

# ANÁLISIS DEL RESIDUO SÓLIDO RESISTENTE DERIVADO DEL VERMICOMPOSTAJE DE STEVIA REBAUDIANA

*Analysis of resistant solid residue derived from vermicomposting of stevia rebaudiana*

**Katy Elizabeth López Calvillo**

Mtr. en Ciencia y Tecnología de Alimentos  
kelopez@iabrand.com

**Alfredo Salvador Gálvez Sinibaldi**

Dr. en Geoquímica.  
1739807750101@postgrado.ingenieria.usac.edu.gt

Recibido: 15 de abril de 2024 | Revisado: 8 de junio de 2024 | Aprobado: 24 de julio de 2024

## Resumen

El secuestro del carbono en el suelo surge como una medida de mitigación ante el calentamiento global. El carbono orgánico en el suelo representa el reservorio más grande de carbono en el planeta. En esta investigación se estudia el papel que los residuos sólidos resistentes, derivados de los tejidos de las plantas, pueden tener como vía para el secuestro de carbono al ser sujetos a compostaje y su posterior aplicación como enmiendas al suelo. Muestras de material compostado de Stevia rebaudiana se analizan a intervalos de 30 días, durante 120 días que tarda el proceso de vermicompostaje. El análisis permite aislar un residuo sólido resistente, el cual bajo el microscopio electrónico presenta vestigios de tejido vegetal asociado a tallos de Stevia r. El análisis gravimétrico termodiferencial del residuo confirma que el mismo se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina. Este material resistente a la degradación química y microbiológica es un candidato ideal para el proceso de captura de carbono en el suelo.

## Palabras clave

Captura de carbono, microscopía electrónica, biopolímero resistente, análisis termogravimétrico diferencial.

## Abstract

*Soil carbon sequestration has emerged as an important strategy for mitigating global warming. Soil organic carbon represents the largest carbon reservoir on Earth. This study investigates the potential of resistant solid waste, derived from plant tissues, to sequester carbon through composting and its subsequent application as soil amendments. During this research, samples of composted Stevia rebaudiana material were analyzed at 30-day intervals throughout a 120-day vermicomposting process. The analysis enabled the isolation of a resistant solid residue, which, under scanning electron microscopy, revealed traces of plant tissue associated with Stevia stems. Thermogravimetric analysis confirmed that this waste is composed of cellulose, hemicellulose, and lignin. Due to its resistance to chemical and microbiological degradation, this material is a promising candidate for long-term soil carbon capture.*

## Keywords

*Carbon Capture, Scanning Electron Microscopy, Resistant Biopolymer, Differential Thermogravimetric Analysis,*

## Introducción

El secuestro de carbono en el suelo se reconoce cada vez más como una estrategia alternativa para mitigar el cambio climático mediante la reducción de los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico (Nair et al., 2015; Goh, 2004). Los suelos agrícolas pueden actuar como fuentes o sumideros de CO<sub>2</sub>, dependiendo de las prácticas de manejo (Nair et al., 2015). Se estima que el potencial global de secuestro de carbono en el suelo es de entre 0.4 y 1.2 Gt C/año (Nair et al., 2015), y algunos modelos sugieren que podrían almacenarse entre 0.5 y 4 Gt C/años adicionales en los suelos y la vegetación debido a los efectos de la fertilización con CO<sub>2</sub> (Gifford, 1994).

Prácticas como la agricultura de conservación, la agricultura orgánica, la gestión adecuada del pastoreo y la aplicación de biocarbón han demostrado ser eficaces para aumentar el carbono orgánico del suelo (SOC) (Nair et al., 2015; Lal, 2021). Sin embargo, la acumulación de carbono en el suelo está limitada por un nivel de saturación (Goh, 2004). En suelos degradados, la restauración del SOC es crucial para avanzar en la seguridad alimentaria y climática, ofreciendo una solución agrícola a los desafíos ambientales (Lal, 2021).

Los materiales lignocelulósicos desempeñan un papel crucial en la dinámica de la materia orgánica del suelo (MOS) y en la salud del suelo. Estos materiales, derivados de las plantas y compuestos principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, constituyen la mayor reserva de carbono del suelo (Baldrian y Šnajdr, 2010). Durante la descomposición de los tejidos vegetales, la celulosa proporciona energía para las transformaciones microbianas, mientras que la lignina contribuye a la formación de humus, mejorando la retención de agua y la capacidad de intercambio iónico del suelo (Hubbe et al., 2010).

