

## Crecimiento de plántulas de *Vicia faba* L. en mezclas de suelo con biosólidos

Maribel Quezada-Cruz<sup>1</sup>

Porfirio Raúl Galicia-García<sup>1§</sup>

Serafín Cruz-Izquierdo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Biotecnología Ambiental-Universidad Tecnológica de Tecámac. Carretera Federal México-Pachuca km 37.5, Col. Sierra Hermosa, Tecámac, Estado de México, México. CP. 55740. Tel. 55 59388400, ext. 452. (maryquezada9@gmail.com). <sup>2</sup>Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230. Tel. 55 59388400, ext. 452. (pgaliciag@uttecamac.edu.mx; prgaliciag61@gmail.com).

§Autor para correspondencia: prgaliciag61@gmail.com

### Resumen

Con el fin de investigar el efecto de cuatro biosólidos de las industrias láctea, maltera, jabonera y papelera sobre el crecimiento y producción de biomasa de plántulas de *Vicia faba* L., se realizaron mezclas de biosólido:suelo en proporciones 20:80, 40:60 y 60:40. Se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos a cada biosólido y las mezclas. Los biosólidos mostraron diferencias en la presencia (NMP) de coliformes fecales de 3 a 1 100 *Salmonella* sp., de 2 a 3 y de 0 a 16 huevos de helmintos por g de sólidos totales. La concentración (mg kg<sup>-1</sup>) de metales pesados en cobre fue de 0.7 a 1.9, cromo de 0.8 a 2.4, cadmio de 0 a 0.6, zinc de 4.3 a 8.6, níquel 1.2 a 3.8 y plomo 1.3 a 5.7, sin arsénico y mercurio. Los contaminantes fueron inferiores a los límites permisibles según la SEMARNAT (2002), además, entre los biosólidos el pH varió de 7 a 9.8 y la materia orgánica (MO) de 0.3 a 6.2%. Los biosólidos de la industria láctea y malta incorporados al suelo modificaron el pH de 8.1 a 7.4, incrementaron la MO de 1.2 a 3.5%, el nitrógeno total de 7 a 35 mg kg<sup>-1</sup> y el fósforo disponible de 5 a 25 mg kg<sup>-1</sup>. A 30 días después de la siembra en invernadero, las plántulas de *V. faba* que crecieron en suelo con el biosólido de la industria láctea en la mayor proporción incrementaron la producción de biomasa en 145% y la longitud en 342%.

**Palabras clave:** *Vicia faba* L., metales pesados, microbiología, biosólidos.

Recibido: enero de 2023

Aceptado: marzo de 2023

## Introducción

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) urbanas e industriales generan lodos con alto contenido de materia orgánica y nutrientes de interés para mejorar el suelo en sistemas de producción agrícola (SEMARNAT, 2002). Sin embargo, el uso de lodos industriales está restringido, debido a la presencia de oligoelementos, organismos patógenos, sustancias xenobióticas orgánicas, disruptores endocrinos y hormonas (Bücker-Neto *et al.*, 2017), que pueden inducir daños diversos y adversos en vegetales de interés agrícola (Corrêa-Martins *et al.*, 2016).

La composición química y las propiedades físicas de lodos de PTAR varían, según la industria de la que provienen y los fertilizantes derivados de dichos lodos, por lo que antes de utilizar un lodo residual, deben estabilizarse para eliminar patógenos, compuestos químicos tóxicos y olores desagradables. Dicha estabilización se realiza por procesos físicos, químicos y biológicos, utilizando calor (Lang y Smith, 2008), alcalinidad, digestión aeróbica o anaeróbica (Goss *et al.*, 2013). Después de someterse al proceso de estabilización, dichos lodos se denominan biosólidos.

Actualmente, la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos ha disminuido significativamente y se utilizan fertilizantes químicos de manera indiscriminada (Postisek-Talavera *et al.*, 2010). Debido al alto costo de las fuentes de fertilizantes químicos y a la disminución de la materia prima, se ha optado por el reciclaje de residuos orgánicos. Para este propósito, los biosólidos son una excelente fuente para considerar. En México se producen más de 640 millones de toneladas de biosólidos al año en base seca (Mantilla *et al.*, 2017), lo que genera serios problemas para su eliminación y confinamiento. Los biosólidos contienen gran cantidad de nutrientes esenciales para las plantas por lo que sería conveniente su uso en un sistema de producción agrícola y al mismo tiempo reducir el impacto negativo al ambiente con un sistema de producción sostenible (Gomiero *et al.*, 2011).

Los biosólidos tienen gran potencial para usarlos como fertilizante orgánico, pero es necesario superar el desequilibrio de nutrientes (Antille *et al.*, 2013), ya que contienen una concentración alta de micronutrientes y algunos macronutrientes no están presentes en concentraciones necesarios como lo requieren los cultivos (Dad *et al.*, 2018). Las tasas de liberación de nutrientes son difíciles de predecir por lo que la respuesta de producción es muy variable, lo que limita su manejo desde la perspectiva agronómica y ambiental (Deeks *et al.*, 2013).

