



La incorporación de residuo sólido de café y su composta genera cambios en la fertilidad de suelos agrícolas y mejora el rendimiento de *Capsicum annuum*

The incorporation of spent coffee ground and its compost generate changes in agricultural soils fertility and improves the yield of *Capsicum annuum*

Angélica López-Gómez¹; Martha Rosales-Castro^{1*}

¹ Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Durango. Sigma 119 Fracc. 20 de noviembre II. Durango, Durango. C.P. 34220. México.

ORCID de los autores:

A. López-Gómez: <https://orcid.org/0009-0001-5361-3033>

M. Rosales-Castro: <https://orcid.org/0000-0002-5857-6470>

RESUMEN

El residuo sólido de café (rsc), *Coffea* spp., es un desecho no valorado, que contiene compuestos bioactivos y minerales con potencial como enmienda orgánica para suelos. Esta investigación evaluó los cambios en propiedades físicas y fisicoquímicas de dos suelos agrícolas mediante la adición directa de rsc y de composta elaborada con una mezcla 75/25 v/v de rsc y estiércol bovino, enfocándose en su efecto sobre el crecimiento de plántulas de chile (*Capsicum annuum*). La adición directa de 10% de rsc mejoró propiedades físicas como el punto de saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente, además de disminuir la densidad aparente. Las propiedades químicas y el índice de germinación (IG) aumentaron con 10% y 20% de rsc; sin embargo, el pH solo fue adecuado con 10%, y no se observó un buen desarrollo de plántulas con su uso directo. Por otro lado, la composta 75/25 cumplió con la normativa mexicana en cuanto a características fisicoquímicas e IG. Su aplicación en suelos incrementó significativamente ($p \geq 0.05$) el rendimiento de chile habanero con 6% de composta, mientras que en chile poblano y mirasol se obtuvieron mejores resultados con 25%.

Palabras clave: Biofertilizante; *Capsicum annuum*; composta; fitotoxicidad; residuo sólido de café.

ABSTRACT

Spent coffee grounds (scg), *Coffea* spp, is an unvalued waste material. Contains bioactive compounds and minerals, which can be used as organic amendments to improve agricultural soils quality. The objective of the research was to evaluate the change in physical and physicochemical properties of two agricultural soils by adding scg directly, as well as adding compost obtained from a 75/25 v/v mixture of scg/ bovine manure as biofertilizer to increase the growth of chili seedlings (*Capsicum annuum*). The direct addition of 10% scg to soil increased physical properties such as saturation point, field capacity and permanent wilting point, decreasing the apparent density. The chemical properties and germination index (GI) increased with both addition, 10% and 20%. The pH is adequate only with the addition of 10%. Chili seedling development was not good with direct addition of scg. The physicochemical properties and GI of compost obtained from 75/25 v/v mixtures meet the Mexican regulatory requirements for its use. The addition of 6% compost significantly increases ($p \geq 0.05$) the yield of habanero peppers, while the increase in poblano and mirasol peppers is achieved with 25%.

Keywords: Biofertilizer; *Capsicum annuum*; compost; phytotoxicity; spent coffee grounds.

1. Introducción

Los residuos de alimentos orgánicos se han utilizado desde tiempos remotos como enmienda en suelos agrícolas. La enmienda orgánica es el producto procedente de materiales carbonados de origen vegetal o animal, cuya función es "mantener o aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, mejorar sus propiedades físicas y su actividad química o biológica" (Parr & Hornick, 1992).

Las enmiendas ya sean orgánicas o minerales aumentan la temperatura del suelo, lo que le permite absorber con mayor facilidad los nutrientes (Vázquez et al., 2020). La aplicación de enmiendas orgánicas mejora de forma significativa la actividad microbiana y enzimática del suelo, influyendo positivamente en su fertilidad, salud y productividad a largo plazo (Cardona et al., 2025). Al mejorar la cantidad y calidad de la materia, se enriquece la estructura y textura del suelo, haciendo más ligero los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos. Además, permite mejorar la permeabilidad del suelo ya que influye en el drenaje y aireación de éste. Aumenta la retención de agua en el suelo y disminuye la erosión ya sea por efectos del agua o del viento (Bomfim et al., 2022).