Los microorganismos del suelo, especialmente los hongos, son actores clave en la transformación de la lignocelulosa, produciendo enzimas que degradan tanto los polisacáridos como los polifenoles (Baldrian y Šnajdr, 2010).

Este proceso de descomposición está influenciado por varios factores, como la temperatura del

suelo, la humedad, el oxígeno, el contenido de nitrógeno y la calidad del sustrato de carbono (Khatoon et al., 2017).

El compostaje de materiales lignocelulósicos no solo puede resolver problemas de gestión de residuos, sino que también mejora la fertilidad del suelo (Hubbe et al., 2010). Comprender estos procesos es fundamental para la modelización del carbono en el suelo y la toma de decisiones relacionadas con el secuestro de carbono y la mitigación del cambio climático (Khatoon et al., 2017).

En esta investigación, el compostaje se presenta como una herramienta valiosa para estudiar la evolución de la materia orgánica en los suelos. Durante este proceso, la materia orgánica experimenta transformaciones significativas: mientras que la celulosa y la hemicelulosa se degradan rápidamente, la lignina, por su parte, muestra una mayor resistencia (Kalakodion et al., 2017). El proceso puede modelarse para predecir la calidad del compost y comprender la dinámica de la fracción orgánica (Zhang et al., 2012).

Los ácidos húmicos formados durante el compostaje consisten en fracciones estables y lábiles, siendo los composts más evolucionados aquellos que contienen mayores cantidades de carbono aromático recalcitrante (Adani y Spagnol, 2008). Estos estudios subrayan la complejidad de la evolución de la materia orgánica durante el compostaje y sus implicaciones para la enmienda del suelo.

Finalmente, la formación de humus durante el compostaje es un proceso clave para la captura y almacenamiento de carbono en los suelos. Sin embargo, los factores que controlan la tasa y la calidad de la formación de humus aún no se comprenden completamente. Dado el impacto potencial en la mitigación del cambio climático, este estudio busca aportar conocimientos clave sobre estos procesos.

Mediante el uso de técnicas como la microscopía electrónica y el análisis gravimétrico termodiferencial, se investigan los cambios en la estructura y composición de la materia orgánica, con el fin de aportar al conocimiento relacionado

con la evolución de la materia orgánica, desde tejido vegetal hasta carbono orgánico en el suelo.

La microscopía electrónica de barrido permite visualizar los cambios en la estructura de la materia orgánica a nivel microscópico, mientras que el análisis gravimétrico termodiferencial proporciona información crucial sobre la composición química y la estabilidad térmica de los compuestos orgánicos.

## Desarrollo del estudio

### Compostaje de la materia orgánica

El tejido vegetal que se utiliza en el proceso de compostaje se obtiene de los residuos de *Stevia rebaudiana* generados en el proceso de fabricación de *Stevia*, en el departamento de Zacapa, Guatemala.

Los tallos y hojas procesados de *Stevia r.* se mezclan con estiércol de ganado vacuno y ovino en iguales proporciones (1:1:1). Pilas de compostaje de 4 m de largo, 2 m de ancho y, 0.80 m de altura son elaboradas y los parámetros de temperatura y humedad se miden rutinariamente. A intervalos de 3 días y durante los primeros 15 días, el material se voltea con la ayuda de una pala, para asegurar el ataque microbiano a la materia orgánica.

Luego de los primeros 15 días, el material se transfiere a las pilas de vermicompost, en donde también es sujeto a la acción de las lombrices rojas californianas *Elserie foetida*. De esta manera se forma una comunidad de lombrices-hongos-bacterias que contribuyen al proceso de descomposición de la materia orgánica. La pila se voltea cada 3 días. El control de temperatura se lleva a cabo dos veces al día durante los primeros 21 días, y luego una vez al día hasta completar los 120 días del ciclo de compostaje.

Muestras del material vermicompostado se extraen a los 30, 60, 90 y 120 días.

### Aislamiento de sustrato orgánico resistente

Aproximadamente 1 g de muestra se somete a hidrólisis en medio alcalino, utilizando NaOH 0.5N, en condiciones de reflujo durante 12 horas.

El residuo sólido resultante, se somete a hidrólisis ácida utilizando para el efecto  $H_2SO_4$  0.5 N, en condiciones de reflujo durante 12 horas. El residuo sólido resultante se lava con agua destilada, hasta que el agua de lavado presente un pH=7. Este sólido se considera un residuo resistente (RR) derivado de la materia orgánica presente en las muestras.