El haba (*Vicia faba* L.) es una legumbre y una fuente importante de proteínas para la población alrededor del mundo, su consumo es en forma fresca como seca por humanos y animales (Vela *et al.*, 2018), es una excelente fijadora de nitrógeno en el suelo, por sus características de la rizosfera (Harris-Valle *et al.*, 2019), es de crecimiento rápido de 150 días y tiene alta capacidad para acumular biomasa hasta 15 t ha<sup>-1</sup> de vaina (ICAMEX, 2023).

Además, esta especie posee genes tolerantes al estrés osmótico (Ghouili *et al.*, 2021) y salino (Rajhi *et al.*, 2020), es capaz de acumular y trasladar metales pesados como cadmio (Piršelová *et al.*, 2021), arsénico (Gupta *et al.*, 2020), boro, plomo, zinc, y cobre (Alaoui *et al.*, 2019) a sus órganos no comestibles como hojas y tallos, además, con baja acumulación en órganos comestibles como las semillas, por lo que se considera un modelo biológico interesante en la remediación del suelo junto con la producción de alimentos, que es una práctica necesaria ante a las necesidades alimenticias en la población (Tang *et al.*, 2019).

*V. faba* es importante en México por ser la segunda fuente de proteína vegetal a nivel nacional y en el Estado de México el rendimiento de grano es de 1.9 t ha<sup>-1</sup> inferior al promedio nacional de 2.5 t ha<sup>-1</sup> (SAGARPA, 2022). Por lo anterior es necesario mejorar su rendimiento con alternativas de fertilización sostenibles. Los objetivos de este trabajo fueron la caracterización parcial de biosólidos de las industrias láctea, malta, jabón y papel, determinación de su efecto en diferentes proporciones biosólido:suelo en el crecimiento y producción de biomasa de plántulas de *Vicia faba*.

## Materiales y métodos

### Biosólidos

Muestras de cada biosólido de las industrias láctea, malta, jabón y papel, se colectaron en montículos de aproximadamente 6 m<sup>3</sup>, depositados el día anterior en una parcela de uso agrícola para su incorporación al suelo. La parcela está ubicada en el municipio de Santa Ana Nextlalpan, Estado de México (19° 40' 50" latitud norte, 99° 07' 56" longitud oeste), con 2 235 m de altitud. La precipitación promedio anual de la región es de 600 mm distribuidos de abril a septiembre con más de 80% y una estación seca de octubre a marzo, la temperatura media anual es de 14.1 °C con mínima de 2.3 y máximas de 31 °C, el suelo es de origen lacustre con pH predominantemente alcalino, debido a que está ubicado en las inmediaciones de lo que fue el ex lago de Xaltocan (Velasco, 2010).

Antes de su incorporación al suelo, mediante el método de cuarteo, de cada montículo se obtuvo una muestra compuesta de 15 kg de cada biosólido que se depositó en bolsas de polietileno y una muestra de 10 g de cada uno en recipientes estériles para los análisis microbiológicos. A cada biosólido se le realizó un análisis microbiológico que consistió en la cuantificación del número más probable (NMP) de coliformes fecales, *Salmonella* spp., y la determinación de huevos de helmintos. Muestras de suelo sin biosólido (control), se colectaron en una parcela a 300 m de distancia de la parcela con biosólidos.

Las muestras de suelo y de biosólido se sometieron a digestión con ácido nítrico y sulfúrico, para posteriormente cuantificar la concentración (mg kg<sup>-1</sup>) en base seca de los metales pesados de cobre (Cu), cromo (Cr), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni), plomo (Pb), mercurio (Hg) y arsénico (As), mediante un espectrofotómetro de absorción atómica (SavantAA, GBC Scientific Equipment, EE. UU). El estándar fue una mezcla de oligoelementos a 1000 ppm (SCP Science). Todo lo anterior, se llevó a cabo de acuerdo con los estándares mexicanos (SEMARNAT, 2002). Además, se determinó el pH y el porcentaje de la materia orgánica (MO) mediante el método de Walkley y Black (SEMARNAT, 2000).

### Mezcla biosólido-suelo

Se realizaron mezclas biosólido-suelo con un peso de 15 kg de cada uno de los cuatro biosólidos de las industrias láctea, malta, jabón y papel, en las proporciones de 20:80, máxima proporción utilizada por González-Flores *et al.* (2017) en maíz (*Zea mays* L.); es decir, 20% de biosólidos con 80% de suelo, así como las mezclas Biosólido:suelo 40:60 y 60:40. También, se realizó una mezcla con los cuatro biosólidos en la proporción 25:25:25:25 y una muestra control (suelo sin biosólidos).

Se consideraron muestras de 1.5 kg de cada mezcla y del control para análisis en el laboratorio. En tres repeticiones de cada mezcla y el control, se determinó el pH por medio de un potenciómetro (Hanna pH112), densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ), contenido ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de nitrógeno (micro-Kjeldahl) y fósforo disponible (Olsen) en base seca y el porcentaje de materia orgánica (Walkley y Black) en cada una de las mezclas de acuerdo con SEMARNAT (2000) para análisis de fertilidad de suelo.

### Experimento en invernadero

Se usaron 14 sustratos que resultaron de mezclar en tres proporciones diferentes, cada uno de los cuatro biosólidos con suelo, la mezcla en partes iguales de los biosólidos y el sustrato control. Para el experimento se utilizaron semillas de *Vicia faba* var. ICAMEX-31, las semillas se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 0.6% por 2 min y se enjuagaron con agua destilada varias veces, se realizó un análisis de germinación previo a las semillas en los sustratos para asegurar el número de repeticiones, el porcentaje de germinación disminuyó en algunas mezclas biosólido-suelo de 100 a 90%; sin embargo, se obtuvo al menos una plántula en cada sustrato y en cada una de las cuatro repeticiones.

