

Efecto de la fertilización orgánica en indicadores morfológicos y agronómicos de dos variedades de *Manihot esculenta* Crantz**Effect of organic fertilization on morphological and agronomic indicators of two varieties of *Manihot esculenta* Crantz**

Gertrudis Pentón-Fernández¹ <https://orcid.org/0000-0002-4253-9317>, Giraldo Jesús Martín-Martín¹ <https://orcid.org/0000-0002-8823-1641>, Odellín Brea-Maure² <https://orcid.org/0000-0002-2982-0104>, Orilda Hernández-Santovenia² <https://orcid.org/0000-0003-3373-4310>, Hans-Peter Schmidt³ <https://orcid.org/0000-0001-8275-7506>

¹Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Ministerio de Educación Superior. Central España Republicana, CP 44280. Matanzas, Cuba. ²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Matanzas. Carretera a Varadero, km 3½. Matanzas, Cuba. ³Ithaka Institute, Rue de l'ancienne Eglise 9, CH-1974 Arbaz, Suiza. Correo electrónico: gertrudis@ihatuey.cu

Resumen

Objetivo: Evaluar el efecto de la fertilización orgánica en indicadores morfológicos y agronómicos de dos variedades de *Manihot esculenta* Crantz.

Materiales y Métodos: En el 2019 se desarrolló un experimento durante nueve meses con dos variedades de *M. esculenta* (INIVIT Y93-4 y Señorita). Se aplicó un diseño experimental de bloques al azar, con cuatro tratamientos y tres réplicas: T1 control-fertilización mineral, T2-fertilización con 700 g/planta de biocarbón enriquecido, T3-fertilización con 700 g/planta de compost y T4-fertilización con 350 g de biocarbón enriquecido + 350 g de compost/planta. Se midieron variables morfológicas y de rendimiento agrícola. Se realizó análisis de varianza y comparación de medias mediante la dócima de Duncan ($p \leq 0,05$).

Resultados: Durante los 150 días del estudio, las variables morfológicas altura y diámetro del tallo, asociadas al crecimiento de *M. esculenta* en las variedades INIVIT Y93-4 y Señorita, no mostraron diferencias significativas con respecto al control por el efecto de la fertilización. La utilización del biocarbón, enriquecido o combinado con compost, garantizó entre 3 y 4 kg/m² de rendimiento de *M. esculenta* en las variedades INIVIT Y93-4 y Señorita, sin diferencias significativas con respecto a la fertilización química.

Conclusiones: Las alternativas de fertilización orgánica estimularon el crecimiento de las plantas durante su fase vegetativa y garantizaron rendimientos de *M. esculenta*, comparables con la fertilización química en las variedades INIVIT Y93-4 y Señorita.

Palabras clave: aplicación de abonos, biocarbón, compost, suelo, rendimiento

Abstract

Objective: To evaluate the effect of organic fertilization on morphological and agronomic indicators of two varieties of *Manihot esculenta* Crantz.

Materials and Methods: In 2019 a trial was conducted during nine months with two varieties of *M. esculenta* (INIVIT Y93-4 and Señorita). A randomized block experimental design was applied, with four treatments and three replicas: T1 control-mineral fertilization, T2-fertilization with 700 g/plant of enriched biochar, T3-fertilization with 700 g/plant of compost and T4-fertilization with 350 g of enriched biochar + 350 g of compost/plant. Morphological and agricultural yield variables were measured. Variance analysis and mean comparison through Duncan's test ($p \leq 0,05$) were carried out.

Results: During the 150 days of study, the morphological variables height and stem diameter, associated to the growth of *M. esculenta* in the varieties INIVIT Y93-4 and Señorita, did not show significant differences with regards to the control due to the effect of fertilization. The utilization of biochar, enriched or combined with compost, guaranteed between 3 and 4 kg/m² of *M. esculenta* yield in the varieties INIVIT Y93-4 and Señorita, without significant differences compared with the chemical fertilization.

Conclusions: The alternatives of organic fertilization stimulated plant growth during their vegetative phase and guaranteed *M. esculenta* yields, comparable with chemical fertilization in the varieties INIVIT Y93-4 and Señorita.

Keywords: fertilizer dressing, biochar, compost, soil, yield

Introducción

Manihot esculenta Crantz (yuca) constituye un renglón agropecuario importante en los países tropicales y

un excelente sustituto del concentrado comercial para la alimentación animal. Se distingue por su alta producción de raíces, ricas en almidón y follaje, con

Recibido: 02 de agosto de 2019

Aceptado: 05 de junio de 2020

Como citar este artículo: Pentón-Fernández, Gertrudis; Martín-Martín, G. J.; Brea-Maure, Odellín; Hernández-Santovenia, Orilda & Schmidt, H.-P. Efecto de la fertilización orgánica en indicadores morfológicos y agronómicos de dos clones de *Manihot esculenta* Crantz. *Pastos y Forrajes*. 43 (2):159-168, 2020.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

elevado porcentaje de proteína. El tallo y las hojas de esta planta se pueden utilizar para producir harinas proteicas destinadas a la alimentación de aves y peces (Hurtado-Espinoza, 2019); las raíces y las cáscaras, para ensilar y alimentar vacas lecheras (López-Herrera *et al.*, 2019) y para obtener probióticos a partir de su fermentación (Urbina-Orozco y Guerrero-Montenegro, 2018).