Este material se somete a los análisis por microscopía electrónica de barrido y análisis termogravimétrico diferencial.

### Equipo

- Microscopio electrónico de barrido.
- Microscopio SEM marca Jeol, modelo JSM-T-500.
- Operando a 10 Pa de vacío, y 15 Kv de voltaje en el filamento.
- Analizador termogravimétrico.
- Marca Mettler Toledo, modelo TGA 1 Star System. Operando con atmósfera inerte de nitrógeno. Flujo de  $N_2$  20 ml/min.

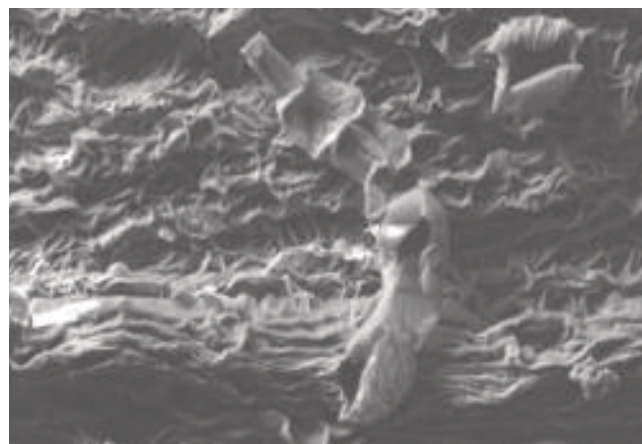
## Resultados obtenidos

### Microscopía electrónica de barrido

A continuación, se presentan las microfotografías que se obtienen en el análisis bajo el microscopio electrónico de barrido, del material resistente aislado de las muestras de vermicompostaje.

#### Figura 1.

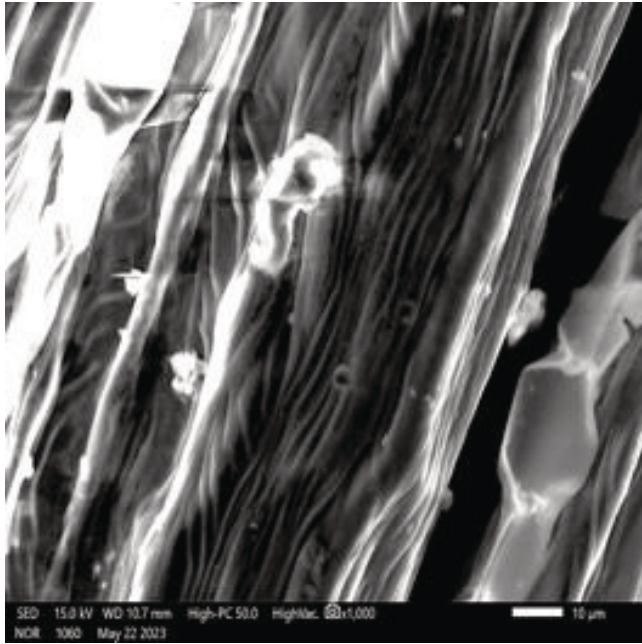
*Micrografía electrónica del material original, hojas de Stevia procesada. Aumento 500 X*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 2.**

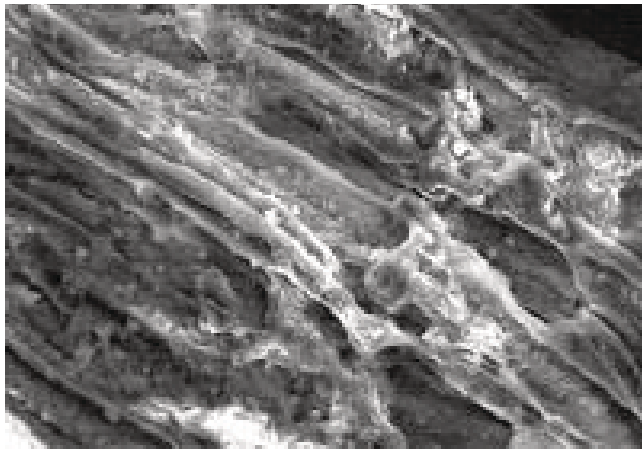
*Micrografía electrónica del material original, tallo de Stevia procesado. Aumento 1,000 X*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 3.**

