



Biotecnia

ISSN: 1665-1456

Universidad de Sonora, División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Alcalán-López, Luis Ángel; Lastiri-Hernández, Marcos Alfonso; Álvarez-Bernal, Dioselina

Efecto de biofertilizantes líquidos, obtenidos a partir de halófitas, en la germinación y emergencia de cuatro especies de hortalizas ( *Daucus carota* L., *Lactuca sativa* L., *Raphanus sativus* L. y *Cucumis sativus* L.)

Biotecnia, vol. 25, núm. 3, 2023, Septiembre-Diciembre, pp. 197-207

Universidad de Sonora, División de Ciencias Biológicas y de la Salud

DOI: <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i3.2127>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=672977632023>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH  
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Efecto de biofertilizantes líquidos, obtenidos a partir de halófitas, en la germinación y emergencia de cuatro especies de hortalizas (*Daucus carota* L., *Lactuca sativa* L., *Raphanus sativus* L. y *Cucumis sativus* L.)

Effect of liquid biofertilizers, obtained from halophytes, on the germination and emergence of four species of vegetables (*Daucus carota* L., *Lactuca sativa* L., *Raphanus sativus* L. y *Cucumis sativus* L.)

Luis Ángel Alcalán-López<sup>1</sup>✉, Marcos Alfonso Lastiri-Hernández<sup>2</sup>✉, Dioselina Álvarez-Bernal<sup>1\*</sup>✉

<sup>1</sup> Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR unidad Michoacán, Justo Sierra 28, Centro, 59510, Jiquilpan, Michoacán, México.

<sup>2</sup> Tecnológico Nacional de México Campus Los Reyes, Los Reyes 60330, México.

## RESUMEN

La fitodesalinización usando especies halófitas permite recuperar suelos salinos, ya que las halófitas son capaces de absorber las sales del suelo y retenerlas en su biomasa. Lamentablemente, al término de su implementación queda mucha biomasa y no se puede simplemente desechar, de ahí que, la producción de fertilizantes orgánicos se presente como una alternativa de solución. El objetivo del estudio fue evaluar la capacidad de germinación y emergencia de cuatro especies de hortalizas en condiciones *in vitro*, al ser expuestas a diferentes biofertilizantes líquidos (BFL) producidos a partir de halófitas. El estudio constó de 76 tratamientos, obtenidos de la combinación de seis BFL, cuatro hortalizas (semillas), tres concentraciones de BFL (5, 10 y 20 %), y un tratamiento control para cada hortaliza. En todas las especies evaluadas hubo reducciones significativas ( $p \leq 0.05$ ) en el crecimiento relativo de radícula (CRR), índice de germinación (IG) y longitud de las plántulas (LT), conforme aumentaba la concentración de biofertilizante líquido; por tanto, concentraciones de BFL superiores al 10% disminuyen considerablemente la germinación y emergencia de las especies evaluadas (IG < 80 %). Sin embargo, dosis bajas de BFL (entre 5 y 10 %) no representan un riesgo (IG > 80 %).

**Palabras clave:** Biofertilizante líquido, suelo salino, índice de germinación.

## ABSTRACT

Phytodesalination using halophyte species allows the recovery of saline soils, since halophytes are capable of absorbing salts from the soil and retaining them in their biomass. Unfortunately, at the end of its use, as waste, there remains a lot of biomass that cannot simply be discarded, which is why the production of organic fertilizers is presented as an alternative solution. The objective of the study was to evaluate the germination and emergence capacity of four vegetable species under *in vitro* conditions, when exposed to different liquid biofertilizers (BFL) produced from halophytes. The study consisted of 76 treatments, obtained from the combination of six BFL, four vegetables (seeds), three BFL concentrations (5, 10 and 20 %), and a control treatment for each vegetable. In all

the species evaluated there were significant reductions ( $p \leq 0.05$ ) in the relative growth of the radicle (CRR), germination rate (IG) and length of the seedlings (LT), as the BFL concentration increased; therefore, BFL concentrations greater than 10 % considerably decrease the germination and emergence of the species evaluated (IG < 80%). However, low doses of BFL (between 5 and 10%) do not represent a risk (IG > 80%).

**Keywords:** Liquid biofertilizer, saline soil, germination index.

## INTRODUCCIÓN

Las halófitas, están dotadas de adaptaciones morfológicas, fisiológicas y bioquímicas que les permiten germinar, sobrevivir y desarrollarse en condiciones salinas (Terrazas-Rueda, 2019). Entre sus mecanismos de adaptación se encuentra el ajuste osmótico por osmolitos, el desarrollo de succulencia, la captación selectiva y el transporte de iones, la respuesta antioxidante y la regulación redox (Nikalje *et al.*, 2018; Lastiri-Hernández *et al.*, 2019). Por lo cual, muchas halófitas tienen la capacidad de extraer sodio ( $\text{Na}^+$ ) del medio en que se encuentren, translocándolo a la parte radicular, aérea o cosechable de la planta, por lo que pueden utilizarse como acompañante de diversos cultivos glicofíticos, principalmente en entornos donde la calidad del agua de riego y/o suelo no sean aptas para fines agrícolas (Lastiri-Hernández *et al.*, 2020).

