

## Obtención y caracterización de una composta rica en silicio

González Durazno Guitzell Magdalena <sup>1</sup>, Mejía-Carranza Jaime <sup>2</sup>, Alfonso Domínguez-Guadarrama Andrés <sup>3</sup>, Vásquez-González Gabriel <sup>4</sup>, Cruz-Rojas Claudia <sup>5</sup>, Ramírez-Gerardo Marithza Guadalupe <sup>6</sup>

<sup>1</sup>División de Ingeniería en Industrias Alimentarias e Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable del Tecnológico de Estudios Superiores de Villa Guerrero, Carretera Federal Toluca-Ixtapan de la Sal Km. 64.5 La Finca, Villa Guerrero, México, México, <sup>2</sup>Centro Universitario Tenancingo, Carretera Tenancingo-Villa Guerrero km. 1.5 Tenancingo, México, México. \*marithza@gmail.com

**Resumen**— El uso excesivo de agroquímicos promueven la contaminación del suelo, así como la resistencia a plagas. Los abonos orgánicos como compostas, son una alternativa para disminuir el uso de fertilizantes químicos. El objetivo de la presente investigación fue obtener y caracterizar compostas elaboradas a partir de pasto (*Panicum* spp.) y equiseto (*Equisetum* spp.) a diferentes dosis para su valoración agronómica y su aporte de silicio. Se realizaron 4 compostas: SIN-EQ (testigo), EQ-10 (10 kg de *Equisetum* spp.), EQ-5 (5 kg de *Equisetum* spp.) y EQ-3 (3 kg de *Equisetum* spp.). Se encontró un aporte de 1.4 a 1.63 % en nitrógeno, 0.18 a 0.28 % de fósforo y de 2.32 a 3.06 % de potasio, el silicio se cuantificó en forma mineral como SiO<sub>2</sub>. De acuerdo a la norma NADF-020-AMBT-2011 las compostas resultaron ser de buena calidad.

**Abstract**— The excessive use of agrochemicals promotes soil contamination, as well as resistance to pests. Organic fertilizers such as compost, are an alternative to reduce the use of chemical fertilizers. The objective of the present investigation was to obtain and characterize compost elaborated from grass (*Panicum* spp.) and equisetum (*Equisetum* spp.) at different doses for its agronomic evaluation and its contribution of silicon. Four composts were made: SIN-EQ (control), EQ-10 (10 kg of *Equisetum* spp.), EQ-5 (5 kg of *Equisetum* spp.) And EQ-3 (3 kg of *Equisetum* spp.). A report of 1.4 to 1.63 % in nitrogen, 0.18 to 0.28 % of phosphorus and of 2.32 to 3.06 % of potassium was found, the silicon was quantified in mineral form as SiO<sub>2</sub>. According to the NADF-020-AMBT-2011 standard, composts were found to be of good quality.

**Palabras clave** — SiO<sub>2</sub>, *Equisetum* spp., abonos orgánicos, compostas.

### I. INTRODUCCIÓN

Los abonos orgánicos como las compostas, son una alternativa sostenible para la producción agrícola, porque promueven el incremento de la materia orgánica del suelo, la actividad microbiana y una liberación gradual de

nutrientes, procesos que se han evaluados en diferentes cultivos como cereales [1], hortalizas, flores [2], entre otros. Los estudios de compostas se basan principalmente en su aporte de macronutrientes (N, P y K) y micronutrientes (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) y otros se han enfocado a evaluar el impacto de su aplicación para la disminución de patógenos [1] bajo la perspectiva de que una buena nutrición puede disminuir el uso de plaguicidas.

Al respecto, algunas alternativas para controlar plagas y enfermedades en cultivos con un impacto menos drástico comparado al manejo convencional, están relacionadas con la implementación de una buena nutrición [3], [4] y el desarrollo de prácticas culturales [5] que evitan la resistencia de plagas a los compuestos químicos de origen sintético y además contribuyen a disminuir los costos de producción.

El silicio (Si) es considerado un elemento importante para diversos cultivos, ya que mejora su crecimiento y ayuda a sobrellevar diferentes condiciones de estrés biótico y abiótico. De manera que plantas con fertilización adecuada de silicio pueden resistir el ataque de patógenos principalmente hongos y algunos insectos herbívoros [6], [7], [8]. En la literatura se reporta que el silicio se acumula en el tejido foliar haciendo una especie de barrera que podría tener un impacto importante contra la digestibilidad de los insectos o incluso para la presencia de los hongos [9], [10].