*Micrografía electrónica del material resistente compostado (hojas y tallos de Stevia) durante 15 días. Aumento 1,000 X*

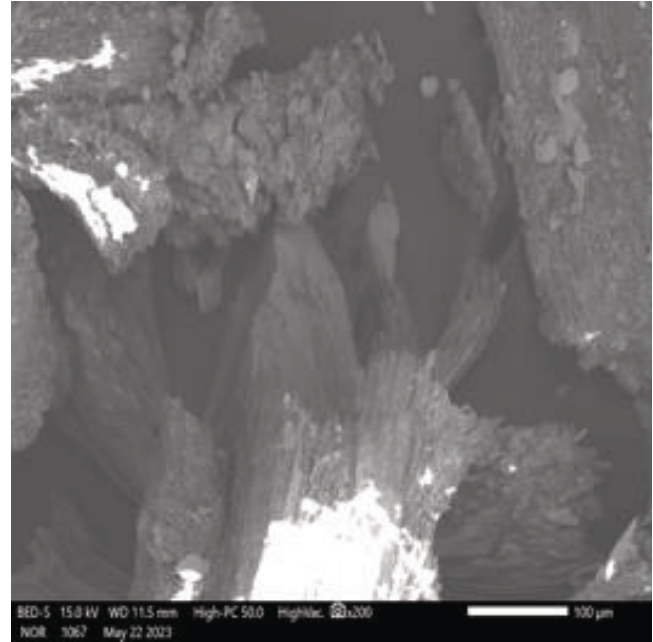


*Nota.* Elaboración propia.

Resalta en la Figura 3, la estructura reconocible de fragmentos de tallo, luego de 15 días de compostaje. Este material se somete luego a vermicompostaje y es muestreado sistemáticamente a los 30, 60, 90 y 120 días.

**Figura 4.**

*Micrografía electrónica del material resistente vermi compostado (hojas y tallos de Stevia) durante 30 días. Aumento 200 X*

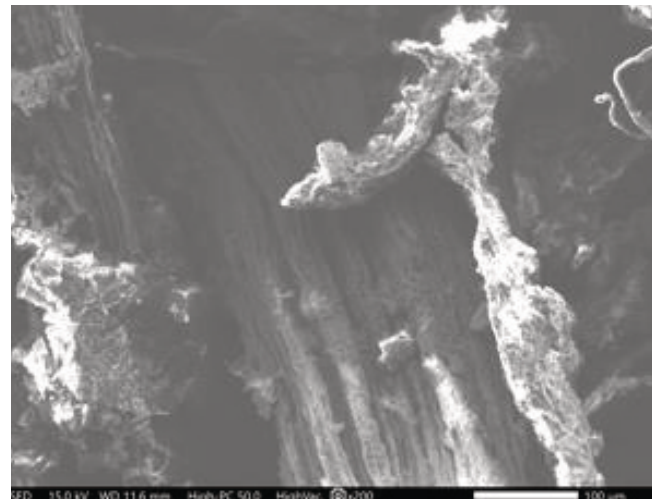


*Nota.* Elaboración propia.

En el centro y la parte inferior (iluminada) se puede discernir un tallo de luego de 30 días de vermicompostaje.

**Figura 5.**

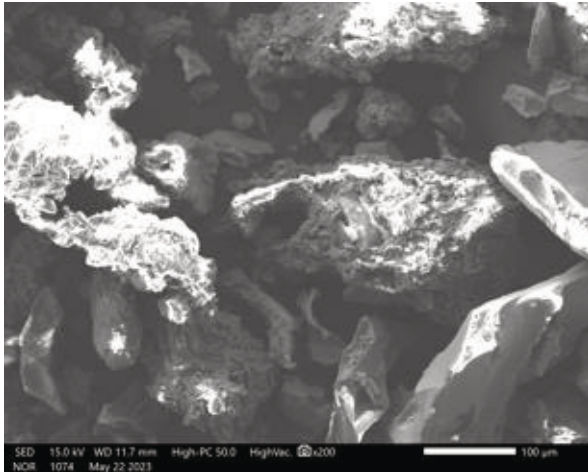
*Micrografía electrónica del material resistente vermicompostado (hojas y tallos de Stevia) durante 60 días. Aumento 200 X*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 6.**