La unidad experimental consistió en una maceta de 15 cm de altura y 20 cm de diámetro que contenía 2 kg de sustrato, se sembraron tres semillas en cada maceta a 10 cm de distancia y 3 cm de profundidad en el sustrato, se realizaron cuatro repeticiones por tratamiento. Las macetas se colocaron en el invernadero y se mantuvo la humedad a capacidad de campo con una temperatura entre 18 y 28 °C durante el periodo de prueba.

A los 30 días después de la siembra, se cosecharon las plántulas completas, las raíces se separaron de la parte aérea (hojas y tallo) y se midió la longitud (cm) de cada sección, después fueron sumados para obtener la longitud total de las plántulas. Posteriormente, el tallo y raíz por separado de cada planta se colocaron en un horno (Ríos Rocha®) a 80 °C durante tres días hasta que alcanzaron un peso constante, y se determinó el peso seco (g) en una balanza analítica. La biomasa total de cada plántula se obtuvo al sumar los pesos secos del tallo con hojas y raíz.

### Análisis estadístico

El experimento se estableció con un diseño completos al azar con un arreglo factorial; con el factor mezclas biosólido:suelo con cuatro niveles (láctea:suelo, malta:suelo, jabón:suelo y papel:suelo), con el factor proporciones biosólido:suelo en tres niveles (20:80, 40:60 y 60:40); la mezcla de los cuatro biosólidos y el suelo. Los datos se sometieron a análisis de varianza, cuando se encontraron diferencias estadísticas significativas las medias se separaron mediante la prueba de Duncan ( $p \leq 0.05$ ). En todos los casos, se utilizó el software del sistema de análisis estadístico (SAS) v.6.12.

## Resultados y discusión

### Análisis de biosólidos

En todos los biosólidos se encontraron coliformes fecales y *Salmonella* spp. Con respecto a huevos de helminto, el único biosólido que presentó estos parásitos fue el de la industria láctea. Todos los biosólidos mostraron valores inferiores a los límites máximos permisibles. Los de las industrias de

malta, jabón y papel se ubicaron en la clase A (Cuadro 1), son propios para su aplicación en predios urbanos. El de la industria láctea tuvo un perfil de clase C, recomendable para utilizar solo en suelos forestales sin contacto con las personas debido a la cantidad de patógenos (SEMARNAT, 2002).

**Cuadro 1. Patógenos, parásitos y clasificación de biosólidos de las industrias de malta, jabón, papel y láctea.**

Biosólido/industria	Coliformes fecales (NMP g <sup>-1</sup> ) en base seca	Clase	<i>Salmonella</i> spp. (NMP g <sup>-1</sup> ) en base seca	Clase	Huevos de helmintos 2 g <sup>-1</sup> ST	Clase
Malta	3	A	2	A	0	A
Jabón	93	A	3	A	0	A
Papel	733	A	2	A	0	A
Láctea	1 100	C	2	A	16	C

NMP= número más probable; ST= sólidos totales. A= para uso urbano en contacto con personas durante su aplicación; C= uso forestal, solo mejoramiento sin contacto con personas (SEMARNAT, 2002).

Con el fin de caracterizar los biosólidos para uso agrícola, se determinó la materia orgánica (MO) y el pH, de acuerdo con los estándares mexicanos (SEMARNAT, 2000). Los biosólidos de las industrias láctea, de malta, de papel y jabón, sus contenidos de MO fueron respectivamente 6.2%, 2.5%, 1.5% y jabón 0.4%. El pH de los biosólidos de las industrias láctea y papelera fue de 7 y 7.3, respectivamente, el de la industria de la malta fue de 7.6 y el biosólido de la industria del jabón fue de 9.8 (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Materia orgánica (MO) y potencial de hidrógeno (pH) de biosólidos de las industrias láctea, malta, jabón y papel.**

Biosólido	MO (%)	pH
Láctea	6.2 <sup>*****</sup> ±0.05	7 ±0.05
Malta	2.5 <sup>***</sup> ±0.1	7.6 ±0
Jabón	0.3 <sup>♦</sup> ±0.5	9.8 ±0.05
Papel	1.5 <sup>♦♦</sup> ±0.5	7.3 ±0.06

pH= fuertemente alcalino= +; moderadamente alcalino= ±; materia orgánica (MO); muy baja= ♦; baja= ♦♦; media= ♦♦♦; muy alta= ♦♦♦♦ (SEMARNAT, 2002).

Estos resultados muestran que los biosólidos de las industrias de malta y papel pueden ser útiles para mejorar las características del suelo, debido a las bajas concentraciones de patógenos (coliformes fecales y *Salmonella* spp.) y no presentan parásitos (huevos de helminto). También muestran un buen porcentaje de MO y un pH adecuado para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, el biosólido de la industria láctea, aun con buenas características de MO y pH, necesita un proceso de estabilización más riguroso para eliminar parásitos. En relación con el biosólido de la industria de fabricación del jabón se debe reconsiderar su utilidad en la agricultura debido que Price *et al.* (2021) reportan que por sus características tiene un efecto en la disminución de la microfauna benéfica del suelo.