Estudios realizados por Lastiri-Hernández *et al.* (2021) señalan la efectividad de las halófitas en la reducción de los niveles de salinidad en los suelos, porque con especies como *S. verrucosum* y *T. portulacastrum* es posible bioacumular hasta 186 y 140 kg de  $\text{Na}^+$  / hectárea, con una densidad de 22 743 plantas. Sin embargo, la biomasa residual de las halófitas representa una problemática, ya que, debido a su contenido en sales es inviable desecharla o reincorporarla al suelo. Por lo cual, se buscan alternativas para aprovecharla. En este sentido, la producción de abonos orgánicos representa una alternativa; contribuyendo a cerrar el ciclo de la fitodesalinización con halófitas, de manera sustentable. Hasta ahora, solo se ha explorado la producción de compost y vermicompost (Lastiri-Hernández *et al.*, 2023). Sin embargo, también es posible aprovechar la biomasa en la producción de biofertilizantes líquidos (BFL) (Samaniego, 2022).

\*Autor para correspondencia: Dioselina Álvarez-Bernal

Correo-e: dalvarezb@ipn.mx

Recibido: 11 de agosto de 2023

Aceptado: 15 de noviembre de 2023

Publicado: 08 de diciembre de 2023

Los BFL, se obtienen en biodigestores mediante el proceso de digestión anaerobia (DA) (Barampouti et al., 2020), y son un material relativamente estable, con la capacidad de aportar macro y micronutrientes a las plantas (Hernández-Chontal et al., 2019; Yu et al., 2022), así como vitaminas y aminoácidos esenciales; incluyendo factores promotores del crecimiento vegetal como el ácido indol-3-acético (IAA), giberelinas (GA) y microorganismos benéficos (Ladan et al., 2020; Larney y Angers, 2012). Según de-Oliveira-Neto et al. (2017) y Bitew y Alemayehu (2017), la eficiencia de los BFL está sujeta a factores, como la calidad de los insumos, su método de preparación, el tiempo de la DA, el estado fenológico y los microorganismos endógenos de las plantas, la dosis, frecuencia y formas de aplicación (fertirriego y/o aspersión foliar).

Es importante notar que cuando las halófitas son sometidas a un proceso de DA, existe la posibilidad de que el  $\text{Na}^+$  inmerso en sus tejidos disminuya, pues es probable que, dentro del biodigestor, la mayor parte de las sales se precipiten y se sedimenten al fondo (Kaur et al., 2020). Pese a lo anterior, sigue existiendo el riesgo de que al aplicar las halófitas en forma de BFL, este se convierta en una amenaza para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Majeed y Muhammad, 2019), debido a que la mayoría de los cultivos son sensibles a la salinidad en todas sus etapas fenológicas (Acosta-Motos et al., 2017). Sin embargo, la germinación en especies vegetales es la etapa más crítica, dado que, el estrés salino reduce la absorción de agua durante la imbibición y la turgencia de la semilla (Balkaya et al., 2016; Tarchoun et al., 2022), lo cual se traduce en una reducción en el porcentaje de germinación y en la inhibición de la elongación de los tejidos tanto de la raíz como del hipocótilo (Zhang et al., 2010). Tales respuestas al estrés salino están sujetas tanto a la especie como a los cultivares; por lo que se ha reportado gran variabilidad al respecto (Kandil et al., 2017).

Por lo tanto, el objetivo del estudio fue evaluar la capacidad de germinación y emergencia de cuatro especies de hortalizas, entre ellas zanahoria (*Daucus carota* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.), rábano (*Raphanus sativus* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones *in vitro*, al ser expuestas a diferentes biofertilizantes líquidos (BFL) producidos a partir de halófitas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal

En octubre de 2021, durante la época de estiaje, se colectaron 60 plantas de cinco diferentes especies halófitas (*Bacopa monnieri* (L.) Wettst; *Distichlis spicata* L.; *Heliotropium curassavicum* L.; *Flaveria trinervia* (Spreng.) C. Mohr y *Sesuvium verrucosum* Raf.), de un área geotérmica conocida como "Los Negritos", perteneciente al municipio de Villamar, Michoacán, México. El lugar se encuentra a 1540 m.s.n.m, en las coordenadas 20° 01' 49.7885" N y -102° 38' 37.8240" W. El tipo de vegetación en la zona es herbácea, sumada de una gran variedad de especies halófitas. La zona es utilizada para pas-

toreo de bovinos y caprinos debido a que una gran parte de sus pastizales es rico en sodio (Lastiri-Hernández et al., 2020).

Durante el proceso de recolección, a las halófitas se les midió su peso fresco con una báscula de la marca Ohaus Compass™ CX y su altura con un flexómetro de la marca Truper®. Las plantas colectadas de *B. monnieri* tenían un peso fresco promedio (FWp) de  $106.18 \pm 2.41$  g y una altura promedio (hp) de  $15.42 \pm 1.91$  cm. Las plantas de *D. spicata* tenían un FWp de  $101.92 \pm 5.76$  g y una hp de  $58.66 \pm 5.47$  cm. Las plantas de *H. curassavicum* tenían un FWp de  $109.71 \pm 3.29$  g y una hp de  $26.54 \pm 2.65$  cm. Las plantas de *F. trinervia* tenían un FWp de  $135.44 \pm 6.27$  g y una hp de  $61.15 \pm 5.83$  cm. Mientras que las plantas de *S. verrucosum* tenían un FWp de  $114.61 \pm 3.89$  g y una hp de  $34.25 \pm 3.44$  cm.