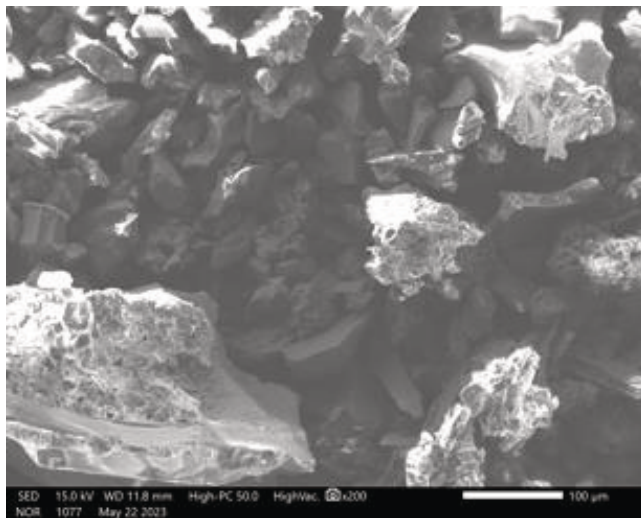
*Micrografía electrónica del material resistente vermicompostado(hojas y tallos de Stevia) durante 90 días. Aumento 200 X*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 7.**

*Micrografía electrónica del material resistente vermicompostado(hojas y tallos de Stevia) durante 120 días. Aumento 200 X*



Nota. Elaboración propia.

### Termogravimetría Diferencial

A continuación, se presentan los resultados del análisis gravimétrico termodiferencial. Esta técnica de análisis fisicoquímico permite

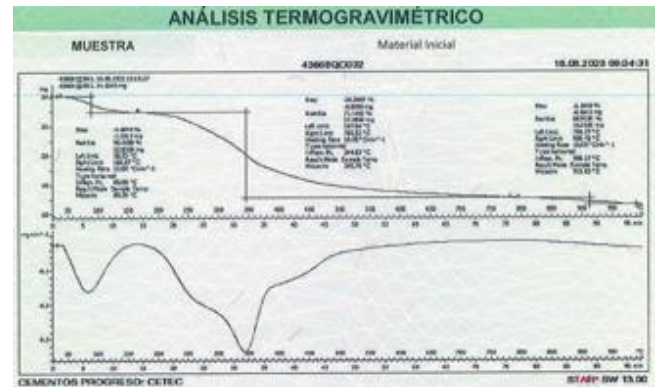
comprender el comportamiento térmico de los materiales.

El análisis permite identificar las temperaturas en las cuales ocurren cambios físicos o químicos, tales como deshidratación, decomposición, o transiciones de fase. Permite medir la cantidad de masa que se pierde en cada evento, lo cual puede servir para generar información relativa a la composición de la muestra.

Las figuras 8, 9, 10, 11 y 12, muestran los termogramas previo al proceso y al cumplir 30, 60, 90 y 120 días, respectivamente.

**Figura 8.**

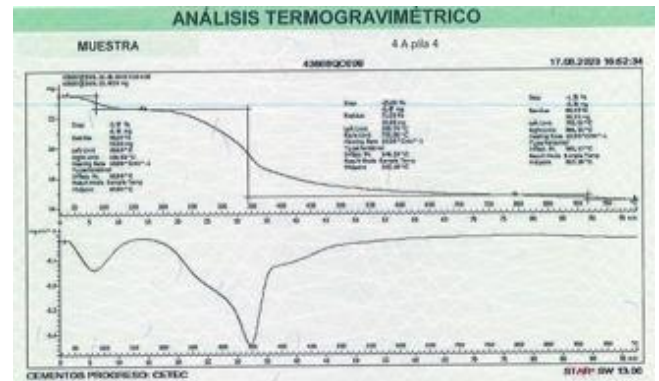
*Termograma del material resistente previo al proceso de vermicompostado*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 9.**

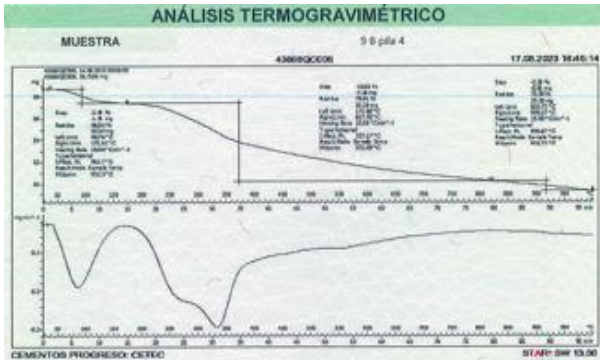
*Termograma del material resistente vermicompostado durante 30 días*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 10.**