Los cuatro biosólidos incluyeron elementos esenciales para las plantas como níquel, cobre y zinc, otros como cromo, cadmio y plomo que no son necesarios, en ningún caso se detectó mercurio y arsénico. El cobre se encontró en los biosólidos de las industrias láctea y jabón (Cuadro 3). Todas las concentraciones fueron inferiores a los límites máximos permisibles indicados por la norma mexicana (SEMARNAT, 2002) y por tanto útiles para adicionarlos al suelo con fines agrícolas.

**Cuadro 3. Concentración de metales pesados en biosólidos de industria láctea, malta, jabón y papel.**

Biosólidos/industria	mg kg <sup>-1</sup> en base seca					
	Cobre	Cromo	Cadmio	Zinc	Níquel	Plomo
Láctea	1.9 ±0.07	1.1 ±0.06	0 ±0.01	7.2 ±0.03	1.2 ±0.03	1.3 ±0.01
Malta	ILD	0.8 ±0.07	0.2 ±0.05	4.9 ±0.04	2.3 ±0.08	2.4 ±0.04
Jabón	0.7 ±0.06	1 ±0	0.6 ±0.02	4.3 ±0.03	3.8 ±0.03	5.1 ±0.05
Papel	ILD	2.4 ±0.05	0.3 ±0	8.6 ±0.01	3.4 ±0.01	5.7 ±0.02
Límite permisible	1500	1200	39	2800	420	300

Inferior al límite de detección (ILD). Límite de detección de (SavantAA, GBC Scientific) para Cu (0.05), Cr (0.17), Cd (0.009), Zn (0.4), Ni (0.04), Pb (0.06), Hg (1.6), As (0.04). n = 3; ± desviación estándar.

Reportes previos en México de análisis de biosólidos producto de las PTAR urbanas, muestran una concentración de metales pesados mayores a los obtenidos en este trabajo, aunque dentro de los límites máximos permisibles de la norma. En el estado de Puebla, México, González-Flores *et al.* (2017) reportaron 25.09 mg kg<sup>-1</sup> de cobre y 163.99 mg kg<sup>-1</sup> de zinc. En Durango, México, Flores-Félix *et al.* (2014) reportaron concentraciones (mg kg<sup>-1</sup>) como; 266 de cobre, 14.6 de cromo, 899 de zinc, 11.7 de níquel y 65 de plomo, además, de elementos como arsénico y mercurio de 12.1 y 1.23 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

#### Análisis fisicoquímicos de mezclas biosólido

Suelo al agregar el biosólido de la industria láctea al suelo, el pH disminuyó de 8.1 a 7.2 (Cuadro 4). El mismo efecto, pero en menor grado fue observado al usar biosólidos de malta (8.1 a 7.3) y papel (8.1 a 7.5). El biosólido de la industria del jabón mostró un efecto opuesto, aumentando el pH del suelo de 8.1 a 8.8, en este caso las industrias para producir jabón o detergentes utilizan hidróxidos para la saponificación.

**Cuadro 4. Materia orgánica (MO), potencial de hidrógeno (pH), nitrógeno total (N-total) y fósforo (P) disponible, en mezclas de biosólido con suelo en diferentes proporciones y suelo sin biosólido (control).**

Biosólido/industria	Mezclas Biosólido:suelo	pH	MO (%)	N-Total (P) disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	
				N-Total	(P) disponible
Láctea	20-80	7.3 ±0.1	4.8 <sup>****</sup> ±0.1	56 <sup>***</sup> ±0.2	30.8 <sup>***</sup> ±0.1
Láctea	40-60	7.2 ±0.1	5 <sup>****</sup> ±0.1	47 <sup>***</sup> ±0.3	25.5 <sup>***</sup> ±0.4
Láctea	60-40	7.2 ±0.2	6.7 <sup>*****</sup> ±0.2	63 <sup>*****</sup> ±0.1	46.5 <sup>***</sup> ±0.2
Jabón	20-80	8.8 ±0.1	1 <sup>**</sup> ±0.2	11 <sup>**</sup> ±0.1	17.6 <sup>***</sup> ±0.2

Biosólido/industria	Mezclas Biosólido:suelo	pH	MO (%)	N-Total (P) disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	
Jabón	40-60	8.8 ±0.2	1.3 <sup>**</sup> ±0	13 <sup>**</sup> ±0	21.5 <sup>***</sup> ±0
Jabón	60-40	8.9 ±0	1.3 <sup>**</sup> ±0	13 <sup>**</sup> ±0	22.6 <sup>***</sup> ±0.1
Malta	20-80	7.2 ±0.2	3 <sup>***</sup> ±0.1	17 <sup>**</sup> ±0.3	29.6 <sup>***</sup> ±0
Malta	40-60	7.4 ±0.1	3.4 <sup>***</sup> ±0	29 <sup>***</sup> ±0.2	30.2 <sup>***</sup> ±0
Malta	60-40	7.3 ±0.3	3.4 <sup>***</sup> ±0	32 <sup>***</sup> ±0.3	38.1 <sup>***</sup> ±0.3
Papel	20-80	7.4 ±0.1	1.3 <sup>**</sup> ±0.2	18 <sup>**</sup> ±0.2	6.8 <sup>**</sup> ±0.1
Papel	40-60	7.5 ±0	2 <sup>***</sup> ±0.1	19 <sup>**</sup> ±0.1	7.6 <sup>**</sup> ±0.1
Papel	60-40	7.6 ±0.1	2 <sup>***</sup> ±0.1	21 <sup>***</sup> ±0.1	9 <sup>**</sup> ±0.1
Mezcla	biosólidos	6.9 ±0	1.4 <sup>**</sup> ±0	12 <sup>**</sup> ±0.1	28.8 <sup>***</sup> ±0.1
Suelo	(Control)	8.1 ±0.1	1.2 <sup>*</sup> ±0.2	7 <sup>*</sup> ±0.3	5.1 <sup>*</sup> ±0.3