Las halófitas recolectadas fueron llevadas al laboratorio y al terreno experimental del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Michoacán (CIIDIR-IPN, Michoacán). En el laboratorio, el material fue separado e identificado por códigos taxonómicos (McVaugh, 1984; Rzedowski y Rzedowski, 1985; Beetle et al., 1987; Espinosa-García y Sarukhán, 1997) y fue comparado con los especímenes del herbario del CIIDIR-IPN, unidad Michoacán. Las especies se clasificaron por familia, especie, estatus migratorio (nativa, exótica o endémica), ciclo de vida y uso antropogénico (Tabla 1).

### Proceso de fitodesalinización

Las halófitas colectadas fueron trasplantadas en bolsas de poliestireno negras que contenían 10 kg de suelo; las bolsas no se perforaron para evitar la lixiviación de las sales. El suelo utilizado tuvo las siguientes características: Vertisol de textura arcillosa (arcilla 61 %, limo 16 %, arena 23 %); conductividad eléctrica (CE) de  $8.72 \pm 0.21$  dS  $\text{m}^{-1}$ ; pH de  $7.72 \pm 0.05$ ; relación de absorción de sodio (SAR) de  $28.92 \pm 0.82$  ( $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ )<sup>1/2</sup>; porcentaje de sodio intercambiable (ESP) de  $25.12 \pm 1.04$ ; porcentaje de materia orgánica (OM) de  $4.32\% \pm 0.04$ ; densidad aparente (Da) de  $1.2 \pm 0.05$ ; capacidad de retención de agua (WHC) de  $132 \% \pm 1.4$ ; nitrógeno total de  $0.2 \% \pm 0.03$ ; fósforo disponible de  $26.42 \pm 0.95$  mg  $\text{kg}^{-1}$ ; carbonatos de  $0.85 \pm 0.07$   $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ ; bicarbonatos de  $3.56 \pm 0.15$   $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ ; cloruros de  $21.37 \pm 0.93$   $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$  y sulfatos de  $126.81 \pm 2.25$   $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ .

Las halófitas se sometieron a un proceso de fitodesalinización por un periodo de 180 días. Durante este tiempo, las halófitas se regaron cada tercer día con agua del grifo de forma manual para mantener la capacidad de retención de agua al 70 % (1.15 L/ día).

Las características químicas del agua del grifo fueron las siguientes: CE de  $300 \mu\text{S cm}^{-1}$ , pH de 7.68,  $\text{Ca}^{2+}$  de  $0.42$   $\text{mmol L}^{-1}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  de  $3.57$   $\text{mmol L}^{-1}$ ,  $\text{Na}^+$  de  $2.75$   $\text{mmol L}^{-1}$ ,  $\text{K}^+$  de  $0.34$   $\text{mmol L}^{-1}$ ,  $\text{Cl}^-$  de  $4.23$   $\text{mmol L}^{-1}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  de  $1.16$   $\text{mmol L}^{-1}$ ,  $\text{HCO}_3^{2-}$  de  $3.58$   $\text{mmol L}^{-1}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  de  $2.47$   $\text{mmol L}^{-1}$ , carbonatos de sodio residuales (RSC) de  $0.75$   $\text{mmol L}^{-1}$ , SAR de 1.94, ESP de 2.90, salinidad efectiva (SE) de 3.07. Las características microbiológicas del agua potable fueron las siguientes: coliformes

**Tabla 1.** Especies halófitas encontradas en el municipio de Villamar, Michoacán, México.**Table 1.** Halophyte species found in the municipality of Villamar, Michoacán, México.

| Familia          | Especies                                    | Situación migratoria en México | Ciclo vital    | Uso antropogénico                       | Referencias                                                                           |
|------------------|---------------------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Aizoáceas        | <i>Sesuvium verrucosum</i> Raf.             | Nativo                         | Perenne        | Medicinal y fitodesalinización          | Taha y Alsayed (2000)<br>Lastiri Hernández <i>et al.</i> (2020)                       |
| Boragináceas     | <i>Heliotropium curassavicum</i> L.         | Nativo                         | Anual- perenne | Medicinal y fitodesalinización          | Pothiraj <i>et al.</i> (2021)<br>Singh y Sharma (2017)<br>Rabhi <i>et al.</i> (2015). |
| Scrophulariaceae | <i>Bacopa monnieri</i> (L.) Wettst          | Nativo                         | Perenne        | Medicinal y fitodesalinización          | Mehta <i>et al.</i> , (2022).<br>Lastiri Hernández <i>et al.</i> (2020)               |
| Asteráceas       | <i>Flaveria trinervia</i> (Spreng.) C. Mohr | Nativo                         | Anual          | Medicinal y fitorremediación de metales | Surwase y Patil (2022).<br>Franco Hernández <i>et al.</i> (2010)                      |
| Poáceas          | <i>Distichlis spicata</i> L.                | Nativo                         | Perenne        | Forrajes y fitodesalinización           | Matichenkov y Bocharnikova (2022)                                                     |

totales de 17 NMP/100 mL, coliformes fecales de 3 NMP/100 mL y *Escherichia coli* de 3 NMP/100 mL.

El proceso de fitodesalinización se realizó en condiciones de invernadero, con una temperatura y humedad relativa promedio de 36/10 °C (día/noche) y 60 % ( $\pm 10$  %), respectivamente.

#### Capacidad de fitodesalinización (PHC) y contenido total de Na<sup>+</sup>

Al final del proceso de fitodesalinización se tomaron diez plantas de cada especie (Tabla 1) para determinar la PHC y el contenido total de Na<sup>+</sup>. La PHC (Tabla 2) de las halófitas se cuantificó utilizando la cantidad de Na<sup>+</sup> acumulado en la parte aérea de sus tejidos y el peso seco (DW) obtenido a los 180 d después del trasplante (ddt) (Rabhi *et al.*, 2010).