El potencial de rendimiento agrícola de *M. esculenta* se halla entre 15 y más de 45 t/ha (Howeler, 1985). El cultivo llega a extraer del suelo volúmenes de macroelementos equivalentes a 62 y 202 kg de N/ha, en las raíces y en la planta total; 23 y 73 kg de P_2O_5 /ha; 197 y 343 kg de K_2O /ha; 36 y 179 kg de MgO /ha; 17 y 183 kg de CaO /ha; 3 y 15 kg de S/ha. Según informaron Paneque-Pérez y Calaña (2001), las extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio (kg/t de producto agrícola) se corresponden con 1,71 N; 1,43 P_2O_5 y 7,43 K_2O .

El biocarbón y su combinación con compost constituyen una opción que pudiera satisfacer las demandas nutricionales y de calidad del suelo para la producción de *M. esculenta*. El compost provee de sustancias asimilables, como minerales y productos de la degradación, disponibles como fuente energética (hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos) en presencia de microorganismos edáficos de la fracción lábil.

Además, enriquece la fracción húmica, más estable, constituida por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas (Ballesteros-Trujillo *et al.*, 2018). El biocarbón es un material versátil que posee una alta concentración de carbón pirogénico resistente a la mineralización (Ouyang *et al.*, 2016).

El biocarbón de marabú (*Dichrostachys cinerea* L.), mezclado con el suelo en una relación volumétrica 1:1, garantiza el almacenamiento y retención de más de 0,5 g de agua por cada gramo de sustrato durante seis días, mientras que el suelo desprovisto del abono solo almacena 0,3 g (Milera-Rodríguez *et al.*, 2020). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la fertilización orgánica en indicadores morfológicos y agronómicos de variedades de *M. esculenta*.

Materiales y Métodos

Ubicación geográfica. El experimento se realizó en la finca La Ceiba, sitio adyacente a la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EPPFIH), en el municipio Perico, de la provincia de Matanzas, Cuba. La finca se halla ubicada entre los 22°, 48' y 7" de latitud norte y los 81° y 2" de longitud oeste, a 19,9 msnm.

Características climáticas. Durante el ciclo del cultivo, las condiciones agrometeorológicas se caracterizaron por diferencias estacionales típicas entre las primeras etapas de crecimiento, que se correspondieron con el período poco lluvioso (marzo a abril) y la etapa reproductiva y de madurez agrícola, que coincidió con la época lluviosa (mayo a septiembre).

Particularidades del suelo. El suelo se corresponde con el tipo genético Ferralítico Rojo (Hernández-Jiménez *et al.*, 2015). La topografía es llana, con pendiente de 0,5 a 1,0 %, y profundidad hasta la roca caliza de 1,50 m.

El análisis del suelo se realizó en el Laboratorio de Agroquímica del Instituto de Ciencias Agropecuarias (INCA). Para ello se aplicaron los siguientes métodos: pH en H_2O , potenciometría, relación suelo-agua: 1:2.5 (ONN, 1999a); MO, Walkley y Black (ONN, 1999b); cationes intercambiables, extracción con NH_4Ac 1 mol L⁻¹ a pH 7; determinación por complejometría (Ca y Mg) y fotometría de llama (Na y K) (ONN, 1999c); P, Oniani (extracción con H_2SO_4 0.1N, y determinación por espectrometría UV-visible (ONN, 1999d).

De acuerdo con los análisis químicos iniciales, a partir de muestras tomadas a una profundidad de 0 a 20 cm y las tablas de interpretación agroquímica (Paneque-Pérez y Calaña, 2001), el pH del suelo en el sitio experimental fue ligeramente ácido (6,14). Los valores de K y de Na intercambiable (0,09 $cmol^{(+)} / kg$ y 0,14 $cmol^{(+)} / kg$, respectivamente) resultaron bajos. Las concentraciones de Mg intercambiable (3,9 $cmol^{(+)} / kg$) estuvieron altas. Los valores de Ca fueron medios (11,1 $cmol^{(+)} / kg$). La concentración de MO (2,94 %) se clasificó como baja, con respecto a la mayoría de los suelos óptimos para uso agrícola.

Diseño experimental y tratamientos. En el experimento se aplicó un diseño experimental en bloques al azar, con tres réplicas. Los tratamientos evaluados fueron cuatro:

- T1 control: fertilización mineral, con 80 g de fertilizante/planta (fórmula completa 9-13-17), según las características del suelo y las normas técnicas de cultivo, con potencial productivo de 30 t/ha.
- T2: fertilización con 700 g/planta de biocarbón enriquecido.
- T3: fertilización con 700 g/planta de compost.
- T4: fertilización con 350 g de biocarbón enriquecido + 350 g de compost/planta.

Área experimental. El área de plantación comprendió 1 152 m², con 12 parcelas en total por variedad

Tabla 1. Comportamiento de las variables agrometeorológicas durante el ciclo de cultivo de *M. esculenta*.

Variable		Período poco lluvioso	Período lluvioso
Temperatura, °C	Máxima	30,2	33,6
	Mínima	16,3	21,8
	Media	22,8	26,8
Humedad relativa, %	Máxima	98	97,8
	Mínima	45,4	50,8
	Media	76,8	79,8
Precipitación, mm		77,9	191,3
Evaporación, mm	Noche	1,4	1,5
	Día	4,8	6,0
	24	6,2	7,5

de *M. esculenta*. El área bruta de las parcelas fue de 48 m², con 48 plantas/parcela y un marco de plantación de 1 x 1 m. La densidad de plantación correspondió a 10 000 plantas/m².

Procedimiento experimental. El experimento se llevó a cabo durante nueve meses de desarrollo del cultivo. El momento de siembra fue en diciembre de 2018. El período experimental abarcó dos etapas de evaluación: crecimiento vegetativo durante los primeros 150 días y rendimiento agrícola en el noveno mes. Se utilizaron en el estudio las variedades INIVIT Y93-4 y Señorita.