La industria agroalimentaria es la que mayor cantidad de residuos orgánicos genera, un ejemplo es el residuo sólido de café (rsc), que resulta de la fabricación del café instantáneo y de la preparación de la bebida en hogares y establecimientos comerciales (Jenicek et al., 2022). Este residuo se genera en altos volúmenes y presenta un fuerte problema ambiental cuando se vierte directamente a basureros. Se estima que por cada tonelada de granos de café verde se generan 650 kg de rsc (García & Kim, 2021), por lo que se producen 9 millones ton/año de este residuo a nivel mundial (Afriana et al., 2021).

El rsc contiene diversos compuestos orgánicos como carbohidratos, lípidos, compuestos nitrogenados, además de minerales, que lo hace un material atractivo para evaluar su uso potencial como fertilizante o mejorador de suelos agrícolas. Sin embargo, contiene también compuestos fenólicos como ácido clorogénico, ácido caféico, ácido gálico y tánico, además de cafeína, entre otros, que podrían causar un efecto negativo en el suelo, ya que se les atribuyen propiedades fitotóxicas (Hechmi et al., 2023; Hu et al., 2025).

Se sugiere que el compostaje del rsc puede reducir el efecto fitotóxico del mismo. El compostaje simula el proceso de descomposición

de la materia orgánica en la naturaleza, pero realizado de forma controlada y optimizada (Alvarez-Vera et al., 2019; Trujillo-González et al., 2024). Es una biotecnología que permite transformar residuos y subproductos orgánicos en materiales biológicamente estables que pueden utilizarse como enmendantes y/o abonos del suelo y como sustratos para cultivo sin suelo, disminuyendo el impacto ambiental de los mismos y posibilitando el aprovechamiento de los recursos que contienen (Waqas et al., 2023). Se obtiene una materia orgánica estabilizada denominada compost, con ciertas características húmicas y libre de compuestos fitotóxicos (Saratale et al., 2020).

Capsicum annuum es un cultivo importante a nivel mundial. México es el segundo productor de chile y el principal exportador de chile verde (Aguilar-Meléndez et al., 2021). Sus principales destinos de exportación son Estados Unidos y Canadá. Entre las principales variedades de chile cultivadas en México se encuentran el jalapeño, el serrano, el habanero, el poblano y el morrón (Valenzuela-García et al., 2019). Esta hortaliza es de gran importancia económica, alimentaria y culinaria en México, y su producción comercial exitosa depende directamente de la fertilidad de suelos en los que se cultiva (Jiménez et al., 2024). El objetivo de esta investigación fue evaluar el cambio en las propiedades físicas y químicas de dos suelos agrícolas mediante la adición de rsc de forma directa, así como obtener composta del rsc con estiércol bovino y adicionarlo en mezcla con suelo para evaluar la efectividad en el desarrollo y rendimiento de plántulas de chile (*Capsicum annuum*), tanto de la adición directa como de la composta.

2. Metodología

2.1. Área de estudio y recolección de muestras

El experimento se realizó en las instalaciones del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, México (CIIDIR Durango), del Instituto Politécnico Nacional, en los años 2022-2024.

Las muestras de suelo se recolectaron en Municipios del Estado de Durango, México. El suelo 1 (S1) en el Municipio de Durango, coordenadas 24°03'05.1"N 104°36'37.8"W. El suelo 2 (S2) en el Municipio de Cuencamé, Durango, coordenadas 24°55'42.5"N 103°48'25.4"W. En este mismo sitio se recolectó estiércol bovino (eb) seco. Las muestras de suelo

se tomaron en la capa superficial, de 0 a 30 cm, se secaron a temperatura ambiente (25 °C) y se tamizaron en tamiz Tyler malla 10 (abertura < 2 mm). El eb se tamizó también en malla 10.

El rsc se recolectó en un establecimiento comercial de la empresa Starbucks, en la ciudad de Durango, Durango, México, durante el año 2022. El material se desintegró manualmente ya que lo desechan en forma de cápsulas compactas, y se secó a 60 °C en estufa de laboratorio.