Para la obtención del DW de las halófitas, éstas se secaron en un horno Terlab® BTC-9100 a 70 °C durante 48 h. Para la obtención del contenido en Na<sup>+</sup>, las halófitas una vez secas, se trituraron y utilizando un microondas Anton Paar Multiwave Go se les realizó una digestión ácida. Los extractos se filtraron a través de papel de filtro y la concentración de Na<sup>+</sup> se determinó mediante espectroscopía de absorción atómica (Allen 1989) utilizando un espectrómetro SensAA

GBC (México).

#### Preparación de los BFL

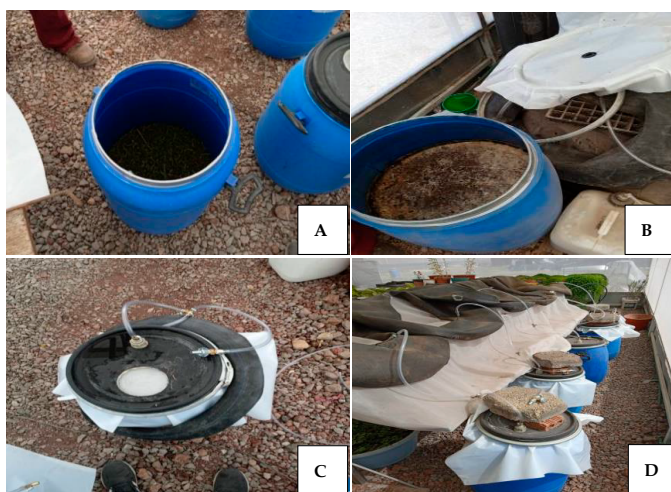
En una segunda etapa, se utilizaron biodigestores tipo Batch con capacidad de 60 L por un período de 150 d para la obtención de los BFL (Figura 1). Se utilizó un biodigestor para cada una de las especies halófitas y uno más que correspondió a estiércol bovino (obtenido en Jiquilpan Michoacán), el cual se consideró como referencia. Los BFL se elaboraron a partir de una mezcla en volumen de 1/3 de planta (cortada en segmentos de 1 a 2.5 cm) equivalente a 15.5 L y 2/3 de agua potable equivalente a 31 L, dejando un espacio de cabeza de 15 cm para cada uno de los biodigestores. También, se buscó que el peso de la biomasa fresca (FW) (únicamente de la parte aérea) utilizada en cada biodigestor fuera equitativo, por lo que a cada biodigestor se le añadió  $14 \pm 0.168$  kg de planta; equivalente a 14.6 plantas de la especie *B. monnieri*, 16.2 plantas de la especie *D. spicata*, 6.7 plantas de la especie *H. curassavicum*, 10.3 plantas de la especie *F. trinervia* y 5.6 plantas de la especie *S. verrucosum*. El experimento se realizó por triplicado en una misma corrida experimental.

Para completar el proceso de digestión anaerobia, los

**Tabla 2.** Capacidad de fitodesalinización (PHC) y contenido total de Na<sup>+</sup> en la biomasa de las especies halófitas al término de 180 d.**Table 2.** Phytodesalination capacity (PHC) and total Na<sup>+</sup> content in the biomass of halophyte species at the end of 180 d.

| Halófitas              | Parámetros                                 |                                          |                               |                                                              |
|------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                        | Peso fresco (FW) (g planta <sup>-1</sup> ) | Peso seco (DW) (g planta <sup>-1</sup> ) | CPH (g planta <sup>-1</sup> ) | Contenido total de Na <sup>+</sup> (g planta <sup>-1</sup> ) |
| <i>B. monnieri</i>     | 954.72 <sup>d</sup> $\pm$ 19.18            | 101.10 <sup>d</sup> $\pm$ 1.39           | 1.67 <sup>d</sup> $\pm$ 0.08  | 2.86 <sup>d</sup> $\pm$ 0.43                                 |
| <i>D. spicata</i>      | 863.89 <sup>e</sup> $\pm$ 17.25            | 64.79 <sup>e</sup> $\pm$ 1.25            | 0.72 <sup>e</sup> $\pm$ 0.03  | 1.20 <sup>e</sup> $\pm$ 0.05                                 |
| <i>H. curassavicum</i> | 2078.4 <sup>b</sup> $\pm$ 33.24            | 256.89 <sup>b</sup> $\pm$ 4.06           | 10.80 <sup>b</sup> $\pm$ 0.43 | 15.72 <sup>b</sup> $\pm$ 0.54                                |
| <i>F. trinervia</i>    | 1352.2 <sup>c</sup> $\pm$ 28.38            | 205.53 <sup>c</sup> $\pm$ 4.27           | 4.03 <sup>c</sup> $\pm$ 0.13  | 5.98 <sup>c</sup> $\pm$ 0.18                                 |
| <i>S. verrucosum</i>   | 2485.5 <sup>a</sup> $\pm$ 43.72            | 340.26 <sup>a</sup> $\pm$ 5.95           | 16.60 <sup>a</sup> $\pm$ 0.58 | 24.05 <sup>a</sup> $\pm$ 1.12                                |

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los valores son la media  $\pm$  desviación estándar ( $n = 50$ ).



**Figura 1.** Proceso de digestión anaeróbica de las diferentes halófitas (AD).  
**Figure 1.** Anaerobic digestion process of the different halophytes (AD).

biodigestores se colocaron en el mismo invernadero donde se realizó el proceso de fitodesalinización (Figura 1). El agua de riego utilizada fue la misma que la que se usó durante el proceso de la fitodesalinización.