Bajo la perspectiva de buscar alternativas viables, económicas y de fácil acceso para los productores, el objetivo de esta investigación fue obtener composta enriquecida con silicio a partir de la utilización de plantas como *Equisetum* spp y *Panicum* spp. y evaluar su calidad nutrimental.

### II. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1. Lugar de experimentación

El proceso de compostaje se realizó en las instalaciones del Tecnológico de Estudios Superiores de Villa Guerrero, en el Estado de México, ubicado a 18° 58' 18" N y 99° 38' 43" O y a una altitud de 2160 msnm. Característicamente en Villa Guerrero se presenta un clima en el que predomina el templado subhúmedo, la temperatura máxima es de 39 °C y la mínima de 2 °C. La temperatura media anual es de 18.8 °C y la precipitación promedio anual es de 1,242 mm.

El periodo de realización de la composta fue de abril a julio del 2018.

**2.2 Material utilizado**

La composta se realizó con materiales disponibles para un productor con el objeto de reducir gastos y aprovechar los recursos de la región como las plantas de *Equisetum* que en ocasiones suelen ser consideradas plagas y también se utilizó pasto zacatón (*Panicum spp.*) el cual crece a los alrededores de las milpas o en las orillas de la carretera.

Las plantas de *Equisetum spp.* se picaron con machete a un tamaño aproximado de 3 cm mientras que el pasto zacatón se trituró con una moladora (Jonh Deere 380, E. U. A) a un tamaño aproximado de 10 cm, dentro de las instalaciones del Tecnológico de Villa Guerrero para posteriormente dar paso al secado y después a su almacenamiento en costales de yute, hasta su utilización.

**2.3 Elaboración de compostas y tratamientos**

Se utilizó gallinaza como fuente de nitrógeno, la cual se obtuvo de una granja de pollos ubicada en Santa María Aranzazú, Villa Guerrero, además tierra del Tecnológico de Estudios Superiores de Villa Guerrero con el objetivo de enriquecer al compost con microorganismos nativos de la región, además de agregar levadura, y, como fuente de energía para los microorganismos se utilizó melaza. Las cantidades de los materiales utilizados para los tratamientos se muestran en Tabla 1. Todos los tratamientos tuvieron 200 kg de melaza y 400 g de levadura.

TABLA I  
MATERIAL UTILIZADO PARA LAS COMPOSTAS

Tratamiento	Gallinaza	Pasto	Equisetum
	kg		

SIN-EQ	6	12	0
EQ-10	8	6	10
EQ-5	5	5	5
EQ-3	6	12	3

La elaboración de las compostas fue mediante la aplicación de capas del material, mismo que después se revolvió. La mezcla se realizó sobre un plástico para evitar pérdidas de material y se humedeció con una mezcla de melaza y levadura disuelta en 20 L de agua.

**2.4 Seguimiento de temperatura, pH, conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica**

Después de haber elaborado las compostas se registraron las temperaturas diariamente a las 13:00 horas a partir del día 9 de abril hasta el 11 de julio de 2018. La medición de potencial de hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica (CE) se realizó cada 8 días a partir del día 11 de abril hasta el 12 de julio de 2018 en una dilución 1:2 (p/v) relación mezcla: agua destilada, usando un medidor de bolsillo modelo HI98130 (marca Waterproof Tester, HANNA, Instruments USA).

Se recolectaron mensualmente muestras de composta de abril a julio de cada tratamiento para determinar materia orgánica según la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 [11]. En crisoles de porcelana previamente lavados y secados, se pesó 1 g de compost después se calcinó y se colocó en una mufla (Felisa, USA) a 550 °C durante dos horas. La materia orgánica se determinó en porcentaje (muestra seca - muestra calcinada / muestra seca) x100.

**2.5. Actividad microbiana en el proceso de compostaje.**

Para evaluar el proceso de compostaje y conocer la evolución del proceso de degradación de la materia, se realizaron pruebas de respiración, para ello se utilizaron muestras de suelo de un cultivo de crisantemo ubicado en Acuitlapilco en municipio de Coatepec Harinas, Estado de México. La actividad microbiana se midió mediante la respiración microbiana de la mezcla del suelo con compost.

Esta prueba consistió en colocar en frascos herméticos de 1L, 100 g de suelo mezclados con 0.5 g de muestra fresca de compost, el suelo se llevó a 55 % de espacio poroso lleno de agua,

para ello se calculó la densidad del suelo mediante la técnica de probeta, por cada 100 gramos de suelo se agregaron 33 mL de agua.