La preparación del suelo se realizó por el método convencional. La siembra, en diciembre, fue por semilla agámica. El riego se realizó con una frecuencia quincenal durante los primeros cuatro meses de crecimiento.

Los sustratos utilizados para las enmiendas orgánicas se prepararon a partir de la mezcla y homogenización total de los componentes, según la proporción establecida para cada tratamiento. El fertilizante químico, así como los abonos, se depositaron en el nicho de siembra, debajo de cada propágulo, en el momento de la plantación.

Compost. El compost se elaboró en la planta piloto de abono organomineral de la EEPFIH, a partir del procesamiento de estiércol vacuno en condiciones aeróbicas, vegetación espontánea y restos de jardinería, enriquecidos con IHPLUS®. Se aplicó con mochila, a razón de cinco litros por tonelada de compost en el momento del riego, con una frecuencia de 15 días.

IHPLUS® es un producto constituido por una mezcla de diferentes organismos, tanto aerobios como anaerobios, compatibles desde el punto de

vista fisiológico, que se complementan mutuamente. Esta solución tiene un pH entre 3,2 y 3,8. Se utilizó en forma de inóculo líquido, potenciado a partir de la mezcla de 1 kg de miel final de *Saccharum officinarum* L. y 1 kg de madre líquida y 20 kg de agua sin cloro. Su fermentación se realizó durante 10 días (Milera-Rodríguez *et al.*, 2020).

Biocarbón. El biocarbón se obtuvo mediante un proceso de pirólisis de los tallos de marabú (*D. cinerea*), durante dos horas, en un horno en el suelo. Se utilizó para ello la tecnología de Kon-Tiki (Schmidt y Taylor, 2014). El biocarbón se sumergió durante 24 h en H₂O y orina de vaca + IHPLUS® al 50 % de concentración. La proporción de inoculación en el biocarbón consistió en IHPLUS® (1,5 kg) + orina de vaca (0,5 kg) + agua (1 kg). Posteriormente, se escurrió durante 24 h y se procedió a la mezcla y preparación de los sustratos.

Los abonos utilizados estuvieron en el rango adecuado de contenido de materia orgánica para los fertilizantes orgánicos, según los criterios de Paneque-Pérez (2010). Además, el potencial redox [Eh (pH7)] y el pH estuvieron en el rango óptimo, entre +350 y +450 mV, y pH de 6,5 a 7,5, según Husson (2012). El biocarbón se enriqueció con orina e IHPLUS®. Su contenido de Na y Mg fue superior con respecto al compost.

Indicadores evaluados. Mensualmente, durante los primeros cinco meses después de la siembra, se realizaron mediciones de la altura de las plantas (cm), diámetro del tallo (cm), longitud de las ramas (cm) y diámetro de las ramas (cm). Además, se determinó el rendimiento agrícola (t/ha de raíces diferenciadas) a los nueve meses. Las mediciones se realizaron en 12 plantas, ubicadas en el centro de cada parcela.

Tabla 2. Algunas características agroquímicas de los fertilizantes orgánicos.

Abono	Eh (pH7) (mV)	pH	cmol ⁽⁺⁾ /kg				P, ppm	MO, %
			Na	K	Ca	Mg		
Biocarbón enriquecido	363,3	7,77	2,39	1,22	34,5	20,25	1797	50,1
Compost + biocarbón enriquecido	374,0	7,17	0,82	1,17	35,5	14,0	5804	48,60
Compost	350	6,28	1,06	1,17	34,5	14,5	6407	42,30

Análisis estadístico. Se verificó la normalidad de la distribución de los datos en todas las variables por la prueba modificada de *Shapiro-Wilk* y la homogeneidad de varianza, según la prueba de *Levene*. Se realizó análisis de varianza y las medias se compararon mediante la dócima de *Duncan* ($p \leq 0,05$). Se utilizó el programa estadístico *Infostat* (*Di Rienzo et al.*, 2008).

Resultados y Discusión

Efecto en el crecimiento inicial y el rendimiento agrícola de M. esculenta, variedad INIVIT Y93-4. Las variables morfológicas asociadas al crecimiento de *M. esculenta*, variedad INIVIT Y93-4 (fig. 1) no mostraron diferencias significativas por el efecto de la fertilización en las variables altura y diámetro del tallo durante los 150 días del estudio. Aunque se encontraron diferencias en el diámetro y longitud de las ramas hasta los 120 días después de la siembra del cultivo, estas desaparecieron al final de la evaluación.

El hecho de que el tratamiento con fertilización química no superó las alternativas de fertilización orgánica indica que, aun cuando los fertilizantes sintéticos son eficientes para garantizar el crecimiento rápido de los cultivos, al suministrar directamente en la rizósfera nutrientes esenciales en forma asimilable, como son el nitrógeno y el potasio, las raíces de las plantas solo pueden absorberlos desde soluciones acuosas en el suelo. En este estudio existieron limitaciones de humedad del suelo, como resultado de precipitaciones insuficientes durante el período poco lluvioso, y ello puede limitar el efecto de la fertilización química. En cambio, los abonos orgánicos mejoran la estructura y las propiedades del suelo, tienen efecto regulador en la temperatura y evitan la evaporación excesiva, lo que ayuda a mantener la humedad efectiva para las plantas.

Las mezclas de suelo/compost y biocarbón aumentan la retención de agua, como consecuencia de la alta proporción de meso y macroporos, y el aumento del área superficial en presencia del biocarbón, donde las fuerzas capilares fuertes son

efectivas para almacenar grandes cantidades de agua (*Teβin*, 2016). En esta condición, las plantas disponen de las soluciones acuosas con nutrientes almacenados previamente en la estructura del bioabono, el cual se caracteriza por una favorable capacidad de intercambio catiónico y potencial redox (*Reyes-Pérez et al.*, 2016; *Segura-Chavarría*, 2018). De ahí que no se encontraran diferencias entre la fertilización química y la orgánica.