### Análisis químico de los BFL

Al término del proceso de la digestión anaerobia (150 días), la parte sólida y líquida de los BFL se separaron por filtración, a través de una malla milimétrica plástica, posteriormente, se tomó una muestra de 500 mL de la fracción líquida de cada biodigestor y se analizaron los siguientes parámetros: pH y CE, carbono orgánico total (Nelson & Sommers, 1983),

nitrógeno total Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982). Los macronutrientes y micronutrientes, como P, K, Ca, Mg, Na, Cl, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B, se determinaron mediante espectrofotometría de absorción atómica (Allen, 1989) utilizando un espectrómetro SensAA. GBC (México). La caracterización química de los BFL se muestra en la Tabla 3.

### Viabilidad y germinación de semillas Capacidad de hidratación de las semillas

La viabilidad de las semillas de zanahoria (*D. carota* L.), lechuga (*L. sativa* L.), rábano (*R. sativus* L.) y pepino (*C. sativus* L.) se determinó mediante el método de flotación. Las semillas que pasaron la prueba de flotación se usaron para probar su capacidad de hidratación (imbibición) en respuesta a los BFL. En ello, se evaluaron tres concentraciones de BFL: 0.25:5 (5 %), 1:10 (10 %), 1:5 (20 %). Se trabajó con 96 tratamientos (Tabla 4), obtenidos a partir de la combinación de seis tipos de BFL, de las cuatro especies hortícolas (semillas), las tres concentraciones de BFL, y un tratamiento control usando agua destilada estéril, para cada una de las especies hortícolas. El experimento se repitió cinco veces (96 x 5). Las semillas utilizadas en la investigación fueron semillas certificadas de la marca; Rancho Los Molinos.

Para la imbibición, se pesaron (por tratamiento) 20 semillas de la hortaliza correspondiente, las cuales posteriormente se sembraron en cajas Petri y sobre un papel filtro humedecido con 10 mL del tipo y concentración de BFL correspondiente. Posteriormente, las cajas Petri se colocaron en una cámara de germinación (Thermo Scientific), a 25 °C. Pasadas 12 h, las semillas de cada especie y tratamiento se