2.2. Obtención de composta a partir del Residuo Sólido de Café

Se estableció un proceso de compostaje a escala semi-piloto, en las instalaciones del CIIDIR Durango. Se utilizó una caja de madera con capacidad de 1 m³, recubierta con geomembrana. El proceso consistió en mezclar el rsc con eb, en una proporción 75/25 v/v de material seco. Se adicionó agua hasta obtener una mezcla homogénea a 60% de humedad. Se cubrió con tapa de plástico para mantener la humedad durante todo el proceso. Cada semana se volteó el material de forma manual para permitir su aireación y se ajustó la humedad inicial con agua. El compostaje se llevó a cabo durante 240 días y se monitoreó cada 15 días la temperatura, el pH y la conductividad eléctrica (CE), Figura 1.



Figura 1. Esquema de la obtención de composta.

2.3. Análisis de suelo y de composta

Las características físicas del suelo, como tipo de suelo, densidad aparente (g/cm³), punto de saturación (%), capacidad de campo (%), punto de marchitez permanente (%) y conductividad hidráulica (cm/h), se realizaron en la empresa Fertilab México, (Laboratorio de Análisis Agrícolas), Fertilab, (2023).

Los análisis fisicoquímicos del suelo y de la composta (pH, conductividad eléctrica (dS/m) se realizaron en los laboratorios del CIIDIR Durango, de acuerdo con el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

El porcentaje de materia orgánica (MO%) se evaluó por la técnica de cenizas, que consiste en incinerar una muestra de suelo 550°C (Arévalo et al., 2022). El nitrógeno se analizó por método Kjeldhal (N %), el fósforo total por el método Olsen (P en mg/kg) y la densidad mediante una relación de peso masa/volumen (g/cm³). La madurez de la composta se determinó con el análisis del Índice de Germinación (IG %).

Para determinar la madurez y calidad de la composta se compararon los resultados obtenidos con lo establecido en la normatividad mexicana: NMX-AA-180-SCFI-2018, que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales. Esta norma menciona que la fitotoxicidad de la composta se mide mediante el Índice de germinación (IG).

Algunos autores mencionan que la prueba de IG es capaz de discriminar entre compostas maduras de inmaduras. García-Ramírez et al. (2016) confirman que el IG es un parámetro sensible para determinar el potencial fitotóxico en materiales compostados en comparación al porcentaje de germinación, tratándose además de una técnica rápida, sencilla y de bajo costo.

Índice de germinación

Este índice se determinó mediante la metodología propuesta por Soares et al. (2013), con modificaciones ya que se utilizaron semillas de lechuga (*Lactuca sativa*), en lugar de berro (*Lepidium sativum*), que de acuerdo con lo reportado por Martínez et al. (2020), la lechuga es de rápido crecimiento y sensible a compuestos tóxicos. Se preparó un extracto acuoso con una relación 1:10 w/v muestra/agua destilada, se

mantuvo en agitación durante 20 min y se filtró a través de un papel Whatman No. 1. En placas Petri con papel filtro se acomodarán 20 semillas de lechuga, se adicionaron 10 mL del extracto y se dejaron encubar por 120 h a 25 °C. Se utilizó agua destilada como testigo, en lugar de extracto. Una vez transcurrido este tiempo se calculó el porcentaje e índice de germinación, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\%G = (SG/ST) \cdot (100) \quad (1)$$

$$IG = (\%GE/\%GT) \cdot (LRT/LRE) \cdot (100) \quad (2)$$

Donde %G: porcentaje de germinación; SG: Numero de semillas germinadas; ST: Numero de semillas totales; IG: índice de germinación; %GE: porcentaje de germinación del extracto; %GT: porcentaje de germinación del testigo; LRT: Longitud promedio de la radícula en el testigo; LRE: Longitud promedio de la radícula en el extracto.

2.4. Tratamientos evaluados

Adición directa de rsc al suelo

La evaluación de rsc en adición directa a suelo agrícola se realizó a escala laboratorio, en contenedores de plástico con capacidad de 1 L. Los tratamientos fueron: suelo 1 testigo, suelo 1+10% rsc, suelo 1+20% rsc, suelo 2 testigo, suelo 2+10% rsc, suelo 2+20% rsc. Las mezclas fueron base material seco v/v.