(MO)= muy baja= \*; baja= \*\*; medio= \*\*\*; alta= \*\*\*\*; muy alta= \*\*\*\*\*. (P) disponible= bajo= \*; medio= \*\*; alto =\*\*\*; N-total= nitrógeno total: muy bajo= \*; bajo= \*\*; medio= \*\*\*; alto= \*\*\*\*; muy alto= \*\*\*\*\* (SERMARNAT, 2000). n= 3 ± desviación estándar.

Las muestras de suelo tuvieron en promedio 1.2% de MO, al mezclar el suelo con algunos de los biosólidos se incrementó la MO de las mezclas, pero en cantidades diferentes. Las mezclas con biosólidos de la industria láctea con el suelo tuvieron en promedio 5.5% de MO, de la industria de malta con suelo tuvieron en promedio 3.2% de MO, de la industria del papel con suelo tuvieron 1.8 de MO y la mezclas de biosólidos de la industria del jabón con suelo tuvieron 1.2% de MO.

En el mismo orden de mezclas estos aportaron nitrógeno (N-total) y fósforo (P) disponible. En promedio, las mezclas biosólido:suelo de la industria láctea tuvieron 55 mg kg<sup>-1</sup> de N-total y 34 mg kg<sup>-1</sup> de (P) disponible; las de la industria de la malta con suelo tuvieron 26 mg kg<sup>-1</sup> de N-total y 32 mg kg<sup>-1</sup> de (P) disponible, las de los biosólidos de la industria de papel con suelo tuvieron 19 mg kg<sup>-1</sup> de N-total y 7.8 mg kg<sup>-1</sup> de (P) disponible, las del jabón con suelo tuvieron 12 mg kg<sup>-1</sup> de N-total y 20 mg kg<sup>-1</sup> de (P) disponible. Finalmente, la mezcla de los cuatro biosólidos tuvo un pH de 6.9, 1.4% de MO, 12 mg kg<sup>-1</sup> de N-total y 28 mg kg<sup>-1</sup> de (P) disponible, según el estándar en México (SEMARNAT, 2000).

### Análisis de crecimiento y biomasa de plántulas

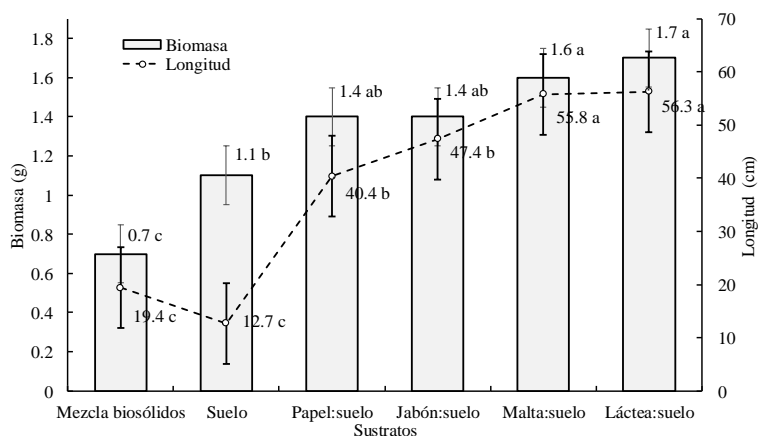
A los 30 días después de la siembra, el análisis de varianza (Cuadro 5), reveló que las mezclas biosólido:suelo de las cuatro industrias evaluadas, así como en las tres diferentes proporciones tuvieron diferencias de efecto altamente significativas ( $p \leq 0.001$ ) en la biomasa y la longitud de las plántulas de *V. faba*, también evidenció que no hubo interacción entre las mezclas y las proporciones; es decir, el efecto de los biosólidos en el suelo fue igual al efecto de las proporciones en ambas variables.

**Cuadro 5. Cuadrados medios y significancia estadística de la biomasa (g) y la longitud (cm) de plántulas de haba (*Vicia faba* L.) cultivadas en mezclas de biosólido:suelo.**

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios y significancia	
		Biomasa total	Longitud
Bloque	3	0.6 ns	265.2**
Mezclas biosólidos:suelo	5	1.2**	2 470.6**
Proporciones	2	1.6**	260.1**
Mezcla x Proporciones	7	0.2 ns	96.8 ns
Error	38		
Total	55		
CV		22.1	28.3

ns= diferencia no significativa; \*\*= diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ).