**Tabla 3.** Composición nutricional de los diferentes BFL en su estado concentrado (100 %).

**Table 3.** Nutritional composition of the different liquid biofertilizers in their concentrated state (100 %).

| Parámetros                            | Tratamientos |                           |  |                           |  |                           |  |                           |  |                           |  |                           |
|---------------------------------------|--------------|---------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
|                                       |              | T1                        |  | T2                        |  | T3                        |  | T4                        |  | T5                        |  | T6                        |
| pH                                    |              | 7.19 <sup>c</sup> ± 0.05  |  | 7.35 <sup>bc</sup> ± 0.06 |  | 7.21 <sup>c</sup> ± 0.05  |  | 7.79 <sup>a</sup> ± 0.05  |  | 7.54 <sup>b</sup> ± 0.06  |  | 7.94 <sup>a</sup> ± 0.05  |
| CE (dS m <sup>-1</sup> )              |              | 9.25 <sup>a</sup> ± 0.37  |  | 3.71 <sup>d</sup> ± 0.16  |  | 2.01 <sup>e</sup> ± 0.14  |  | 8.40 <sup>b</sup> ± 0.31  |  | 5.75 <sup>c</sup> ± 0.25  |  | 10.8 <sup>a</sup> ± 0.32  |
| Macronutrientes (mg L <sup>-1</sup> ) | C            | 195.7 <sup>a</sup> ± 8.61 |  | 95.8 <sup>c</sup> ± 4.65  |  | 45.3 <sup>d</sup> ± 2.27  |  | 110.3 <sup>c</sup> ± 5.12 |  | 136.7 <sup>b</sup> ± 6.82 |  | 158.5 <sup>b</sup> ± 7.75 |
|                                       | N            | 1180 <sup>b</sup> ± 54.8  |  | 465 <sup>e</sup> ± 13.4   |  | 173 <sup>f</sup> ± 8.5    |  | 960 <sup>c</sup> ± 15.2   |  | 842 <sup>d</sup> ± 17.1   |  | 1242 <sup>a</sup> ± 20.6  |
|                                       | P            | 242 <sup>a</sup> ± 4.6    |  | 62 <sup>e</sup> ± 2.1     |  | 47 <sup>f</sup> ± 2.5     |  | 96 <sup>c</sup> ± 2.9     |  | 79 <sup>d</sup> ± 1.4     |  | 118 <sup>b</sup> ± 3.6    |
|                                       | K            | 3120 <sup>a</sup> ± 153   |  | 490 <sup>e</sup> ± 13     |  | 192 <sup>f</sup> ± 18     |  | 1022 <sup>c</sup> ± 22    |  | 884 <sup>d</sup> ± 20     |  | 1294 <sup>b</sup> ± 23    |
| Micronutrientes (mg L <sup>-1</sup> ) | Ca           | 1175 <sup>bc</sup> ± 44   |  | 652 <sup>d</sup> ± 25     |  | 418 <sup>e</sup> ± 24     |  | 1215 <sup>b</sup> ± 29    |  | 1142 <sup>c</sup> ± 28    |  | 1605 <sup>a</sup> ± 30    |
|                                       | Mg           | 628 <sup>e</sup> ± 1.6    |  | 1049 <sup>d</sup> ± 2.1   |  | 505 <sup>f</sup> ± 1.8    |  | 2594 <sup>b</sup> ± 2.3   |  | 1535 <sup>c</sup> ± 2.4   |  | 3310 <sup>a</sup> ± 2.4   |
|                                       | Cl           | 825 <sup>e</sup> ± 21     |  | 1073 <sup>d</sup> ± 46    |  | 529 <sup>f</sup> ± 44     |  | 2618 <sup>b</sup> ± 51    |  | 1558 <sup>c</sup> ± 49    |  | 3334 <sup>a</sup> ± 54    |
|                                       | S            | 10.4 <sup>f</sup> ± 0.27  |  | 58.5 <sup>b</sup> ± 0.22  |  | 12.3 <sup>e</sup> ± 0.31  |  | 44.8 <sup>c</sup> ± 0.66  |  | 32.5 <sup>d</sup> ± 1.23  |  | 69.8 <sup>a</sup> ± 0.91  |
|                                       | Fe           | 4.2 <sup>a</sup> ± 0.11   |  | 1.3 <sup>e</sup> ± 0.03   |  | 1.5 <sup>d</sup> ± 0.05   |  | 2.4 <sup>b</sup> ± 0.06   |  | 1.6 <sup>d</sup> ± 0.05   |  | 1.8 <sup>c</sup> ± 0.04   |
|                                       | Cu           | 1.7 <sup>a</sup> ± 0.06   |  | 0.5 <sup>e</sup> ± 0.01   |  | 0.9 <sup>b</sup> ± 0.03   |  | 0.4 <sup>f</sup> ± 0.01   |  | 0.6 <sup>d</sup> ± 0.02   |  | 0.8 <sup>c</sup> ± 0.03   |
|                                       | Zn           | 10.2 <sup>a</sup> ± 0.39  |  | 3.1 <sup>de</sup> ± 0.11  |  | 2.5 <sup>e</sup> ± 0.09   |  | 5.8 <sup>b</sup> ± 0.23   |  | 3.2 <sup>d</sup> ± 0.13   |  | 4.4 <sup>c</sup> ± 0.16   |
|                                       | Mn           | 0.26 <sup>a</sup> ± 0.01  |  | 0.08 <sup>d</sup> ± 0.003 |  | 0.06 <sup>e</sup> ± 0.002 |  | 0.15 <sup>b</sup> ± 0.005 |  | 0.1 <sup>c</sup> ± 0.003  |  | 0.11 <sup>c</sup> ± 0.004 |
|                                       | B            | 0.21 <sup>f</sup> ± 0.007 |  | 1.31 <sup>b</sup> ± 0.001 |  | 0.38 <sup>e</sup> ± 0.002 |  | 0.95 <sup>d</sup> ± 0.004 |  | 1.37 <sup>a</sup> ± 0.002 |  | 1.05 <sup>c</sup> ± 0.004 |
| Sodio (mg L <sup>-1</sup> )           | Na           | 948 <sup>e</sup> ± 24     |  | 1431 <sup>d</sup> ± 53    |  | 706 <sup>f</sup> ± 51     |  | 3491 <sup>b</sup> ± 59    |  | 2078 <sup>c</sup> ± 57    |  | 4446 <sup>a</sup> ± 63    |

Letras diferentes en cada fila indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). T1 = BFL de estiércol bovino; T2 = BFL de *Bacopa monnieri* (L.) Wettst; T3 = BFL de *Distichlis spicata* L.; T4 = BFL de *Heliotropium curassavicum* L.; T5 = BFL de *Flaveria trinervia* (Spreng.) C. Mohr; T6 = BFL de *Sesuvium verrucosum* Raf.

**Tabla 4.** Establecimiento de los diferentes tratamientos.**Table 4.** Establishment of the different treatments.

| Tratamientos                                     | Concentraciones de BFL |          |           |          |
|--------------------------------------------------|------------------------|----------|-----------|----------|
|                                                  | Control (%)            | Bajo (%) | Medio (%) | Alto (%) |
| T1 = Estiércol Bovino                            | 0                      | 5        | 10        | 20       |
| T2 = <i>Bacopa monnieri</i> (L.) Wettst          | 0                      | 5        | 10        | 20       |
| T3 = <i>Distichlis spicata</i> L.                | 0                      | 5        | 10        | 20       |
| T4 = <i>Heliotropium curassavicum</i> L.         | 0                      | 5        | 10        | 20       |
| T5 = <i>Flaveria trinervia</i> (Spreng.) C. Mohr | 0                      | 5        | 10        | 20       |
| T6 = <i>Sesuvium verrucosum</i> Raf.             | 0                      | 5        | 10        | 20       |

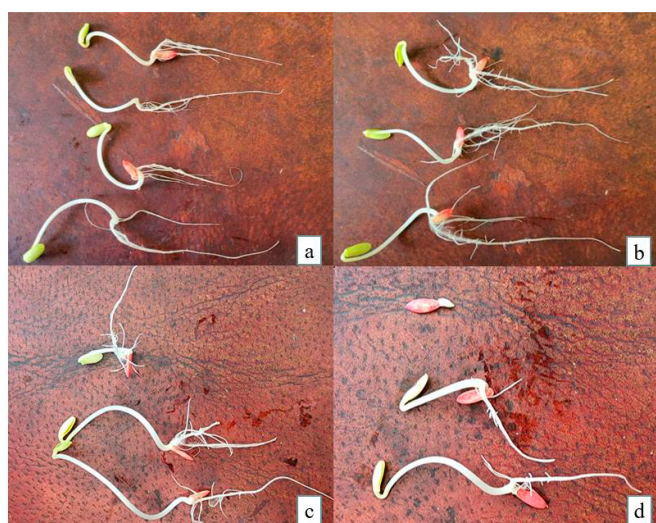
pesaron nuevamente, utilizando una balanza analítica (SA 120, Scientech Inc., CO, EE. UU.).