Un comportamiento similar al obtenido en esta investigación informaron *Iglesias-Abad et al.* (2018) en *Zea mays* L. (maíz), quienes aplicaron fertilización orgánica a partir de biocarbón elaborado de biomasa residual de *Eucalyptus globulus* Labill, aplicado en el momento de la siembra al fondo del surco, en dosis de 5 t/ha. Estos autores encontraron características fenológicas de crecimiento (altura, índice de área foliar y grosor del tallo) comparables con el tratamiento de fertilización mineral recomendada para el maíz.

Estos resultados en el crecimiento de *M. esculenta* difieren de lo obtenido por *Reyes-Moreno* (2018), quien obtuvo mayor crecimiento y desarrollo de la parte foliar y del tallo de *Acacia mangium* Willd en los tratamientos con presencia de biocarbón en comparación con la fertilización mineral. Este autor planteó que una de las causas por las que el abono con biocarbón podría procurar aumento en la tasa de crecimiento y desarrollo es la cantidad de K que pone a disposición de las plantas, como resultado de una mayor capacidad de fotosíntesis, un aumento de asimilación en el floema y una mayor apertura estomática e incremento en C. Esta es una característica de los abonos evaluados en el presente estudio, y explica el hecho de que no se hallarán diferencias estadísticas en el rendimiento agrícola entre los tratamientos con fertilización orgánica y química. (fig. 2).

El comportamiento en la etapa de crecimiento de los órganos aéreos y en la formación de raíces hizo que se considerara indiferente la respuesta del cultivo a las distintas alternativas de fertilización orgánica y química. Ello indica, a su vez, la superioridad de los

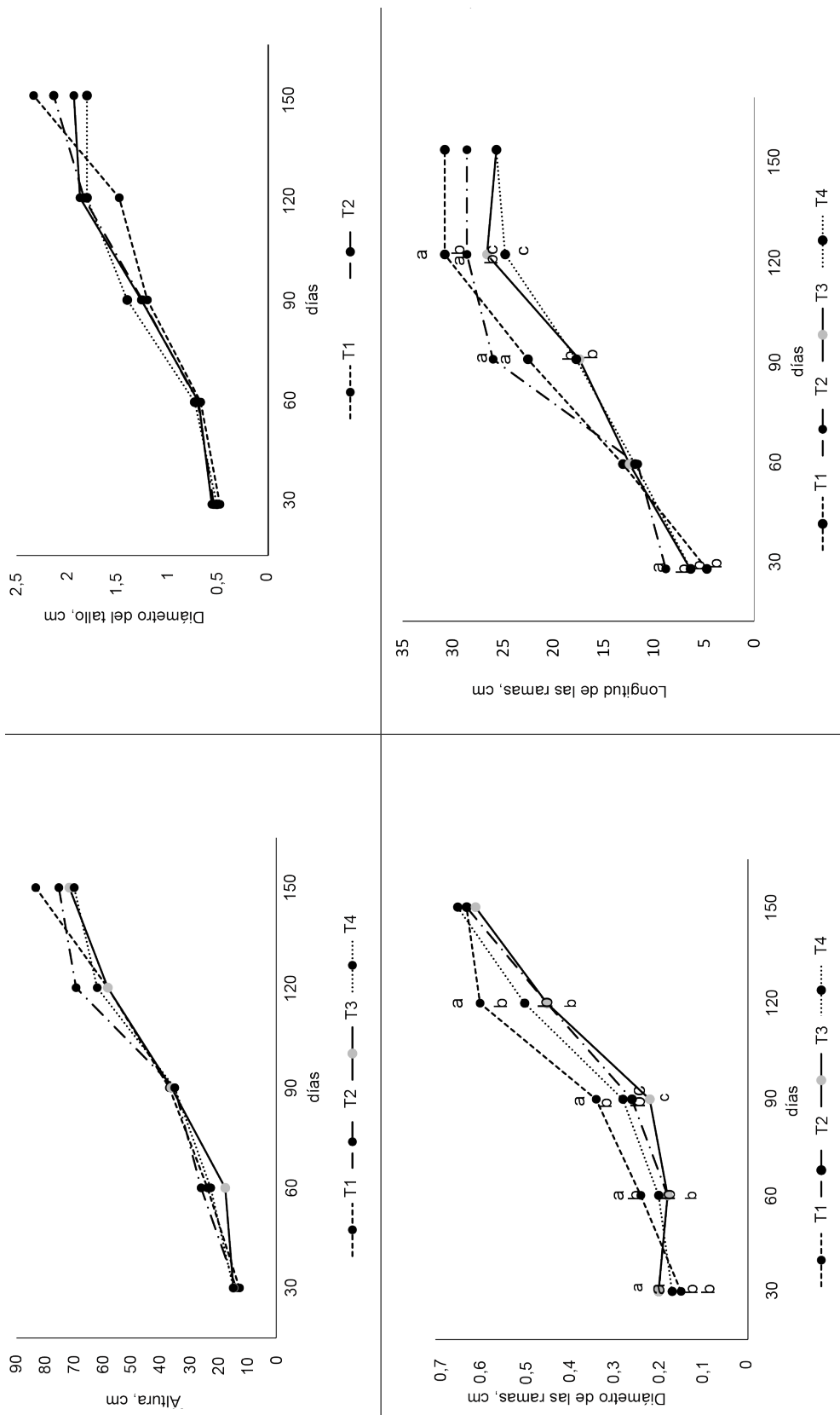


Figura 1. Crecimiento de *M. esculenta* variedad INIVIT Y93-4. T1-control (fertilización mineral), T2-fertilización con 700 g de biocarbón, T3-fertilización con 700 g de compost, T4-fertilización con 350 g de biocarbón + 350 g de compost. a, b, c: Medias con letras distintas indican diferencias a $p < 0,05$, según Duncan (1955)