La Figura 1 muestra el promedio de biomasa y longitud de plántulas de haba. Los biosólidos de las industrias lácteas y malta adicionados al suelo, consiguieron el mayor efecto sobre la producción de biomasa 1.7 g y 1.6 g respectivamente. Los biosólidos de las industrias del jabón y papel, también aumentaron la biomasa, aunque en menor proporción 1.4 g, comparado con el suelo sin biosólido (1.1 g).



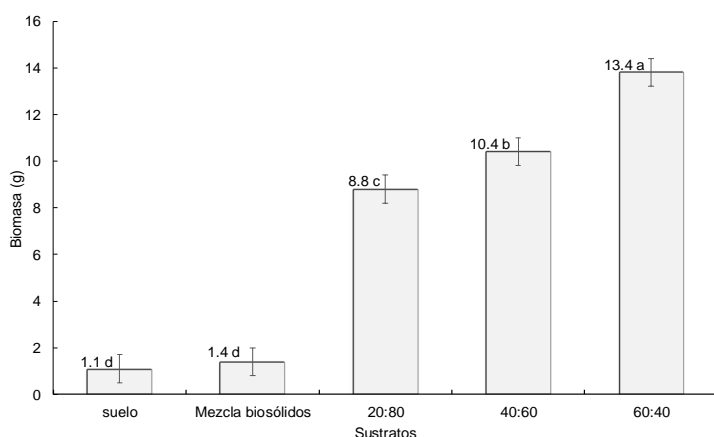
**Figura 1. Promedio de biomasa y longitud de plántulas de haba (*Vicia faba* L.) cultivadas en suelo sin biosólidos (control), mezclas de biosólidos y mezclas biosólido:suelo.** Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan,  $p \leq 0.05$ ) en cada variable.

Este mismo efecto se observó en la longitud de las plántulas con los biosólidos de la industria láctea y malta, que produjeron un aumento tres veces más su longitud 56.3 y 55.8 cm, comparado con el suelo sin biosólido de 12.7 cm y la longitud aumento con jabón y papel hasta 40 y 47 cm. Con estos resultados se infiere que los biosólidos de las industrias láctea, malta, jabón y papel de forma individual modificaron las características del suelo y como consecuencia, se detectó un incremento altamente significativo en la biomasa y la longitud de las plántulas de *V. faba*. En el caso de la biomasa de la raíz de las plántulas, no se observó un efecto significativo en la biomasa y su longitud al adicionar biosólidos al suelo, similar a lo reportado por Vela *et al.* (2018).



Las plántulas que crecieron en las mezclas de biosólido-suelo de las industrias de jabón y papel mostraron una biomasa inferior a las que crecieron en las mezclas de las industrias de malta y láctea pero superior en biomasa a las plántulas que crecieron en suelo sin biosólido. Por esta observación se deduce que la baja cantidad de materia orgánica y el pH alcalino disminuyó las condiciones adecuadas de crecimiento y de nutrición, lo que limitó el aumento de biomasa y la longitud de las plántulas, aun cuando *V. faba*, tiene la capacidad crecimiento en ambientes desfavorables como pH y estrés salino (Belachew y Stoddard, 2017).

En las mezclas biosólido:suelo 20:80 la biomasa promedio fue de 8.8 g, en 40:60 fue de 10.4 g y en 60:40 fue 13.4 g; es decir, se observó un aumento gradual de la biomasa como consecuencia del aumento de la cantidad de biosólido que se mezcló con suelo (Figura 2). Por lo cual se deduce que el aumento de la cantidad de biosólidos en el suelo mejora de manera gradual las características del suelo y se manifiesta en diferencias altamente significativas para la biomasa y longitud de las plántulas de *V. faba*. Lo anterior, es congruente con lo reportado por González-Flores *et al.* (2017) quienes obtuvieron un aumento en la altura de plantas adultas de maíz de 34 hasta 114 cm y un incremento de biomasa de 9 hasta 125 g, al adicionar al suelo biosólidos de una PTAR urbana.



**Figura 2. Biomasa acumulada de plántulas de haba (*V. faba* L.), cultivadas durante 30 días a partir de la siembra en suelo sin biosólido, mezclas de biosólidos, mezclas de biosólidos:suelo en proporciones 20:80, 40:60, y 60:40. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan,  $p \leq 0.05$ ).**

Sin embargo, en la Figura 1 y 2 se observa que las plántulas que estuvieron en el sustrato que fue la mezcla de los cuatro biosólidos, su longitud fue de 19.4 cm que representa solo 15.3% de la longitud en el biosólido de la industria láctea con 56.3 cm y menor acumulación de biomasa de 0.7 g que representa 136.3% menos que las plántulas en la mezcla 80% de biosólidos de lácteos y 20% de suelo. Lo anterior puede explicarse a que tuvo un pH de 6.9, mínima concentración de MO y N-total y gran cantidad (P) disponible, además de tener una consistencia pegajosa y mal drenaje; es decir, una mezcla poco apropiada para que los nutrientes estuvieran disponibles para las plántulas, por lo que en campo debe evitarse.

Al considerar la recomendación de fertilización de *V. faba*, en la zona de estudio (INIFAP, 2017)), los cuatro biosólidos contribuyen de manera muy variable con la cantidad de nitrógeno y fósforo para cubrir las necesidades del cultivo. Con excepción del nitrógeno aportado por el biosólido de

la industria láctea, los otros biosólidos aportan menos de la mitad de nitrógeno y el fósforo necesario para el cultivo. Lo anterior es posible corregir si se adiciona el o los elementos necesarios en una dosis de biosólido suficiente al suelo (Sandaña *et al.*, 2018).