### Germinación de semillas

Después de registrar la capacidad de hidratación (imbibición) de las semillas, las cajas Petri se volvieron a colocar en la cámara de germinación (Thermo Scientific) a 25 °C y 65 % de humedad relativa durante cinco días. Los bioensayos de germinación se realizaron según la metodología propuesta por Zucconi *et al.*, (1981).

Pasados los cinco días, se evaluó el porcentaje de germinación relativo (PGR), el crecimiento relativo de la radícula (CRR), el índice de germinación (IG) (Tiquia, 2010) y la longitud total de las plántulas (LT) de cada especie (raíz + hipocótilo) en mm, la cual se registró con un calibrador digital Vernier 14388 de la marca Truper®. Las semillas se consideraron germinadas si la radícula sobresalía a través de la cubierta seminal de la semilla (2 mm) (Figura 2) (Pablo-Pérez *et al.*, 2013).

### Análisis estadístico



**Figura 2.** Efecto del BFL de *H. curassavicum* en la germinación de pepino (*Cucumis sativus* L.). a) control, b) concentración de BFL al 5 %, c) concentración de BFL al 10 % y d) concentración de BFL al 20 %.

**Figure 2.** Effect of *H. curassavicum* BFL on cucumber (*Cucumis sativus* L.) germination. a) control, b) 5 % BFL concentration, c) 10 % BFL concentration and d) 20 % BFL concentration.

Los datos obtenidos de las variables evaluadas fueron promediados y sometidos a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ( $p \leq 0.05$ ) y a la prueba de homogeneidad de varianza de Levene. Las variables que cumplieron ambas pruebas se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y a la prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Las variables que no cumplieron con las pruebas de homogeneidad de varianza o normalidad se transformaron al logaritmo natural (Ln) hasta observar normalidad y homocedasticidad, luego se calcularon las pruebas ANOVA y Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los datos que no cumplieron con ambas pruebas se sometieron a un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis y pruebas de suma de rangos de Wilcoxon. Para todos los casos se utilizó el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.1 (SAS Institute Inc., 2004).

## RESULTADOS

En todas las semillas evaluadas (zanahoria, lechuga, rábano y pepino) se observaron reducciones significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la ganancia de peso húmedo (imbibición) con respecto a los controles, a medida que aumentaba la concentración de BFL (Tabla 5). Siendo los tratamientos T6, T4 y T5 los que presentaron los menores niveles de imbibición. La afectación observada en las semillas, de acuerdo con los diferentes tipos y concentraciones de BFL establecidos, se clasificaron de la siguiente manera: *L. sativa* > *D. carota* > *C. sativus* > *R. sativus*; T6 > T4 > T5 > T2 > T3 > T1; 20 % > 10 % > 5 %.

En la imbibición de las semillas de *D. carota* y *C. sativus*, con el uso de BFL al 5 %, se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) con respecto a los controles en los tratamientos T4, T5 y T6, mientras que para la imbibición de las semillas de *L. sativa* y *R. sativus*, los tratamientos T2, T3, T4, T5 y T6 mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) con respecto a los controles con el uso de la misma concentración de BFL (Tabla 5). Por otro lado, en la imbibición de las semillas de *D. carota* y *R. sativus*, T1 fue el único tratamiento que mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con respecto a los controles únicamente a partir de la concentración de BFL al 20 %. Sin embargo, en la imbibición de las semillas de *L. sativa* y *C. sativus*, el tratamiento T1 mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con respecto a los controles a partir de concentraciones de BFL al 10 % (Tabla 5).

Los resultados de las etapas de germinación y emergencia de las diferentes semillas hortícolas evaluadas se muestran en la Tabla 6. En donde se pudieron observar reducciones significativas ( $p \leq 0.05$ ) en el porcentaje relativo de germinación (PGR), crecimiento relativo de la radícula (CRR), índice de germinación (IG) y en la longitud total de las plántulas (LT), respecto a los controles, a medida que aumentaban las concentraciones de BFL establecidas; siendo T6, T4 y T5 respectivamente, los tratamientos que presentaron los niveles más bajos de germinación y emergencia.

**Tabla 5.** Imbibición de 20 semillas de cuatro tipos de hortalizas.**Table 5.** Imbibition of 20 seeds of four types of vegetables.