En cada uno de los frascos con suelo se colocó un vaso de precipitado 10 mL de una solución de NaOH 0.5M. Se cuantificó la cantidad de CO<sub>2</sub> atrapado en la solución de NaOH con 5 mL de BaCl<sub>2</sub> 0.5 M, y se realizó una titulación con HCl 0.5 M, se realizaron dos ensayos en momentos diferentes cada uno con duración de cinco días, titulando cada 24 horas.

Se realizaron tres repeticiones por cada tratamiento y los frascos se mantuvieron a una temperatura de 28 °C en una estufa (marca ELVEC. Méx.).

La determinación de N, P, K y Si, fueron realizados por el laboratorio de Suelos en el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal (ICAMEX), bajo la normativa NADF-020-AMBT-201 [12].

**2.6 Análisis de datos**

Para cada una de las variables evaluadas se realizaron análisis de varianza para encontrar diferencias entre los tratamientos y en donde hubo diferencia, se realizó la prueba de Mínima diferencia significativa (MDS),  $\alpha = 0.05$ .

**III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**3.1. Temperaturas**

Las temperaturas máximas durante el proceso de compostaje en los diferentes tratamientos fueron de 62°C mientras que las mínimas registradas fueron de 20°C. La etapa mesófila fue corta, con una duración de 5 días aproximadamente como se ha reportado [13] mientras que la etapa de maduración estuvo entre el día 17 al 37 mientras que la fase de enfriamiento comprendió del día 38 al 55.

**3.2 pH y CE**

Al final del proceso, se obtuvieron valor de pH entre 8.7 y 9.2 siendo diferente significativamente ( $P < 0.05$ ) en los tratamientos EQ-5 y EQ-3 (Tabla 2). En cuanto a la CE se observó que los valores fueron entre 5.22 a 10.93 dS m<sup>-1</sup>, mostrando un valor mayor el tratamiento EQ-3.

Tratamiento	pH	CE
		dS m <sup>-1</sup>
SIN-EQ	9.3±0.02 B	5.22±0.04 B
EQ-10	8.72±0.02 B	4.69±0.22 B
EQ-5	9.18±0.02 A	4.70±0.40 B
EQ-3	9.19±0.03 A	10.93±0.30 B
MDS	0.09	0.9

Letras diferentes en misma columna indican diferencia significativa, MDS = mínima diferencia significativa.

Debido a que la composta obtenida tiene valores de pH altos, es importante considerar al momento de su aplicación la capacidad buffer del suelo, diversos autores [14] recomiendan corregir la enmienda con agentes acidificantes como el sulfato ferroso o de aluminio.

La conductividad eléctrica es una propiedad que indirectamente indica la concentración de sales soluble presentes en el mismo. Los valores obtenidos en este estudio están comprendidos dentro de lo reportado [14], estos autores utilizaron restos de cama de pollo compostada con valores entre 7.9 y 8.8 dS/m. Según con los estándares de calidad de la norma NADF-020-AMBT-2011, para el parámetro conductividad eléctrica de los tratamientos (EQ-SIN, EQ-10, Y EQ-5) los compost están dentro de los estándares de calidad del compost (Tipo B) y el tratamiento EQ-3 se encuentra en el compost (Tipo C).

**3.3 Materia orgánica**

El porcentaje de materia orgánica en el primer mes fue entre 68 y 88 % (figura 1) y al final del proceso (55 días) el valor registrado fue de 74 % para todos los tratamientos. De manera que no hubo diferencias significativamente ( $p < 0.05$ ) al final del proceso entre estos.

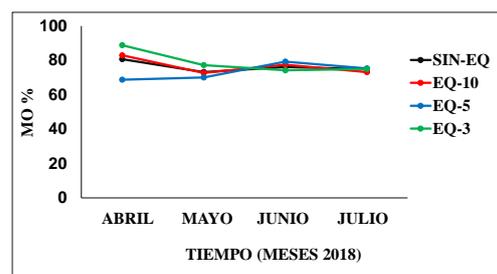


Fig. 1. Porcentaje de materia orgánica en cada tratamiento

TABLA II  
VALORES DE pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA AL FINAL DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

Algunos autores mencionan que los porcentajes de materia orgánica para una composta varían de 82 a 59 % lo cual coincide con diversos autores [15], [16], quienes reporta un porcentaje mínimo de aproximadamente 12 % y un máximo de 85 % en diferentes tipos de compostas. De acuerdo a la norma NADF-020-AMBT-2011 las compostas obtenidas corresponden a un tipo C, con un valor > 25 % lo que sugiere ser utilizada en agricultura ecológica y reforestación.