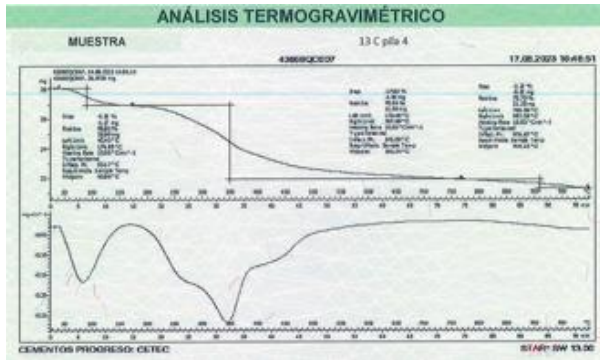
*Termograma del material resistente vermicompostado durante 60 días*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 11.**

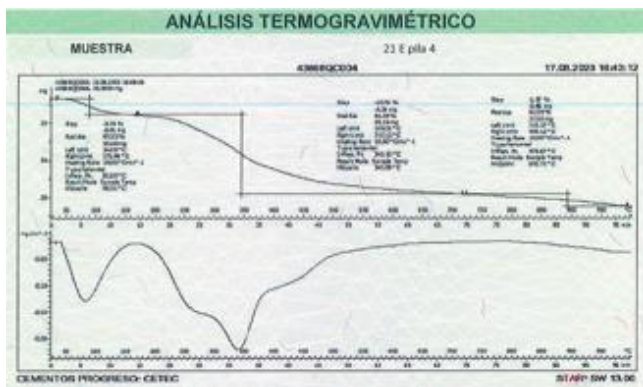
*Termograma del material resistente vermicompostado durante 90 días*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 12.**

*Termograma del material resistente vermicompostado durante 120 días*



Nota. Elaboración propia.

Las imágenes obtenidas durante el análisis de microscopía electrónica de barrido muestran que a lo largo del proceso de compostaje y vermicompostaje al que son sometidos los residuos de Stevia r, existen estructuras persistentes derivadas de las hojas y tallos de la planta.

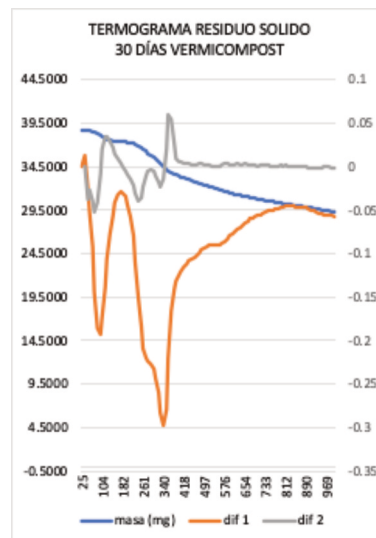
Los fragmentos que se observan se hacen cada vez mas pequeños, a medida que se alcanza la madurez del compost a los 120 días de proceso. Sin embargo, a pesar del ataque microbiano, aún se reconocen algunos rasgos estructurales que no dejan duda alguna respecto a su origen.

Este hecho es confirmado luego con el análisis termodiferencial en el cual se pueden observar cambios importantes en la estructura del residuo sólido objeto del análisis.

Debe notarse que el perfil del termograma no cambia a lo largo de los 120 días de vermicompostaje. Esto indica que el residuo sólido resistente no se altera a lo largo del proceso. La figura 13, permite hacer un análisis más detallado del termograma, al observar la pérdida de peso a lo largo del proceso. Se calculan la primera y segunda derivada de los datos de peso y con ello se pueden hacer mejores observaciones.

**Figura 13.**

*Análisis del Termograma del material resistente de Stevia r*



Nota. Elaboración propia.

El primer cambio importante sucede a una temperatura de entre 85 y 90 °C. Este cambio se atribuye a la pérdida de agua en las moléculas de celulosa. El siguiente cambio, entre 180 y 220 °C, se asocia a la descomposición pirolítica de los compuestos de hemicelulosa por pérdida de CO<sub>2</sub> derivado de la ruptura de los enlaces en los grupos de cetona y ésteres que pueden estar presentes y, por último, la degradación de la molécula de celulosa entre 300 y 400 °C.