Interesantemente nuestros resultados muestran que los biosólidos que provienen de las PTAR de las industrias estudiadas ubicadas en México, tienen una concentración de metales pesados hasta diez veces menor (Bedoya-Urrego *et al.*, 2013; Flores-Félix *et al.*, 2014; González-Flores *et al.*, 2017), mínima cantidad de microorganismos patógenos (Flemming *et al.*, 2017; Hernández *et al.*, 2017) y no incluyen metales como arsénico y mercurio, diferencias importantes con los biosólidos de las PTAR urbanas, lo anterior indica que algunos biosólidos de origen industrial son favorables para su uso en la agricultura.

## Conclusiones

Los biosólidos de las industrias de lácteos, malta, papel y jabón, mostraron diferencias microbiológicas, de potencial de hidrogeno, porcentaje de materia orgánica, concentración de metales pesados, nitrógeno total y fósforo disponible. Al mezclar el suelo con los biosólidos de las industrias de lácteos, malta y papel mejoraron las características previas significativamente, disminuyeron el pH de 8.1 a 7.4, aumentaron el porcentaje de MO de 1.2 a 3.5, así como el nitrógeno total de 7 a 35 mg kg<sup>-1</sup> y el fósforo disponible de 5 a 25 mg kg<sup>-1</sup>.

El biosólido de la industria del jabón contrariamente aumentó el pH de 8.1 a 8.8, no modificó la MO, solo aportó 5 mg kg<sup>-1</sup> de nitrógeno total y contribuyó con un aumento de fósforo disponible a 20 mg kg<sup>-1</sup>. En las mezclas biosólidos:suelo, a los 30 días las plántulas de *Vicia faba* aumentaron significativamente el rendimiento de biomasa 1.1 hasta 13.7 g, lo que corresponde a un 1145% más, y la longitud de 12.7 a 56.3 cm lo que corresponde al 343%.

## Literatura citada

- Alaoui, A. E.; Bechtaoui, N.; Benidire, L.; Gharmali, A. E.; Achouak, W.; Daoui, K.; Imzilin, B. and Oufdou, K. 2019. Growth and heavy metals uptake by *Vicia faba* in mining soil and tolerance of its symbiotic rhizobacteria. Environment protection engineering. 45(1):84-96. <https://doi.org/10.5277/epe190107>
- Antille, L. D.; Sakrabani, R.; Tyrrel, S. F.; Minh, S. L. and Godwin, R. J. 2013. Characterisation of organomineral fertilisers derived from nutrient-enriched biosolids granules. Appl. Environ. Soil. Sci. 1-11 pp. doi.org/10.1155/2013/694597.
- Ashekuzzaman, S. M.; Forrestal, P.; Richards, K. and Fenton, O. 2019. Dairy industry derived wastewater treatment sludge: Generation, type and characterization of nutrients and metals for agricultural reuse. Journal of Cleaner Production. 230:1266-1275. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.025.
- Belachew, K. Y. and Stoddard, F. L. 2017. Screening of faba beans (*Vicia faba* L.) accessions to acidity and aluminium stresses. Peer. J. 5, e2963. doi.org/10.7717/peerj.2963.
- Bücker-Neto, L.; Sobral-Paiva, A. L.; Dorneles-Machado, R.; Augusto-Arenhart, R. and Margis-Pinheiro, M. 2017. Interactions between plant hormones and heavy metals responses. Genet. Mol. Biol. 40(1suppl.):373-386. doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2016-0087.