Los tratamientos se revolvieron hasta obtener una mezcla homogénea, se adicionó agua hasta un 30% humedad. Se dejaron en reposo durante una semana y se efectuaron los análisis fisicoquímicos correspondientes. Tanto los tratamientos como los análisis se efectuaron por triplicado. Una vez realizada la caracterización de los suelos (mezclas), éstos se tuvieron en observación durante 90 días, revolviendo y humedeciendo las mezclas una vez a la semana para que se llevara el proceso de degradación natural del rsc. Pasado este tiempo se analizó nuevamente el IG.

Para evaluar la germinación y el desarrollo de plantas sobre las mezclas de rsc directo al suelo,

se realizó un ensayo en charolas de germinación de seis cavidades, de dimensiones 6x5x6 cm, 150 mL por cavidad. En esta evaluación se utilizaron las mezclas elaboradas con el suelo 2, tanto S2 testigo como adicionado con 10% y 20% de rsc. Se utilizó una charola por tratamiento, se sembraron semillas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* 'jalapeño') de la marca KristenSeed-México y se midió el desarrollo de las plántulas durante 60 días.

Adición de composta al suelo

La evaluación de la composta de rsc/eb 75/25 en mezclas con suelo se realizó en macetas de plástico de 10 L. Se utilizó el suelo agrícola S2 testigo. Los tratamientos fueron: suelo testigo, S2+6% composta, S2+12,5% composta y S2+25% composta.

En cada unidad experimental se sembraron 3 plántulas de chile (*Capsicum annuum*), de un mes de edad, donadas por productores de chile en el Municipio de Poanas, Durango México. Las variedades fueron chile poblano (*Capsicum annuum* var. *annuum* 'Poblano'), chile habanero (*Capsicum chinense* Habanero Group.) y chile mirasol (*Capsicum annuum* 'Mirasol'). En cada uno de los tratamientos se evaluó el desarrollo y crecimiento de plántulas, así como el número de frutos cosechados, el peso fresco (g) y peso seco (g) de los mismos.

2.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, para detectar si había diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$), después se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey.

3. Resultados y discusión

3.1. Cambio en las propiedades físicas y químicas del suelo agrícola con adición de rsc

Los cambios en las propiedades físicas de los dos suelos evaluados, por la adición directa de rsc se muestran en la Tabla 1. Ambos suelos fueron clasificados como suelo franco (Fertilab, 2023).

Tabla 1

Cambios en las propiedades físicas del suelo por la adición de rsc

Muestra	Densidad aparente (g/cm ³)	Punto de saturación (%)	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Conductividad Hidráulica (cm/h)
S1 Testigo	1,18	34,0	18,0	10,7	5,8
S1+10% rsc	1,10	52,4	28,0	16,7	3,2
S2+20% rsc	0,95	65,0	34,8	20,7	1,1
S2 Testigo	1,00	59,0	31,6	18,8	1,1
S2+10% rsc	0,88	70,0	37,6	22,4	0,8
S2+20% rsc	0,81	85,0	45,7	27,2	0,1

Las características iniciales del S2 son superiores a las de S1 en todos los parámetros, menor densidad aparente, mayor punto de saturación, mejor capacidad de campo y punto de marchitez. La adición desde un 10% de rsc mejora todos los parámetros, en ambos suelos, aunque para S1 las propiedades aumentan en mayor proporción que para S2. En cuanto a propiedades físicas se puede adicionar hasta un 20% de rsc para mejorar las características del suelo.

Los cambios en las propiedades químicas de los dos suelos evaluados, por la adición directa de rsc se muestran en la Tabla 2. Al igual que en las propiedades físicas iniciales, S2 tiene mejores propiedades químicas respecto a S1, en los parámetros de CE, MO, N y P, lo que indica que es un suelo con mayor fertilidad.

El factor limitante de la adición directa de rsc al suelo puede ser el descenso en el pH. Este residuo tiene un pH inicial ácido (5,6 – 5,9) por lo que se refleja en las mezclas con suelo, principalmente en S1 en el que desde un 10% de adición el valor de pH es ácido (6,26), estadísticamente diferente ($p \leq 0,05$) al testigo S1. Con la adición de 10% y 20%, se mejora la fertilidad tanto en S1 como en S2, donde se observó un aumento de forma significativa en la CE, MO, N y P. Los resultados obtenidos para S2 con la adición de 10% de rsc de forma directa, son similares a los que reporta Cervera et al. (2018), sobre la adición de 10% de rsc en suelos mediterráneos, se incrementan los valores de CO y N, sin afectarse demasiado el valor de pH. Bomfim et al. (2022), mencionan que cuando el rsc se utiliza de forma directa al suelo, el porcentaje de adición no debe superar el 10%.