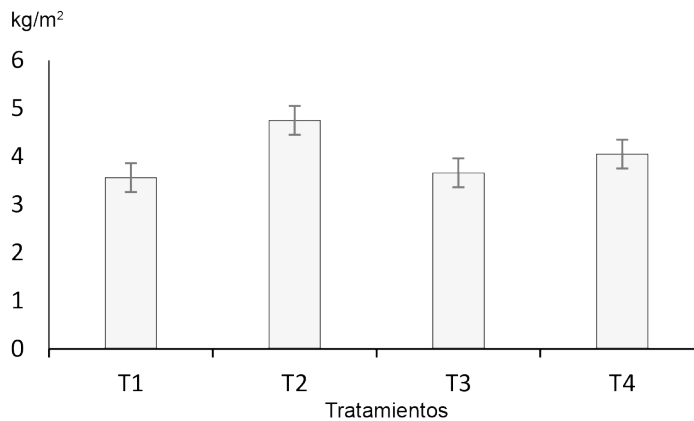


Figura 2. Rendimiento agrícola de *M. esculenta* variedad INIVIT Y 93-4 T1-control (fertilización mineral), T2-fertilización con 700 g de biocarbón, T3-fertilización con 700 g de compost, T4-fertilización con 350 g de biocarbón + 350 g de compost.

tratamientos con fertilización orgánica, en términos de sostenibilidad ambiental, con respecto a la mineral, particularmente de los abonos con presencia de biocarbón.

La influencia positiva de los fertilizantes orgánicos, además de las razones mencionadas con anterioridad, está determinada, según Sofo *et al.* (2014) y Díaz (2015), por la abundancia de sustancias nitrogenadas que existen en el compost y en el biocarbón enriquecido. En este caso, están presentes la orina vacuna y el IHPLUS® (utilizado para enriquecer el compost como el biocarbón), que proporciona vitaminas, ácidos orgánicos, quelatos y sustancias antioxidantes que contribuyen a la rápida descomposición de las macromoléculas; además de estimular el crecimiento de las plantas a ritmos comparables con la fertilización inorgánica.

Panwar *et al.* (2019) encontraron que el biocarbón, aplicado hasta 10 cm de profundidad del suelo, puede disminuir el potencial de desnitrificación y las emisiones de N_2O . Esto indica que la enmienda con biocarbón mejora la transformación del nitrógeno en el suelo.

Efecto en el crecimiento inicial y el rendimiento agrícola de M. esculenta, variedad Señorita. Al igual que la INIVIT Y93-4, la variedad Señorita no mostró diferencias en la altura de las plantas y el diámetro del tallo durante las primeras etapas del crecimiento (fig. 3). En cuanto a la longitud de las ramas, se observaron diferencias significativas a favor de la fertilización química a partir de los 120 días hasta el final de la evaluación. Mientras, en la

variable diámetro de las ramas, a pesar de que se encontraron diferencias significativas que favorecen el control hasta los 120 días, estas desaparecieron a los 150 días del estudio.

La mayoría de las variables analizadas no difirieron significativamente entre tratamientos. No obstante, a pesar de que se obtuvo una respuesta similar del cultivo a la fertilización química y al abonado, las alternativas orgánicas garantizarían mayor eficiencia y sostenibilidad en los sistemas agrícolas porque permiten cerrar los ciclos de nutrientes a partir del reciclaje de residuos disponibles en el mismo agroecosistema.

El reemplazo de fertilizantes minerales (altamente costosos y contaminantes del medio ambiente) por fertilizantes orgánicos constituye un reto, ya que la eficiencia de nutrientes de los fertilizantes químicos es mayor, y conduce a una brecha en el rendimiento de los cultivos entre los sistemas agrícolas convencionales y orgánicos (Ponti *et al.*, 2012). Además, el reciclaje de los residuos de cultivos y del estiércol en una granja convencional no es suficiente para mantener el suministro equilibrado de nutrimentos.

De ahí que el abono obtenido a partir del compost con activadores microbianos IHPLUS® (T3) y el biocarbón enriquecido y combinado con compost (T4) es comparable con la fertilización química, debido a que reduce las pérdidas por lixiviación de carbón y nutrientes en el proceso de reciclaje. Desde el punto de vista tecnológico, ello implicaría la integración de diferentes producciones agropecuarias