Estos resultados concuerdan con la investigación realizada por Carrier, et al (2011) en la cual se propone al análisis termogravimétrico diferencial como una nueva técnica para la determinación de la composición lignocelulósica de biomasa.

## Conclusiones

Esta investigación permite enunciar las siguientes conclusiones:

1. El material vegetal proveniente de las hojas y tallos de *Stevia rebaudiana*, presenta una fracción que es resistente al ataque químico (hidrólisis ácida/hidrólisis alcalina), al ataque microbiano (compostaje) y al vermicompostaje (lombriz roja: *Elserie foetida*).
2. Las observaciones al microscopio electrónico de barrido demuestran que el material resistente tiene estructuras que se identifican como derivadas de los tallos de *S. rebaudiana*.
3. El análisis termogravimétrico diferencial permite establecer que el residuo sólido resistente al compostaje, vermicompostaje e hidrólisis en medio alcalino y medio ácido, tiene una composición lignocelulósica.
4. Este material resistente, al escapar al ataque microbiano y degradación química tiene el potencial de almacenar carbono atmosférico al ser producto de la fotosíntesis.

## Recomendaciones

Esta investigación es la primera en su género en el Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad, por lo que a la Escuela de Estudio

de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la USAC, se recomienda:

1. Fortalecer esta línea de investigación en el programa doctoral y en la Unidad de Investigación e Innovación con personal, equipo y materiales para realizar investigaciones de alto nivel dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Continuar la investigación de tecnologías que permitan remediar el incremento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera como medida de mitigación al calentamiento global.

## Referencias

- Baldrian, P., Šnajdr, J. (2010). Lignocellulose-Degrading Enzymes in Soils. In: Shukla, G., Varma, A. (eds) *Soil Enzymology. Soil Biology*, (22.) Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-14225-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-14225-3_9)
- Carrier, M., Loppinet-Serani, A., Denux, D., Lasnier, JM., Ham-Oichavant, F., Cansell, F., and Aymonier, C. (2011). *Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass*. *Biomass and Bioenergy*, 25 (2011), 298-307.
- Gifford, R. (1994). *The global carbon cycle: a viewpoint on the missing sink*. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21, 1-15.
- Goh, K.M., (2004) Carbon sequestration and stabilization in soils: Implications for soil productivity and climate change, *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(4), 467-476, DOI: 10.1080/00380768.2004.10408502
- Hubbe, M.A., Nazhad, M.M., & Sánchez, C. (2010). Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: a review. *Bioresources*, (5), 2808-2854.
- Khatoon, H., Solanki, P., Narayan, M., Tewari, L., & Rai, J.P. (2017). Role of microbes in organic carbon decomposition and maintenance of soil ecosystem.

*International Journal of Chemical Studies*, (5), 1648-1656.

Lal, R. (2021). Soil management for carbon sequestration. *South African Journal of Plant and Soil*, (38), 231 - 237.

Nair, R.R., Mehta, C.R., & Sharma, S. (2015). Carbon sequestration in soils-A Review. *Agricultural Reviews*, (36), 81-99.

## Agradecimientos

Esta investigación se hizo posible gracias a la colaboración de Cementos Progreso a través del Centro de Investigación y Desarrollo, facilitando el uso de los equipos y el personal para llevar a cabo los análisis cuyos resultados se presentan en este artículo.

Así mismo, se debe reconocer la colaboración de Green Fabric S.A., al permitir el uso del material procesado de *Stevia rebaudiana* y facilitar las muestras del proceso de compostaje.

## Información de los autores

Katy Elizabeth López Calvillo

Ingeniera en Alimentos. Facultad de Ingeniería, Centro Universitario de Sur Occidente, CONSUROC, Universidad de San Carlos de Guatemala, (2002). Maestra en Ciencia y

Tecnología de Alimentos. Universidad del Valle de Guatemala (2005). Maestra en Gestión Industrial, Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (2007).

Maestra en Ingeniería Sanitaria, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (2011).

Candidata a Doctor en Cambio Climático y Sostenibilidad. Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, USAC.

Afiliación laboral: Green Fabric S.A.

Alfredo Salvador Gálvez Sinibaldi

Licenciado en Química, Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, (1983).

Magister of Science, Graduate College, School of Geology & Geophysics, The University of Oklahoma, Norman, Oklahoma, United States of América (1988).

Philosophy Doctor, Graduate College, School of Geology & Geophysics, The University of Oklahoma, Norman, Oklahoma, United States of América (1993).

Afiliación laboral: Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, USAC.