



Gestora ambiental,
investigadora y
extensionista, Escuela de
Ciencias Ambientales,
Universidad Nacional
(alina.aguilar.arguedas@una.ac.cr)

Emisiones de gases de efecto invernadero en el tratamiento de residuos orgánicos en San Rafael de Heredia

Alina Aguilar Arguedas



El manejo de los residuos sólidos ordinarios es un tema que aún se aborda con prioridad e interés, debido a su inadecuada gestión desde la fuente de origen como en la disposición final, último eslabón de la jerarquización de residuos (Aguilar, 2015). Esto ocasiona efectos negativos al ambiente, sus ecosistemas, al calentamiento global, y consecuentemente, al bienestar y calidad de vida de las poblaciones humanas.

Los residuos sólidos de tipo ordinario provenientes de viviendas y comercios pueden estar conformados por diferentes materiales tanto orgánicos como inorgánicos. El mayor porcentaje corresponde a los residuos rápidamente putrescibles conocidos como orgánicos (p. ej., cáscaras de frutas, verduras, restos de comida y jardín). Específicamente en Costa Rica, los estudios de caracterización y composición en municipios como San Carlos, Alvarado, Oreamuno, Cartago, Goicochea y Alajuela indican que la materia orgánica constituye aproximadamente el 55 % de todos los residuos domiciliarios generados (Soto, 2012, citado por Aguilar, 2015). Este alto porcentaje incentiva a los gobiernos locales



Figura 1. Recolección de residuos orgánicos con apoyo de miembros de la Comisión de Cambio Climático y la Municipalidad de San Rafael. Fotografía: Alina Aguilar.

a desarrollar alternativas de gestión integral, permitiendo así generar beneficios económicos, sociales y ambientales.

Una consecuencia de la no valoración y disposición adecuada en rellenos sanitarios de los residuos orgánicos es la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y dióxido de carbono (CO_2), producidos por la actividad microbiológica del proceso de descomposición. Datos de inventarios mundiales de GEI afirman que el sector residuos es el responsable de entre 3 % y 4 % de todas las emisiones antropogénicas a nivel mundial, igualando rubros de emisiones por aviación internacional y transporte marítimo (Rojas, 2014). Lo anterior evidencia la urgencia de implementar sistemas que permitan su valorización y por consiguiente la mitigación de GEI.

Desde el año 2011, la Municipalidad de San Rafael de Heredia, en conjunto con

la Comisión de Cambio Climático, han venido desarrollando iniciativas para disminuir los GEI del cantón dentro del marco de la *Estrategia Participativa de Cambio Climático* del territorio. Según el inventario de emisiones de GEI (Rodríguez y Rodríguez, 2011) de San Rafael, con año base 2008, una de las principales fuentes emisoras corresponde al sector de manejo de residuos sólidos, específicamente los orgánicos (22 %). Con el fin de atender

esta fuente, se vio la necesidad de investigar sobre una alternativa baja en emisiones que permitiera el tratamiento y aprovechamiento de los residuos orgánicos, estableciéndose así una opción diferente a la práctica de disposición final en relleno sanitario. Por ello, se propuso analizar el compostaje aerobio como tecnología limpia para la reducción de GEI en el manejo de los residuos orgánicos del distrito de San Rafael. Como proyecto piloto se evaluaron y analizaron tres tipos de compostaje: compostaje sin un fermento agregado, compostaje con agregado de microorganismos eficientes (*EM one*) y compostaje *takakura*.