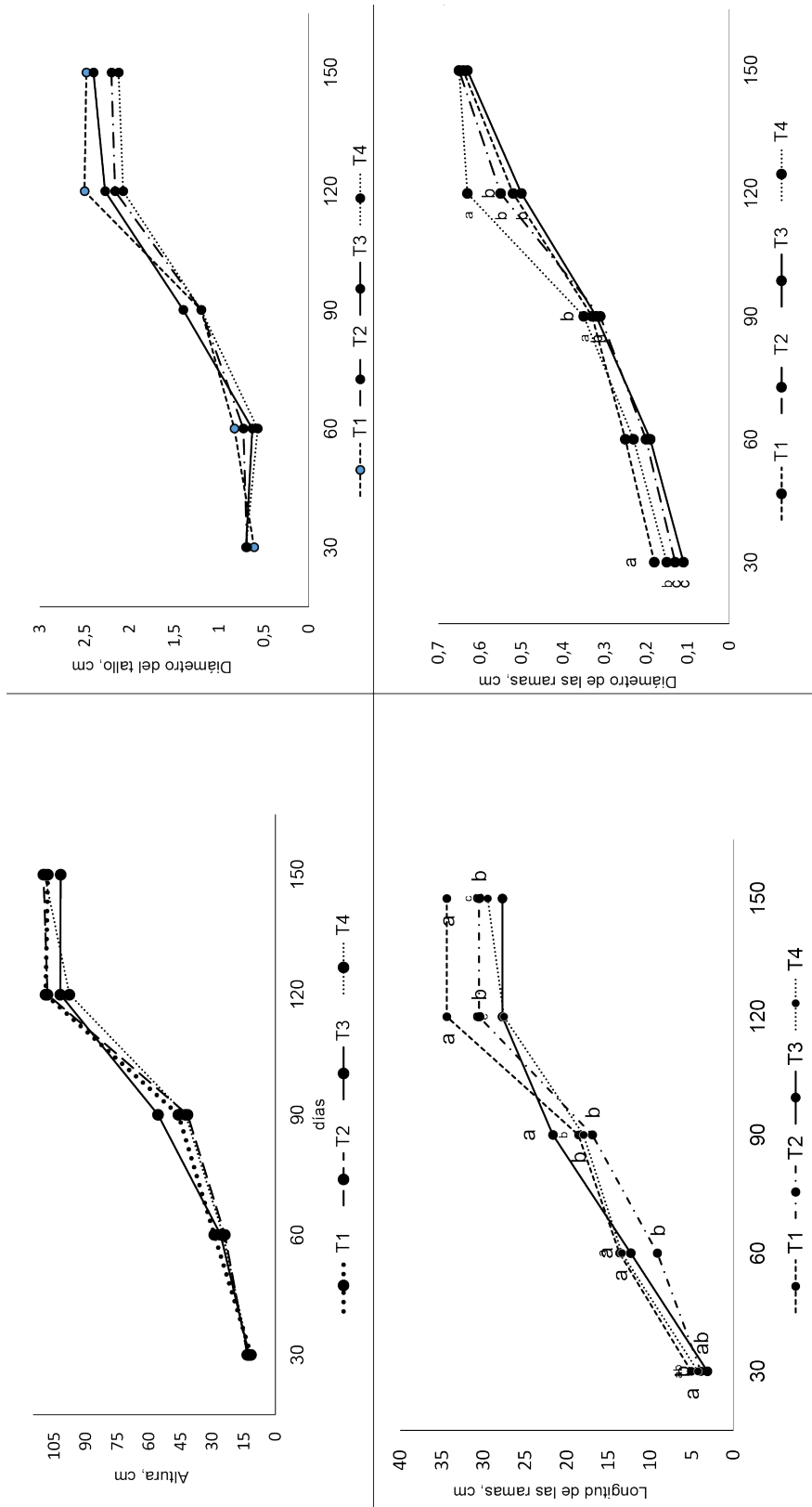


Figura 3. Crecimiento de *M. esculenta* variedad Señorita. T1-fertilización con 700 g de biocarbón, T2-fertilización con 700 g de biocarbón + 350 g de compost, T3-fertilización con 700 g de biocarbón, T4-fertilización con 350 g de biocarbón + 350 g de compost. a, b, c, Medias con letras distintas indican diferencias a $p < 0,05$

y forestales en una misma cadena de valor, con la generación de coproductos en un concepto agroecológico, lo que sitúa la producción agrícola en una condición más resiliente y sostenible.

El biocarbón otorga un nuevo e importante valor al fertilizante orgánico, ya que contribuye a minimizar la emisión de gases de efecto invernadero, debido a los altos contenidos de carbón que al entrar al suelo elevan la relación carbono/nitrógeno (Forero-Gutierrez y Navarro-Muñoz, 2019).

López-Molina (2018) demostró que el biocarbón puede ser una enmienda al suelo más estable que el bocachi y el compost, debido a su alto contenido de carbono recalcitrante. La fracción de carbono lábil puede estimular la mineralización de la materia orgánica del suelo, pero a largo plazo el biocarbón aumenta la estabilización de los componentes orgánicos biogénicos mediante la adsorción y humificación (Zimmerman, 2011). Forero-Gutierrez y Navarro-Muñoz (2017) observaron que el contenido de carbono orgánico en el suelo aumentó después de la aplicación del biocarbón (0,14 a 0,18 t/ha).

Torres-Sallan *et al.* (2014) estudiaron el biocarbón en comparación con el compost y la combinación de ambos, a razón de 5 t de C/ha. Estos autores encontraron en las parcelas con biocarbón menores concentraciones de carbono oxidable, lo que contribuye a que se pierdan menos compuestos orgánicos por lixiviación, y los que se puedan solubilizar sean menos reactivos con los metales y otros elementos.

Los argumentos anteriores permiten explicar que el rendimiento agrícola de *M. esculenta*, variedad Señorita, no mostrara variaciones estadísticas entre la fertilización química y las alternativas orgánicas (fig. 4). Esto constituye un elemento definitorio, en cuanto a la posibilidad de sustituir la fertilización química por los abonos evaluados.

Los efectos de los abonos en la rizósfera del cultivo avalan los resultados favorables del uso de compost con biocarbón enriquecido. El pH de la solución del suelo es un factor crítico para el crecimiento de las plantas (Weil y Brady, 2010), y aunque la tolerancia a las condiciones ácidas y alcalinas varía considerablemente entre cultivos, todos tienen un rango bastante estrecho de condiciones óptimas de pH.