Con respecto a los resultados de germinación y desarrollo de plántulas de chile jalapeño en suelo adicionado con rsc de forma directa, se tuvo una germinación de 100%, sin embargo, solo desarrollaron las plántulas del tratamiento S2 testigo. Sobre este resultado Bomfim et al. (2022)

mencionan que el efecto inhibitorio en las plantas se debe a la presencia de cafeína en el rsc, y que aunque el contenido de N total aumenta con la adición del residuo, no es absorbido por las plantas ya que se encuentra en forma de compuestos orgánicos como proteínas, melanoidinas y cafeínas, y se requiere que el N esté mineralizado para que pueda ser absorbido por las raíces.

En un cultivo de lechuga en el que se adicionó de forma directa de 5% a 30% (v/v) de rsc, Cruz et al. (2015) reportan que se obtuvieron vegetales sanos con todos los tratamientos, sin pérdida de rendimiento con la adición de hasta con un 10% de rsc. Aquí mismo se reporta que el pH disminuyó de 7,03 a 6,49 y 6,16, con la adición de 10% y 20%, respectivamente; mientras que la CE aumento, pero sin superar los 2 dS/m, lo cual podría causar salinidad en el suelo y estrés hídrico al cultivo. En otro estudio sobre adición directa de 2,5% a 25% de rsc en plantas hortícolas, Hardgrove & Livesley, (2016), mencionan que en todos los casos se incrementó significativamente la capacidad de retención de agua del suelo, especialmente cuando se agregan 10% y 20% de rsc, debido al aumento en el contenido de MO, sin embargo, disminuyó el crecimiento de las plantas. Señalan que se observó inmovilización de nitratos y que la supresión del crecimiento no sucedió por el cambio de pH del suelo ni por la disponibilidad de nitrógeno, sino por probables efectos fitotóxicos. Hirooka et al. (2022) mencionan que el efecto inhibitorio del crecimiento de plantas que produce la adición de rsc de forma directa al suelo, se debe a su alto contenido de fenol y a la acidez.

Con respecto al IG, el control S2 muestra el menor IG, aunque dentro de los parámetros establecidos por la normativa mexicana, la adición del 10% aumenta el IG en los dos tipos de suelo, y con la adición de 20% disminuye respecto al 10%, quedando aun dentro de normativa.

Tabla 2

Cambios en las propiedades químicas del suelo por la adición de rsc y variación del IG

Muestra	pH	CE (dS/m)	MO (%)	N (%)	P (mg/kg)	IG (%)	IG* (%)
S1 testigo	7,97 ^d	0,12±0,02 ^c	2,1±0,01 ^a	0,31±0,02 ^a	10,1 ^a	104	116
S1+10% rsc	6,26 ^b	0,75±0,15 ^a	10,7±0,51 ^c	0,72±0,03 ^c	21,2 ^b	125	144
S1+20% rsc	5,92 ^a	0,85±0,05 ^a	19,3±0,74 ^d	1,12±0,03 ^d	54,1 ^c	116	140
S2 testigo	7,83 ^d	0,98±0,08 ^a	6,6±0,5 ^a	0,55±0,01 ^a	68,8 ^d	90	115
S2+10% rsc	7,50 ^c	1,01±0,04 ^a	22,0±1,8 ^c	1,17±0,1 ^c	77,5 ^d	106	146
S2+20% rsc	7,45 ^c	1,13±0,05 ^b	32,4±2,7 ^d	1,61±0,04 ^d	94,0 ^d	95	114

*IG después de 90 días.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales con un valor de probabilidad $\leq 0,05$ determinado por pruebas de comparación de medias de Tukey.

Debido al proceso natural de degradación de la materia orgánica, a la acción de los microorganismos y al proceso de mineralización natural que se da en la materia orgánica, se puede observar un aumento en el IG a los 90 días posteriores. Este cambio puede estar relacionado al proceso de degradación de los compuestos químicos que contienen los rsc. De acuerdo con lo que mencionan Sobarzo-Bernal et al. (2021), cuando los valores de IG superan el 100%, se considera que la enmienda adicionada funciona como fitoestimulante. En esta investigación el IG no es indicativo de que se tuviera un buen desarrollo en las plántulas de chile jalapeño.