### 3.4 Respiración microbiana

El C-CO<sub>2</sub> acumulado durante el mes de junio (figura 2) mostró valores entre 365 a 722 mg C-CO<sub>2</sub> kg de suelo, el suelo control y en mezcla de suelo con compost donde no se incluyó *Equisetum* spp.

Los valores registrados de C-CO<sub>2</sub> están dentro de lo reportado por incubaciones de suelos florícolas de la zona [2].

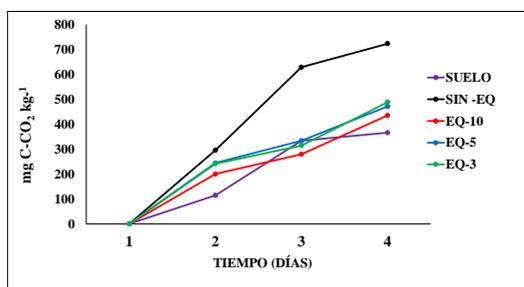


Fig. 2. C-CO<sub>2</sub> liberado en mezclas de suelo y compost. SIN-EQ (Testigo sin *Equisetum* spp.), EQ-10 (10 kg de *Equisetum* spp), EQ-5 (5kg de *Equisetum* spp.) y EQ-3 (3 kg de *Equisetum* spp.).

La actividad microbiana fue mayor en el tratamiento SIN-EQ en comparación de los tratamientos que contienen *Equisetum* spp. Esta situación se atribuye a que en el suelo la relación C/N es entre 12 y 14 [17], contrario a lo que pasa en el resto de los tratamientos donde es muy probable una relación C/N mayor, consecuencia de la presencia de material como *Equisetum* y pasto, lo que hace que la actividad microbiana se vea disminuida y solo atribuida a cierto tipo de organismos que pueden degradar compuestos presentes en la composta como celulosa y hemicelulosa [15].

### 3.5 Aporte de nutrientes de compostas

En la Tabla III se muestra el aporte nutricional de N, P y K de los cuatro tratamientos. El tratamiento sin-EQ presentó un porcentaje mayor de N y K, sin embargo, el contenido de silicio en

este mismo tratamiento fue menor respecto de al menos EQ-5 y EQ-3. Los valores de N, P y K se encuentran dentro de los valores reportados por otros autores en compostas con materiales similares [18], [19].

TABLA III  
APORTE NUTRIMENTAL DE LAS COMPOSTAS

Tratamiento	N	P	K	SiO <sub>2</sub>
	%			mg kg <sup>-1</sup>
SIN-EQ	1.6	0.2	3.1	412.15
EQ-10	1.5	0.3	2.3	354.18
EQ-5	1.4	0.3	2.6	1227.35
EQ-3	1.5	0.3	2.5	937.525

El aporte de N, P y K, fue menor al 3 % por lo que de acuerdo a la clasificación de la norma NADF-020-AMBT-2011, se considera composta mejoradora de suelo. Se encontró que el aporte de silicio es en forma de SiO<sub>2</sub> de igual manera como lo presentan los productos comerciales. Aunque los valores reportados en este estudio son menores a los comerciales, los cuales normalmente se aproximan al 13 % de SiO<sub>2</sub>. Es importante mencionar para que las plantas puedan asimilar el Silicio se requiere la participación de microorganismos y de las enzimas que la misma planta produce, entre otros procesos que suceden en el suelo, lo que permite la transformación en ácidos silícicos como meta silícico (H<sub>3</sub>SiO<sub>3</sub>) u orto silícico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>), que son las formas como las plantas lo absorben y así es transportado hacia las hojas, fortaleciendo el espacio intercelular, así como las demás estructuras de la misma, frutos, flores, polen, entre otros [20].

## IV. CONCLUSIONES

Se obtuvo una composta con características adecuadas para utilizarla como un mejorador de suelo. Las compostas obtenidas aportan silicio, sin embargo, se requieren estudios de aplicación a cultivos para evaluar su posible ventaja sobre estos.

## V. REFERENCIAS

[1] B. López, A. Valenzuela, D. Armenta, M. Apodaca y R. Ruelas, "Reducción de la fertilización sintética con composta y optimización del riego sobre la pudrición del tallo (*Fusarium* spp) del maíz," *Scientia Agorpecuaria*, No.5, pp. 121-133, 2012.