Los datos analizados corresponden al periodo 2012-2014. Previo a la medición de los parámetros durante el composteo de los residuos orgánicos, se llevó a cabo una caracterización general del manejo y composición de los residuos sólidos ordinarios en viviendas y comercios del distrito de San

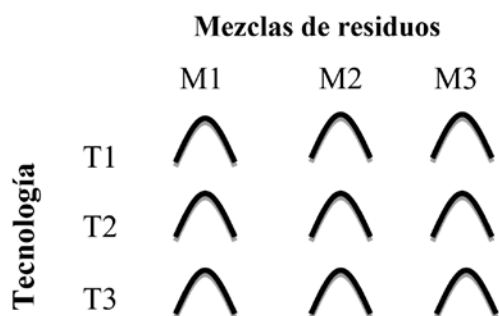


Figura 2. Diseño del primer experimento (E1) para la aplicación de 3 tecnologías con 3 mezclas en el manejo de los residuos orgánicos, 2014.

Rafael con el propósito de conocer la percepción de la población en cuanto a su manejo, la tasa de generación por sectores, así como la composición de los residuos generados por medio de la separación y pesaje. En el periodo 2013-2014, se realizó la recolección de residuos orgánicos de viviendas y comercios (**Figura 1**) para aplicar las tecnologías de compostaje y llevar a cabo la medición y análisis de los parámetros fisicoquímicos como temperatura, pH (concentración de iones de hidronio), porcentaje de humedad, metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), dióxido

de carbono (CO₂), relación carbono/nitrógeno (C/N), durante el proceso de conversión de la fracción orgánica. Para el análisis de las emisiones de gases se contó con el apoyo del Laboratorio de Análisis Ambiental de Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional.

Dentro de los residuos orgánicos verdes se incluyeron residuos de frutas, cáscaras de verduras, restos de alimentos cocinados, residuos de carnes y huesos, y otros. Los residuos secos como hojas secas y madera triturada o burucha, provenían de la corta y poda de árboles que fueron donados por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH). Para el método *takakura*, el material seco consistió en el lecho de fermentación, generado de la mezcla de soluciones elaboradas con cascarilla de arroz, según la *Guía del Instituto de Estrategias del Medio Ambiente Global* (IGES, 2010).

Para la medición de los parámetros fisicoquímicos se establecieron dos etapas que se llevaron a cabo en la Finca Experimental Santa Lucía de la Universidad Nacional, con un solo aporte de residuos orgánicos. El experimento 1 (E1) contó con la aplicación de 3 tecnologías: compostaje sin fermento agregado (T1), compostaje con agregado de ME *one* (T2) y compostaje *takakura* (T3), utilizando las siguientes mezclas (**Figura 2**): 50 % (100 kg) de residuos secos y 50 % (100 kg) de residuos verdes (Mezcla 1); 30 % (60 kg) de residuos secos

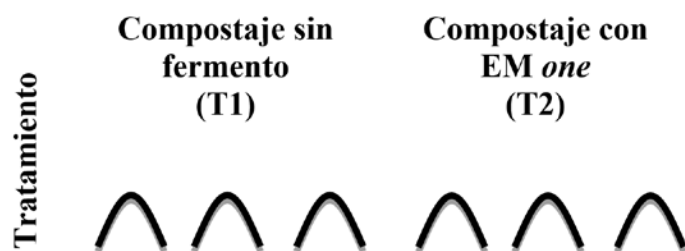


Figura 3. Diseño del segundo experimento (E2) para la aplicación de 2 tecnologías (T1 y T2) en el manejo de los residuos orgánicos con 3 repeticiones, 2014.

y 70 % (140 kg) de residuos verdes (Mezcla 2); 70 % (140 kg) de residuos secos y 30 % (60 kg) de residuos verdes (Mezcla 3).

Luego se realizó un experimento adicional (E2), el cual consistió en la aplicación de dos tecnologías: compostaje sin fermento (T1) y compostaje con microorganismos eficientes (T2) (**Figura 3**). Cada tecnología constó de 3 repeticiones con una sola proporción de residuos, donde se utilizó el criterio de experto: 50 % (143 kg) de residuos orgánicos y 50 % (143 kg) de residuos secos, para un peso por montículo de 286 kg. Debido a costos y tiempo, no se pudo incluir el compostaje *takakura*. A diferencia del E1, en el E2 se midió también el CO₂ (**Figura 4**).