3.2. Propiedades de la composta y cambios en la fertilidad del suelo

Las características fisicoquímicas de la composta obtenida y su IG se muestran en la Tabla 3. Se comparan con lo que se establece la norma mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018. Los valores de pH, CE, CO, MO e IG están dentro de normativa, aunque el contenido de nitrógeno total es mayor a lo establecido.

Las propiedades de la composta 75/25 v/v rsc/eb son similares a lo que reporta Ronga et al. (2016) en una composta obtenida con 66% de rsc y 34%

(v/v) de biomasa forestal. Estos autores reportan un pH de 8,3, CO de 35,5% y contenido de nitrógeno total de 4,45. Concluyen que utilizar rsc es una buena práctica de reciclaje sustentable.

Respecto a los resultados de la adición de composta a S2 en porcentajes de 6,0% y 12,5% en suelo, no se generaron cambios significativos ($p \leq 0,05$) en los parámetros fisicoquímicos con respecto al S2 testigo. Solo la adición de 25% de composta aumentó la C.E de 0,98 a 1,8 dS/m, el contenido de MO aumentó de 6,6% a 20,5% y el contenido de N total de 0,55% a 1,2%. Los resultados del rendimiento en el cultivo de chile por la adición de composta se muestran en la Tabla 4.

En chile poblano el número de frutos aumentó solamente con la adición de 25%, sin embargo, se observa un incremento significativo ($p \geq 0,05$) en el peso fresco de los frutos, lo cual indica que los frutos eran más grandes y/o robustos.

En chile habanero la adición del 6% aumentó cuatro veces el número de frutos cosechados con respecto al testigo, la adición de 12,5% aumentó la cantidad seis veces y el 25% aumentó nueve veces. En esta variedad de chile si se observan diferencias significativas ($p \geq 0,05$) desde la adición de 6%.

Tabla 3

Caracterización de la composta y su madurez (IG)

Mezcla	pH	CE (dS/m)	CO (%)	MO (%)	N (%)	IG (%)
Composta	8	2,27	37	66	4,9	85
NMX-AA-180-SCFI-2018	6,7 - 8,5	<12	>10	>20	1-3	>80

Tabla 4

Rendimiento en el cultivo de tres variedades de chile por la adición de composta

	# Frutos	Peso Fresco (g)	Peso seco (g)
Chile Poblano			
S2 Testigo	14 ± 6,6 ^a	350 ± 120 ^a	29,0 ± 11,3 ^a
S2 + 6%	15 ± 1,5 ^a	436 ± 139 ^a	42,5 ± 18,9 ^a
S2 + 12,5%	16 ± 1,7 ^a	460 ± 17 ^a	39,3 ± 1,2 ^a
S2 + 25%	19 ± 1,0 ^b	673 ± 21 ^b	72,0 ± 9,1 ^b
Chile habanero			
S2 Testigo	10 ± 2,5 ^a	39,3 ± 10,2 ^a	4,6 ± 1,2 ^a
S2 + 6%	47 ± 14,4 ^b	71,8 ± 9,1 ^a	8,2 ± 1,8 ^a
S2 + 12,5%	60 ± 16,0 ^b	217,2 ± 9,6 ^b	21,2 ± 8,5 ^b
S2 + 25%	91 ± 5,5 ^b	268,8 ± 7,8 ^b	26,9 ± 1,8 ^b
Chile mirasol			
S2 Testigo	26 ± 5,0 ^a	325,0 ± 34,9 ^a	28,9 ± 3,5 ^a
S2 + 6%	17 ± 9,2 ^a	252,4 ± 71,2 ^a	23,4 ± 5,8 ^a
S2 + 12,5%	21 ± 5,8 ^a	360,9 ± 48,0 ^a	27,3 ± 9,1 ^a
S2 + 25%	31 ± 1,7 ^b	499,8 ± 29,1 ^b	46,1 ± 4,6 ^b

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales con un valor de probabilidad ($p \leq 0,05$) determinado por pruebas de comparación de medias de Tukey.