M. esculenta se conoce por su capacidad para crecer en condiciones de suelo ácido. Aun así, el grado de acidez o condiciones altamente alcalinas pueden afectar su crecimiento, principalmente por la influencia que tiene el pH en la disponibilidad de nutrientes para la planta (Weil y Brady, 2010).

Los abonos, elaborados a base de compost y biocarbón, contribuyen a la reducción del lavado de nutrientes y la acidez, lo que permite que el pH del suelo aumente (Forero-Gutierrez y Navarro-Muñoz, 2017). El biocarbón, enriquecido con la fracción lábil del compost y con sustancias nutritivas (orina de vaca e IHPLUS®), condiciona un pH en el suelo cercano a la neutralidad (Milera-Rodríguez *et al.*, 2020).

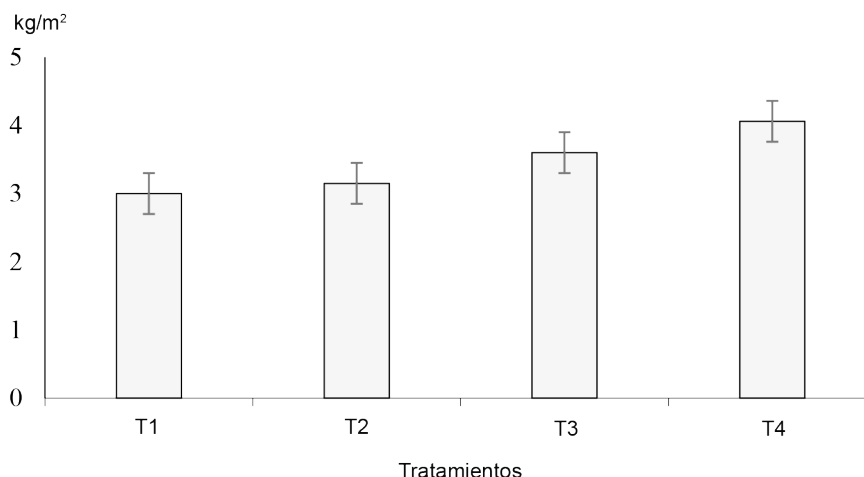


Figura 4. Rendimiento agrícola de *M. esculenta*, variedad Señorita

T1-control (fertilización mineral), T2-fertilización con 700 g de biocarbón, T3-fertilización con 700 g de compost, T4-fertilización con 350 g de biocarbón + 350 g de compost.

Omondi *et al.* (2016) demostraron que las enmiendas al suelo con biocarbón contribuyen a reducir la densidad aparente del suelo en 7,6 %, mientras que aumentan la porosidad en 8,4 %, la estabilidad total en 8,2 %, la capacidad de retención de agua disponible en 15,1 % y la conductividad hidráulica saturada en 25,2 %.

Conclusiones

Las alternativas de fertilización orgánica estimularon el crecimiento de las plantas durante su fase vegetativa y garantizaron rendimientos de *M. esculenta* comparables con la fertilización química en las variedades INIVIT Y 93-4 y Señorita.

Agradecimientos

Se agradece por el coauspicio de esta investigación a los proyectos «Nuevos abonos órgano-minerales para la nutrición de las plantas y la restauración de los suelos», de la EEPFIH, financiado por Fondo Nacional de Ciencia e Innovación, perteneciente al Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente y «Reciclaje de nutrientes de biomasa y carbono para fertilización orgánica avanzada en una agricultura eco-inteligente y clima positiva en Cuba (Bio-C, IZ08Z0_177346)», de la Fundación Nacional de Ciencia de Suiza y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).

Contribución de los autores

- Gertrudis Pentón-Fernández. Conceptualización de la idea y supervisión de la actividad de investigación. Preparación del manuscrito para su publicación.
- Giraldo J. Martín-Martín. Conceptualización de la idea de investigación.
- Odellín Brea Maure. Análisis estadístico y revisión del manuscrito.
- Orilda Hernández-Santovenia. Realización de los experimentos y recolección de los datos.
- Hans Peter Schmidt. Supervisión de la investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses entre ellos.

Referencias bibliográficas

Ballesteros-Trujillo, Marisol; Hernández-Berriel, María del C.; de-la-Rosa-Gómez, I.; Mañón-Salas, María del C. & Carreño-de-León, María del C. Crecimiento microbiano en pilas de compostaje de residuos orgánicos y biosólidos después de la aireación. *Centro Azúcar*. 45 (1):1-10. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000100001&lng=es&tlng=es 2018.

- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, Mónica G.; Gonzalez, Laura. A.; Tablada, M. & Robledo, C. W. *InfoStat, versión 2008*. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, 2008.
- Díaz, A. *Lactofermentos. Guía técnica para su elaboración y aplicación en la producción agropecuaria*. Cuba: FUNDASES, 2015.
- Forero-Gutierrez, Daniela & Navarro-Muñoz, Jehimmy P. *Implementación de alternativa de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos mediante el proceso de pirólisis lenta para la obtención de materiales de uso agrícola*. Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria. Bogotá: Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle, 2017.
- Hernández-Jiménez, A.; Pérez-Jiménez, J. M.; Bosch-Infante, D. & Castro-Speck, N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Instituto de Suelos. Ediciones INCA. <http://ediciones.inca.edu.cu/> <http://www.inca.edu.cu>, 2015.
- Howeler, R. H. Cassava mineral nutrition and fertilization. In: J. H. Cock and J. A. Reyes, eds. *Cassava: research, production and utilization*. Cali, Colombia: UNDP, CIAT. p. 115-147, 1985.
- Hurtado-Espinoza, D. A. *Evaluación técnico económica de la sustitución del 20 % de alimento comercial por tres alternativas forrajeras: chaya (Cnidioscolus aconitifolius), yuca (Manihot esculenta) y bore (Colocasia esculenta) en pollos de engorde de raza Ross en el centro experimental Santa Lucía, Barrancabermeja (Santander)*. Especialización en Nutrición animal sostenible. Colombia: Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente- ECAPMA, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2019.
- Husson, O. Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. *Plant Soil*. 362:389-417, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1429-7>.
- Iglesias-Abad, S.; Alegre-Orihuela, J.; Salas-Macias, C. & Egúez-Moreno, J. El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria*. 9 (1):25-32, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/http://revistas.uni-tru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>.
- López-Herrera, M.; Rojas-Bourillon, A. & Castillo-Umaña, M. Efecto de la sustitución de king grass (*Cenchrus purpureus*) por yuca (*Manihot esculenta* crantz) sobre la calidad nutricional del ensilaje. *Nutrición animal tropical*. 13 (2):21-42, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15517/nat.v13i2.3960>.
- López-Molina, J. *Efectos del biochar, bokashi y compost en las dinámicas del carbono y nitrógeno en suelos*