Como resultado del experimento 1 (E1), al tercer día de medición de las tres tecnologías, se dio un aumento de la temperatura evidenciando el inicio de la actividad microbológica de las pilas, pasando de la fase mesófila a la termófila en un lapso de 5 días. Para la tercera semana, a pesar del volteo que se realizó, las temperaturas bajaron acercándose a valores de temperatura ambiental (25 °C), sin observarse de nuevo un incremento considerable. El descenso en la temperatura pudo estar relacionado a limitantes como el tamaño



Figura 4. Equipo utilizado durante las mediciones de CO₂. Fotografía: Alina Aguilar.

(200 kg) de las pilas ocasionando con esto cambios bruscos de temperatura.

El registro de la humedad promedio de los tratamientos osciló dentro del 30 % y 58 %, siendo el E1.T3.M2 y el E1.T3.M3 los más bajos con un 30 %, lo cual puede significar un porcentaje no adecuado por el decrecimiento de la actividad biológica (Moreno y Moral, 2011, citado por Aguilar, 2015). El bajo porcentaje de humedad presentado en el compostaje *takakura* pudo deberse a la alta temperatura que se manifestó al inicio del proceso de compostaje y a las características del sustrato utilizado, ya que la cascarilla de arroz tiene una gran capacidad como material secante (Román *et al.*, 2013) y baja capacidad de retención de humedad (Peña *et al.*, 2013). Nótese como la humedad y la aireación del compostaje tienen una estrecha relación con la temperatura.

En los tratamientos E1.T1.M3, E1.T2.M1 y E1.T2.M2 se obtuvo mayor emisión de metano, lo cual pudo deberse

a una mayor temperatura y humedad alcanzada. La emisión de metano se genera durante la descomposición anaeróbica de los residuos orgánicos en las primeras etapas del proceso de compostaje, que por lo general toma lugar en sitios anóxicos o anaeróbicos, incluso en las pilas de compostaje bien gestionadas (Sánchez-Monedero *et al.*, 2010, citado por Aguilar, 2015). El E1.T3, que corresponde al *takakura* en las tres diferentes mezclas de residuos, fue donde se generó una menor emisión de metano, con menor temperatura en los días de medición y menor humedad durante el proceso de conversión de la fracción orgánica; sin embargo, la emisión de óxido nitroso fue la mayor, lo cual pudo deberse al pH alcalino y las temperaturas dadas por debajo de los 40 °C durante la fase de maduración o estabilización (Sánchez-Monedero *et al.*, 2010 citado por Aguilar, 2015). Con las otras dos tecnologías, el E1.T1.M3 y el E1.T2.M3 se obtuvo la menor emisión de N₂O, probablemente por la proporción de residuos (70 % secos y 30 % verdes), debido a que el mayor carbono por el residuo seco produce una inmovilización del óxido nitroso por la deficiente disponibilidad de nitrógeno para la síntesis proteica de los microorganismos.

Para el experimento 2, las dos tecnologías aplicadas presentaron en las dos primeras semanas un aumento de temperatura de forma similar, registrándose datos inicialmente de 26 °C y aumentando hasta los 55 °C, evidenciando la actividad microbiana. El tratamiento sin fermento

(E2.T1) fue el que alcanzó una temperatura media más elevada, de 55 °C, en comparación al tratamiento con microorganismos (E2.T2), el cual registró 46 °C, sin lograr la temperatura media óptima, pero igualmente encontrándose dentro del rango aceptable ($p=0.05$). Adicionalmente, las dos tecnologías estuvieron dentro del rango de humedad promedio óptimo del 40 % y el 60 % señalado por Colomer (2007), lo que permitió la circulación del oxígeno. La humedad obtenida (50 % y 51 % respectivamente) muestra que la mezcla del 50 % de residuos orgánicos y 50 % de burucha (residuos secos) pudo tener una buena retención de la humedad para realizar un adecuado proceso biodegradativo. Por tanto, se puede indicar que hay una estrecha relación del porcentaje de humedad con la mezcla inicial.