En la variedad mirasol la adición de 6% de composta disminuyó la cantidad de frutos con respecto al testigo, al igual que la adición de 12,5%. Solo con el 25% se logró un aumento en el número de frutos. El efecto de la adición también se ve reflejado en el peso fresco y en peso seco de los chiles.

Con el ensayo de adición de composta a suelo se observa que tanto en las propiedades físico-químicas como en los cultivos de chile poblano y chile mirasol, las diferencias estadísticas se logran con la adición de 25% de composta.

4. Conclusiones

La adición directa de residuo sólido de café a suelos agrícolas aumentó de forma significativa las propiedades físicas y químicas del suelo, desde un 10% v/v. Se obtuvo alta eficiencia en la germinación de semillas de chile, pero no se logró un buen desarrollo en las plántulas. Un alto índice de germinación no garantizó que se tuviera un buen desarrollo. De forma práctica puede utilizarse como máximo un 10% v/v de rsc, directamente al suelo y establecer cultivos de chile después de transcurrido al menos 90 días de la aplicación para aumentar la productividad en el cultivo y disminuir la fitotoxicidad en el rsc.

La composta obtenida con 75% de rsc tiene propiedades físicoquímicas adecuadas según la normativa mexicana, y tiene altas propiedades como biofertilizante. La adición de 25% v/v aumenta el crecimiento y rendimiento en cultivos de chile. Al utilizar el rsc en forma de composta se reduce o elimina la fitotoxicidad que pueda causar el residuo en el suelo, y la forma sencilla de obtener esta composta es una opción ambientalmente sostenible.

Se requieren estudios similares a la presente investigación en entornos no controlados, como los cultivos a campo abierto, y un seguimiento sobre la fitotoxicidad del rsc a través de distintos periodos de tiempo.

Agradecimientos

Agradecemos a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por la beca otorgada (860774) a Angelica Lopez Gomez.

Referencias bibliográficas

Aguilar-Meléndez, A., Vásquez-Dávila, M. A., Manzanero-Medina, G. I., & Katz, E. (2021). Chile (*Capsicum* spp.) as food-medicine continuum in multiethnic Mexico. *Foods*, 10(10), 2502. <https://doi.org/10.3390/foods10102502>

Alvarez-Vera, M., Largo, A., Iglesias-Abad, S., & Castillo, J. (2019). Calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallina, con aplicación de microorganismos benéficos. *Scientia*

Agropecuaria, 10(3), 353-361. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.05>

Arévalo, G. E., Sánchez-Amaya, J. M., & Guillen-Marquina, I. (2022). Estudio del contenido materia orgánica por dos métodos analíticos en suelos de Honduras. *Revista De Ciencias Ambientales*, 57(1), 1-13. <https://doi.org/10.15359/rca.57-1.11>

Bomfim, A. S. C. D., de Oliveira, D. M., Walling, E., Babin, A., Hersant, G., Vaneeckhaute, C. & Rodrigue, D. (2022). Spent coffee grounds characterization and reuse in composting and soil amendment. *Waste*, 1(1), 2-20. <https://doi.org/10.3390/waste1010002>

Cervera-Mata, A., Pastoriza, S., Rufián-Henares, J. Á., Párraga, J., Martín-García, J. M., & Delgado, G. (2018). Impact of spent coffee grounds as organic amendment on soil fertility and lettuce growth in two Mediterranean agricultural soils. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(6), 790-804. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1387651>

Cardona, W. A., Salles, J. F., Montealegre, L. G. B., Mc Cormick, B. P., Baena, C. M. G., Ortiz, Y. C. P., Scopel, E., Benavides, M. M. B., Argoti, M. A. A., & Tiltonell, P. (2025). Diversification, age, and organic amendments affect microbial and enzymatic activities in soils of Arabica coffee plantations in the tropical lowlands of Colombia. *Geoderma Regional*, 41 e00966. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2025.e00966>

Cruz, R., Mendes, E., Torrinha, Á., Morais, S., Pereira, J. A., Baptista, P., & Casal, S. (2015). Revalorization of spent coffee residues by a direct agronomic approach. *Food Research International*, 73, 190-196. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.018>

García, C. V., & Kim, Y. T. (2021). Spent coffee grounds and coffee silverskin as potential materials for packaging: A review. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(8), 2372-2384. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02067-9>

