre microorganismos y artrópodos con la materia orgánica para la degradación de los residuos orgánicos que termina en la producción de compost, a través de un manejo limpio y sano de los residuos, sin consecuencias relacionadas con la presencia de riesgos para la salud, documentados en otras técnicas usadas en la degradación de residuos orgánicos.

AGRADECIMIENTOS

A los directores Edelmira Perdomo y Humberto Perdomo de la Institución Educativa Conquistadores por autorizar la realización de este estudio y por su valiosa percepción del mundo a favor de la protección del ambiente; al Grupo HTM por la interacción con la Facultad Nacional de Salud Pública en búsqueda de alternativas para construir entornos saludables; a la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia por la financiación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía de Medellín. (2006). *Guía Municipal N.º 3, para el manejo integral de los residuos sólidos en las instituciones educativas*. Medellín: Artes y Letras Ltda.
- Álvarez, P., Rodríguez, M. E. (2007). Optimización de la distribución de aire en túneles de compostaje. *Revista Técnica de Medio Ambiente*, 98, 42-50.
- Arango, G. P., Macías K. I. (2004). Mesofauna de los colémbolos en el compost de la Corporación Universitaria Lasallista. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1), 102-104.
- Arango, G. P., Piedrahíta, L. M. (2004). Mesofauna de las hormigas en el compost de la Corporación Universitaria Lasallista. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1), 22-26.
- Castillo C. J. (1997). Elaboración de compost en Manzales a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos. *Revista Luna Azul*, 3(4), 86-93
- Castrillón, O., Puerta, S. M. (2004). Impacto del manejo integral de los residuos sólidos en la Corporación Universitaria Lasallista. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1), 15-21.
- Domingo, J. (2000). Exposición a contaminantes químicos y biológicos a través de compost elaborado con la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. Riesgos sobre la salud. *Revista Técnica de Medio Ambiente*, 57, 72-77
- Herrera, A.C. (2005). La gestión integral de residuos sólidos en los corregimientos de Medellín. *Eolo Revista Ambiental*. 10, 72-75
- Kulcu, R., Yaldiz, O. (2004). Determination of aeration rate and kinetics of composting of agricultural wastes. *Bioresource Technology Journals*, 93, 49-57

- Manzano, S., Pérez, C., Soliva, M. (1998). Compostaje conjunto de la fracción orgánica de residuos municipales y residuos vegetales: influencia sobre la temperatura y los niveles de oxígeno. *Revista Técnica de Medio Ambiente*, 41, 60-67
- Obiols, J. (2008). Evaluación de los riesgos higiénicos por agentes químicos y biológicos en plantas de compostaje. *Revista Prevención, Trabajo y Salud*. 33, 13-21.
- Pérez, C., Manzano, S., Soliva M. (1999). Compostaje conjunto de la fracción orgánica de residuos municipales y residuos vegetales: influencia sobre los desprendimientos de CO₂ y NH₃. *Revista Técnica de Medio Ambiente*, 46, 44-51
- Silva, G. (2010). Descontaminación de residuos biodegradables en pacas digestoras. Medellín: Grupo Hábitat y Medio Ambiente. Manuscrito no publicado.
- Yamiris, T., Gómez, D. (2004). Microorganismos presentes en el compost. Importancia de su control sanitario. *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*. 4(7).