En el E2.T1 se obtuvo la mayor emisión de metano (3 891 189 mg \pm 10 248), debido a que la zona central (sitio anóxico de la pila) presentó una mayor temperatura y alta humedad promedio durante las mediciones, favoreciendo con esto las bacterias metanogénicas. En cuanto a la emisión de óxido nitroso, el E2.T1 obtuvo la mayor emisión (192 409 mg \pm 49) lo cual pudo deberse al pH promedio ligeramente más alcalino que el E2.T2 y por las temperaturas dadas por debajo de los 40 °C durante la fase de maduración o estabilización. En cuanto al CO₂, el E2.T1 también mostró una mayor emisión (2 364 748 g \pm 614), lo que pudo deberse a la alta temperatura promedio obtenida (55 °C), en comparación con el E2.T2 (46 °C),

por su estrecha relación durante el proceso de compostaje (Sánchez-Monedero *et al.*, 2010, citado por Aguilar, 2015).

La tecnología de compostaje aerobio ya sea sin agregar un fermento, con *ME one* o *takakura*, por ser un proceso de degradación microbiológica, siempre va generar emisiones de CH₄, N₂O y CO₂, no obstante, estas variarán de acuerdo a factores como composición inicial del material, temperatura de la pila, pH, humedad, entre otros, por esto la importancia de una buena gestión de los mismos. De acuerdo a la valoración de los parámetros analizados y a la viabilidad técnica y económica se obtiene como la tecnología baja en emisiones el compostaje aerobio sin fermento, con una proporción de 1:1 (50% residuos verdes y 50% de residuos secos), dando el mismo resultado para los dos experimentos mencionados, sin embargo, utilizar *EM one* puede ayudar a la eficiencia del proceso y controlar otro tipo de factores como olores, empero el proyecto debe incurrir en un costo adicional por la compra del mismo.

Los resultados obtenidos de esta investigación dieron la base a lo que hoy día es el proyecto de tratamiento de residuos orgánicos que gestiona la Municipalidad de San Rafael, ubicado en el Paradero Monte de la Cruz. El mismo cuenta con infraestructura y condiciones necesarias para dar seguimiento a la recolección y tratamiento de residuos orgánicos de algunos sectores del cantón, obteniendo incluso, como subproducto del proceso, abono

orgánico, el cual se comercializa. Se agradece a la Municipalidad y la Comisión de Cambio Climático de San Rafael, quienes apoyaron con materiales y recurso humano para poder desarrollar la investigación, así como también al Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales y la Finca Experimental en Santa Lucía de la Universidad Nacional, quienes colaboraron con el uso de las instalaciones para la recolección y análisis de las muestras de gases.

Referencias

- Aguilar, A. (2015). Compostaje como tecnología para la reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) en el manejo de los residuos orgánicos, San Rafael de Heredia, Costa Rica (tesis de grado). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Colomer, F.J. y Gallardo, A. (2007). Tratamiento y gestión de los residuos sólidos. Editorial Limusa: Universidad Politécnica de Valencia.
- Institute for Global Environmental Strategies (IGES). (2010). Compostaje para la reducción de residuos. Trad. Jica. Kitakyushu, JP
- Peña, M.Y.; Casierra, F.; Monsalve, O. (2013). Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 7(2): 217 –227.
- Rodríguez, D. & Rodríguez, L. (2011). Propuesta de Aplicación de Tecnologías Limpias para la Reducción de Emisiones de CO₂ equivalente en el Cantón de San Rafael de Heredia (tesis de grado). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Rojas, J. (2014). Residuos sólidos y calentamiento global – Parte 1. CEGESTI no.254: 1-3.
- Román, P.; Martínez, M.M.; Pantoja, A. (2013). Manual del compostaje del Agricultor: Experiencias en América Latina. CL.s.n.t. 112 p.