- [2] M. Ramírez-Gerardo, M. A. Chávez-García y J. Mejía-Carranza, "Evaluación de un vermicompost y lixiviados en *Solidago x hybrida*, y mineralización de C orgánico en incubaciones aerobias", *Revista internacional de Botánica Experimental*, vol. 84, pp. 397-403, 2015.
- [3] E. A. Gaytán-Acuña, D. Ochoa-Martínez, R. García-Velasco, E. Zavaleta-Mejía y G. Mora-Aguilera, "Producción y calidad comercial de flor de crisantemo", *Terra Latinoamericana*, vol. 24, pp. 541-548. 2006
- Dordas C. "Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review", *Agronomy for Sustainable Development*. Vol. 28, pp. 33-46. 2008.
- [4] L. Zheng and M. C. Van Labeke, "Effects of different irradiation levels of light quality on *Chrysanthemum*". *Scientia Horticulturae*, vol. 233, pp. 124-131, 2018.
- [5] M. J. Gonzalo, J. J. Lucena y L. Hernandez-Apaolaza, "Effect of silicon addition on soybean (*Glycine max*) and cucumber (*Cucumis sativus*) plants grown under iron deficiency", *Plant Physiology and Biochemistry*, vol.70, pp.455-461, 2013.
- [6] J. Heckman, "Silicon: A Beneficial Substance", *Bettercrops*, vol. 97, pp. 14-17, 2013.
- [7] Y. Shi, Y. Zhang, H. Yao, J. Wu, H. Sun and H. Gong, "Silicon improves seed germination and alleviates oxidative stress of bud seedlings in tomato under water deficit stress", *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 78, pp. 27-36, 2014.
- [8] P. Bauer, R. Elbaum and I. Weiss. "Calcium and silicon mineralization in land plants: Transport, structure and function", *Plant Science*, vol. 180: 746-756, 2011.
- [9] L. G. Castellanos, P. Mello y C. N. Silva, "Revisión bibliográfica. El silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas", *Cultivos Tropicales*, vol. 36, pp. 16-24, 2011.
- [10] SCFI (2007). Norma Mexicana NMX-FF-SCFI-2007. Humus de Lombriz-Lombricomposta especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación. 16 de febrero de 2007.
- [11] NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-020-AMBT-2011, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el distrito federal. Gaceta Oficial de la Federación. 30 de Noviembre 2012.
- [12] T. M. Ballesteros, B. M del C. Hernández, G. I. De la Rosa, S. M. Mañón y L. M. del C. Carreño, "Crecimiento microbiano en pilas de compostaje de residuos orgánicos y biosólidos después de la aireación", *Centro Azúcar*, vol. 45, pp.1-10, 2018.
- [13] H. Paterlini, M. V. Gonzalez y L. I. Picone, "Calidad de la cama de pollo fresca y composteada" *Ciencias del suelo*. Vol. 35, pp. 69-78, 2017.
- [14] O. Huerta, M. López y M. Soliva, *Proceso de compostaje: caracterización de mostres*. Ed. Serie Medi Ambient. Diputació Barcelona, España, 2010.
- [15] M. Soto y M. A. Vázquez, "Análisis químicos y microbiológicos de muestras de compost doméstico y comunitario", *Grupo Enseñaría Química e Ambiental*, Universidade da Coruña, pp. 1-5, 2015.
- [16] C. C. Gamarra, M. I. Díaz, M. Vera, M. P. Galeano y A. J. Cabrera, "Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco Paraguayo". *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol 9, pp.,1-26 pp. 2018.
- [17] P. F. S. Bernui y M. J. F. Rivero, "Obtención de abono orgánico (compost) a partir de desechos agroindustriales y su influencia en el rendimiento del cultivo *Zea Mays*", *Ciencia y Tecnología*, vol. 1, pp. 45-56, 2016.
- [18] F. R. A. Pérez, M. M. Ruiz, C. M. O. Lobato, V. Pérez, y S. P. Rodríguez, "Sustrato biofísico para agricultura protegida y urbana a partir de compost y agregados provenientes de los residuos sólidos urbanos", *Rev. Int. Contam.Ambie.* vol. 34, pp. 383-394, 2018.
- [19] (2018) G. E. Quero, "Silicio (SiO<sub>2</sub>) en la agricultura. Excelente remineralizador de suelos", Online Disponible: <https://estoesagricultura.com/silicio-la-agricultura/>