- con pH contrastados. Trabajo Fin de grado. Jaén, España: Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Jaén, 2018.
- Milera-Rodríguez, Milagros de la C.; Pentón-Fernández, Gertrudis; Schmidt, H.-P.; Machado-Martínez, Hilda C.; Miranda-Tortoló, Taymer; Martín-Martín, G. J. *et al.* Manejo agroecológico de los sistemas agropecuarios. Usos del suelo con abonos y biochar. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey, 2020.
- Omondi, M. O.; Xia, X.; Nahayo, A.; Liu, X.; Korai, P. K. & Pan, G. Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. *Geoderma*. 274:28-34, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.03.029>.
- ONN. *Calidad del suelo. Determinación de pH. NC ISO 10390*. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 1999a.
- ONN. *Calidad del suelo. Determinación del porcentaje de MO. NC 51*. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 1999b.
- ONN. *Calidad del suelo. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y de los cationes intercambiables del suelo. NC 65*. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 1999c.
- ONN. *Calidad del suelo. Determinación de las formas móviles de fósforo y potasio. NC 52*. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 1999d.
- Ouyang, W.; Geng, X.; Huang, W.; Hao, F. & Zhao, J. Soil respiration characteristics in different land uses and response of soil organic carbon to biochar addition in high-latitude agricultural area. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 23 (3):2279–2287, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5306-9>.
- Paneque-Pérez, V. M. *Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos*. San José de las Lajas, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2010.
- Paneque-Pérez, V. M. & Calaña, J. M. *La fertilización de los cultivos aspectos teóricos prácticos para su recomendación*. San José de las Lajas, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2001.
- Panwar, N. L.; Pawar, A. & Salvi, B. L. Comprehensive review on production and utilization of biochar. *SN Appl. Sci.* 168, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0172-6>.
- Ponti, T. de; Rijk, B. & Ittersum, M. K. van. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agric. Syst.* 108:1-9, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.12.004>.
- Reyes-Moreno, G. *Aprovechamiento de residuos forestales en forma de biochar como alternativa agroecológica para la producción de madera de calidad de Acacia mangium Willd.* Tesis presentada como requisito parcial para optar el título de: Doctor en Agroecología. Bogotá: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, 2018.
- Reyes-Pérez, J. J.; Luna-Murillo, R. A.; Reyes-Bermeo, Mariana del R.; Suárez-Fernández, G.; Ulloa-Méndez, Carmen I.; Rivero-Herrada, Marisol *et al.* Abonos orgánicos y su efecto en el crecimiento y desarrollo de la col (*Brassica oleracea* L.). *Biotechnia*. 18 (2):28-32, 2016.
- Schmidt, H.-P. & Taylor, P. Kon-Tiki - the democratization of biochar production. *The Biochar Journal*. <https://www.biochar-journal.org/en/ct/39>, 2014.
- Segura-Chavarría, Diana M. *Control de calidad de biocarbón para la producción de Terra Preta*. Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Cartago, Costa Rica: Escuela de Química, Tecnológico de Costa Rica, 2018.
- Sofó, A.; Nuzzaci, M.; Vitti, A.; Tataranni, G. & Scopa, A. Control of biotic and abiotic stresses in cultivated plants by the use of biostimulant microorganisms. In: P. Ahmad, M. Wani, M. Azooz and L. S. Tran, eds. *Improvement of crops in the era of climatic changes*. New York: Springer. p. 107-117, 2014.
- Teşin, A.-K. Biochar in soil: effect on physical, chemical and hydrological properties in differently textured soils. *Agro Environmental Management*. 1 (1):56-58, 2016.
- Torres-Sallan, Gemma; Ortiz, O.; Ubalde, J. M.; Sort, X. & Alcañiz, J. M. El biocarbón (biochar): una forma de secuestrar carbono y de transferir menos contaminantes al subsuelo y acuíferos. *Jornades Ambientals sobre Contaminació d'Aigua del Sub-sòl*. Barcelona, España, 2014.
- Urbina-Orozco, R. A. & Guerrero-Montenegro, K. R. *Estudio preliminar de Lactobacillus sp., con potencial probiótico a partir de sustrato fermentado de yuca (Manihot esculenta)*. Trabajo de graduación. Requisito parcial para optar el título profesional de Ingeniero en Zootecnia. Managua: Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencia Animal, Universidad Nacional Agraria, 2018.
- Weil, R. R. & Brady, N. C. *The nature and properties of soils*. Columbus, USA: Pearson, 2016.
- Zimmerman, A. R.; Gao, B. & Ahn, M.-Y. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. *Soil Biol. Biochem.* 43 (6):1169-1179, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.02.005>.