- Corrêa-Martins, M. N.; Ventura-Souza, V. and Silva-Souza, T. 2016. Genotoxic and mutagenic effects of sewage sludge on higher plants. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 124:489-496. doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.11.031.
- Flemming, C. A.; Pileggi, V.; Chen, S. and Lee, S. S. 2017. Pathogen survey of pulp and paper mill biosolids compared with soils, composts, and sewage biosolids. *J. Environ. Qual.* 46(5):984-993. doi:10.2134/jeq2016.12.0467.
- Flores-Félix, E.; Moreno-Casillas, H.; Figueroa-Viramontes, U. and Potisek-Talavera, M. C. 2014. Disponibilidad de nitrógeno y desarrollo de avena forrajera (*Avena sativa* L.) con aplicación de biosólidos. *Terra Latinoam.* 32(2):99-105.
- Ghouili, E.; Sassi, K.; Jebara, M.; Hidri, Y.; Ouertani, R. N.; Muhovski, Y.; Jebara, S. H.; Ayed, M.; Abdelkarim, S.; Chaieb, O.; Jallouli, S.; Kalleli, F.; M'hamdi, M.; Souissi, F. and Ghassen, A. 2021. Physiological responses and expression of sugar associated genes in faba bean (*Vicia faba* L.) exposed to osmotic stress. *Physiol. Mol. Biol. Plants.* 27(1):135-150. https://doi.org/10.1007/s12298-021-00935-1.
- Gomiero, T.; Pimentel, D. and Paoletti, M. G. 2011. Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. *Crit. Rev. Plant. Sci.* 30(1):95-124. doi.org/10.1080/07352689.2011.554355.
- González-Flores, E.; Ramos-Barragán, J. E.; Tornero-Campante, M. A. y Murillo-Murillo, M. 2017. Evaluación de dosis de biosólidos urbanos en maíz bajo condiciones en el invernadero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 8(1):119-132. doi.org/10.29312/remexca.v8i1.76.
- Goss, M. J.; Tubeileh, A. and Goorahoo, D. 2013. A review of the use of organic amendments and the risk to human health. *In: Adv. Agron. Sparks D. J. (Ed). First edition. Academic Press. San Diego, CA, USA. 275-379 pp.* https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407686-0.00005-1
- Gupta, K.; Srivastava, A.; Srivastava, S. and Kumar, A. 2020. Phyto-genotoxicity of arsenic contaminated soil from Lakhimpur Kheri, India on *Vicia faba* L. *Chemosphere.* 241:1-10. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125063.
- Harris-Valle, C.; Mora-Guzmán, E.; Palafox-Rodríguez, M.; Pérez-Pacheco, C. K.; Mejía-Franco, V. y Vázquez-Flores, Y. 2019. Crecimiento de haba en simbiosis con microorganismos nativos de regiones productoras del norte de Puebla. *Rev. Fitotec. Mex.* 42(3):243-250.
- Hernández, R. J. J.; Rivera, M. M. C. y Arellano, E. R. 2017. Análisis de biosólidos para una hortaliza. *Joven en la ciencia.* 3(2):240-344.
- ICAMEX. 2023. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal. El cultivo del haba. Gobierno del Estado de México. https://icamex.edomex.gob.mx/haba.
- INIFAP. 2017. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Agenda Técnica Agrícola de Estado de México. 423 p. https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/Content?//=AT.
- Lang, L. N. and Smith, S. R. 2008. Time and temperature inactivation kinetics of enteric bacteria relevant to sewage sludge treatment processes for agricultural use. *Water Res.* 42(8-9):2229-2241. doi.org/10.1016/j.watres.2007.12.001.
- Mantilla, M. G.; Sandoval, Y. L.; Ramírez, C. E. M.; Gasca, A. S.; Navarro, F. J.; Hernández, C. N.; García, R. J. L.; Esquivel, S. A. y Calderón, M. C. G. 2017. Energía limpia del agua sucia: aprovechamiento de aguas residuales. Instituto mexicano de tecnología del agua. México, DF. 88 p.
- Piršelová, B.; Kuna, R.; Lukáč, P. and Havrlentová, M. 2021. Effect of cadmium on growth, photosynthetic pigments, iron, and cadmium accumulation of faba bean (*Vicia faba* cv. Aštar). *Agriculture (Poľnohospodárstvo).* 62(2):72-79. https://doi.org/10.1515/agri-2016-0008.

- Postisek-Talavera, T. M.; Figueroa-Viramontes, U.; González-Cervantes, J. I. y Orona-Castillo, I. 2010. Aplicación de biosólidos al suelo y su efecto sobre contenido de materia orgánica y nutrientes. *Terra Latinoam.* 28(4):327-333.
- Price, G. W.; Langille, G. I. M and Svetlana, N. Y. 2021. Microbial co-occurrence network analysis of soils receiving short and long term applications of alkaline treated biosolids. *Science of the total environment.* 751:141687. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv>.
- Rajhi, I.; Moussa, B.; Neji, I.; Baccouri, B.; Chikha, M. B.; Chammakhi, C.; Amri, M.; Brouquisse, R. and Mhadhbi, H. 2020. Photosynthetic and physiological responses of small seeded faba bean genotypes (*Vicia faba* L.) to salinity stress: identification of a contrasting pair towards salinity. *Photosynthetica.* 58(1):174-185. <https://doi.org/10.32615/ps.2019.152>
- SAGARPA. 2022. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Sandaña, P.; Orena, S.; Santos, R. J.; Kalazich, J. and Uribe, M. 2018. Critical value of soil Olsen-P for potato production systems in volcanic soils of Chile. *J. Soil. Sci. Plant. Nutr.* 18(4):965-976. [doi.org/10.4067/S0718-95162018005002801](https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005002801).
- SEMARNAT. 2000. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-021-. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario oficial de la federación. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/documentos/federal/wo69255.pdf>.
- SEMARNAT. 2002. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-004. Protección ambiental lodos y biosólidos especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium-bin/detalle.pl?Id=20200923160311>.
- Tang, L.; Hamid, Y.; Zehra, A.; Sahito Z. A.; Hec, Z.; Hussain, B.; Gurajala, H. K. and Yang, X. 2019. Characterization of fava bean (*Vicia faba* L.) genotypes for phytoremediation of cadmium and lead co-contaminated soils coupled with agro-production. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 171:190-198. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.083>.
- Vela, C. M. A.; López, T. Z. G.; Sandoval, C. E.; Tornero, C. M. A. y Cobos, P. M. A. 2018. La fertilización órgano-mineral en el rendimiento de haba en suelo e hidroponía en agricultura protegida. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9(8):1603-1614.
- Velasco, M. A. 2010. Modificación del plan municipal de desarrollo urbano del municipio de Nextlalpan. Periódico oficial del gobierno del estado libre y soberano de México. Estado de México. 172 p.