Hardgrove, S. J. & Livesley, S. J. (2016). Applying spent coffee grounds directly to urban agriculture soils greatly reduces plant growth. *Urban forestry & urban greening*, 18, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.02.015>

Hechmi, S., Guizani, M., Kallel, A., Zoghalmi, R. I., Ben Zrig, E., et al. (2023). Impact of raw and pre-treated spent coffee grounds on soil properties and plant growth: A mini-review. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 25(9), 2831-2843. <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02544-w>

Hirooka, Y., Kurashige, S., Yamane, K., Watanabe, Y., Kakiuchi, M., Ishikawa, D., & Iijima, M. (2022). Effectiveness of direct application of top dressing with spent coffee grounds for soil improvement and weed control in wheat-soybean double cropping system. *Plant Production Science*, 25(2), 148-156. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2021.2007142>

Hu, Y., Li, J., Wu, Y., Zhang, D., Qi, Z., & Yang, R. (2025). Spent Coffee Ground and Its Derivatives as Soil Amendments—Impact on Soil Health and Plant Production. *Agronomy*, 15(1), 26. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010026>

Jenicek, L., Tunklová, B., Malaták, J., Neškudla, M., & Velebil, J. (2022). Use of spent coffee ground as an alternative fuel and possible soil amendment. *Materials*, 15(19), 6722. <https://doi.org/10.3390/ma15196722>

Jiménez, C. E. A., Solís, F. A. N., Hernández, I. Z., Galdámez, J. G., Aguilar, F. B. M., & Solís, H. V. (2024). Use of organic amendment and efficient microorganisms in Habanero peppers (*Capsicum chinense* Jacq.). *Siembra* 11 (1), e5875. <https://doi.org/10.29166/siembra.v11i1.5875>

Martínez, M. M., Marín, L. P., Robles, C., & Altamirano, G. Z. (2020). Fitotoxicidad de materiales compostados destinados para uso agrícola. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 7(2), 64-75.

Norma NMX-AA-180-SCFI-2018. Dirección General de Normas. Norma Mexicana. Métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

Parr, J. F., & Hornick, S. B. (1992). Agricultural use of organic amendments: A historical perspective. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7(4), 181-189.

- Ronga, D., Pane, C., Zaccardelli, M., & Pecchioni, N. (2016). Use of spent coffee ground compost in peat-based growing media for the production of basil and tomato potting plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(3), 356-368. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1122803>
- Saratale, G. D., Bhosale, R., Shobana, S., Banu, J. R., Pugazhendhi, A., Mahmoud, E. & Kumar, G. (2020). A review on valorization of spent coffee grounds (SCG) towards biopolymers and biocatalysts production. *Bioresource technology*, 314, 123800. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123800>
- Soares, M. R., Matsinhe, C., Belo, S., Quina, M. J., & Quinta-Ferreira, R. (2013). Phytotoxicity evolution of biowastes undergoing aerobic decomposition. *Journal of Waste Management*, 479126, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2013/479126>
- Sobarzo-Bernal, O., Gómez-Merino, F. C., Alcántar-González, G., Saucedo-Veloz, C., & Trejo-Téllez, L. I. (2021). Biostimulant effects of cerium on seed germination and initial growth of tomato seedlings. *Agronomy*, 11(8), 1525. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081525>
- Valenzuela-García, A. A., Figueroa-Viramontes, U., Salazar-Sosa, E., Orona-Castillo, I., Gallegos-Robles, M. Á., García-Hernández, J. L., & Troyo-Diéguez, E. (2019). Effect of organic and inorganic fertilizers on the yield and quality of Jalapeño Pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). *Agriculture*, 9(10), 208. <https://doi.org/10.3390/agriculture9100208>
- Vázquez, J., Alvarez-Vera, M., Iglesias-Abad, S., & Castillo, J. (2020). La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost reduce los efectos negativos del monocultivo en suelos. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 105-112. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.12>
- Waqas, M., Hashim, S., Humphries, U. W., Ahmad, S., Noor, R., Shoaib, M., & Lin, H. A. (2023). Composting processes for agricultural waste management: a comprehensive review. *Processes*, 11(3), 731. <https://doi.org/10.3390/pr11030731>