| Especies                   | Concentración de BFL | Peso seco inicial (g)<br>I | Peso húmedo final (g)        |                              |                              |                              |                              |                              |
|----------------------------|----------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                            |                      |                            | T1                           | T2                           | T3                           | T4                           | T5                           | T6                           |
| <i>Daucus carota</i> L.    | 0 %                  | 0.0147 ± 0.0008            | 0.0330 <sup>a</sup> ± 0.0006 | 0.0330 <sup>a</sup> ± 0.0006 | 0.0330 <sup>a</sup> ± 0.0006 | 0.0330 <sup>a</sup> ± 0.0006 | 0.0330 <sup>a</sup> ± 0.0006 | 0.0330 <sup>a</sup> ± 0.0006 |
|                            | 5 %                  |                            | 0.0322 <sup>a</sup> ± 0.0007 | 0.0309 <sup>a</sup> ± 0.0009 | 0.0316 <sup>a</sup> ± 0.0006 | 0.0287 <sup>b</sup> ± 0.0005 | 0.0294 <sup>b</sup> ± 0.0005 | 0.0276 <sup>c</sup> ± 0.0005 |
|                            | 10 %                 |                            | 0.0304 <sup>a</sup> ± 0.0005 | 0.0263 <sup>c</sup> ± 0.0006 | 0.0285 <sup>b</sup> ± 0.0007 | 0.0233 <sup>c</sup> ± 0.0006 | 0.0247 <sup>d</sup> ± 0.0005 | 0.0208 <sup>f</sup> ± 0.0006 |
|                            | 20 %                 |                            | 0.0276 <sup>c</sup> ± 0.0005 | 0.0231 <sup>e</sup> ± 0.0008 | 0.0253 <sup>d</sup> ± 0.0005 | 0.0194 <sup>g</sup> ± 0.0006 | 0.0212 <sup>f</sup> ± 0.0007 | 0.0164 <sup>h</sup> ± 0.0007 |
| <i>Lactuca sativa</i> L.   | 0 %                  | 0.0191 ± 0.0007            | 0.0621 <sup>a</sup> ± 0.0007 | 0.0621 <sup>a</sup> ± 0.0007 | 0.0621 <sup>a</sup> ± 0.0007 | 0.0621 <sup>a</sup> ± 0.0007 | 0.0621 <sup>a</sup> ± 0.0007 | 0.0621 <sup>a</sup> ± 0.0007 |
|                            | 5 %                  |                            | 0.0615 <sup>a</sup> ± 0.0006 | 0.0585 <sup>b</sup> ± 0.0005 | 0.0593 <sup>b</sup> ± 0.0008 | 0.0562 <sup>d</sup> ± 0.0006 | 0.0581 <sup>c</sup> ± 0.0005 | 0.0544 <sup>e</sup> ± 0.0007 |
|                            | 10 %                 |                            | 0.0534 <sup>e</sup> ± 0.0006 | 0.0468 <sup>g</sup> ± 0.0006 | 0.0507 <sup>f</sup> ± 0.0005 | 0.0388 <sup>i</sup> ± 0.0006 | 0.0415 <sup>h</sup> ± 0.0007 | 0.0353 <sup>j</sup> ± 0.0006 |
|                            | 20 %                 |                            | 0.0442 <sup>g</sup> ± 0.0008 | 0.0366 <sup>i</sup> ± 0.0009 | 0.0404 <sup>h</sup> ± 0.0008 | 0.0295 <sup>k</sup> ± 0.0009 | 0.0323 <sup>j</sup> ± 0.0008 | 0.0269 <sup>l</sup> ± 0.0008 |
| <i>Raphanus sativus</i> L. | 0 %                  | 0.0204 ± 0.00028           | 0.4436 <sup>a</sup> ± 0.0021 | 0.4436 <sup>a</sup> ± 0.0021 | 0.4436 <sup>a</sup> ± 0.0021 | 0.4436 <sup>a</sup> ± 0.0021 | 0.4436 <sup>a</sup> ± 0.0021 | 0.4436 <sup>a</sup> ± 0.0021 |
|                            | 5 %                  |                            | 0.4404 <sup>a</sup> ± 0.0024 | 0.4287 <sup>c</sup> ± 0.0027 | 0.4397 <sup>b</sup> ± 0.0020 | 0.4137 <sup>e</sup> ± 0.0023 | 0.4231 <sup>d</sup> ± 0.0020 | 0.4081 <sup>f</sup> ± 0.0025 |
|                            | 10 %                 |                            | 0.4415 <sup>a</sup> ± 0.0022 | 0.4108 <sup>e</sup> ± 0.0026 | 0.4264 <sup>c</sup> ± 0.0023 | 0.3912 <sup>h</sup> ± 0.0025 | 0.3988 <sup>g</sup> ± 0.0021 | 0.3842 <sup>i</sup> ± 0.0027 |
|                            | 20 %                 |                            | 0.4195 <sup>d</sup> ± 0.0029 | 0.3874 <sup>f</sup> ± 0.0025 | 0.4019 <sup>g</sup> ± 0.0027 | 0.3596 <sup>k</sup> ± 0.0023 | 0.3742 <sup>j</sup> ± 0.0028 | 0.3395 <sup>l</sup> ± 0.0026 |
| <i>Cucumis sativus</i> L.  | 0 %                  | 0.6178 ± 0.00077           | 1.2953 <sup>a</sup> ± 0.0075 | 1.2953 <sup>a</sup> ± 0.0075 | 1.2953 <sup>a</sup> ± 0.0075 | 1.2953 <sup>a</sup> ± 0.0075 | 1.2953 <sup>a</sup> ± 0.0075 | 1.2953 <sup>a</sup> ± 0.0075 |
|                            | 5 %                  |                            | 1.2892 <sup>a</sup> ± 0.0081 | 1.2817 <sup>a</sup> ± 0.0071 | 1.2846 <sup>a</sup> ± 0.0092 | 1.2518 <sup>b</sup> ± 0.0081 | 1.2796 <sup>a</sup> ± 0.0088 | 1.2275 <sup>c</sup> ± 0.0069 |
|                            | 10 %                 |                            | 1.1946 <sup>d</sup> ± 0.0082 | 1.0939 <sup>g</sup> ± 0.0073 | 1.1413 <sup>f</sup> ± 0.0071 | 0.9922 <sup>j</sup> ± 0.0076 | 1.0364 <sup>i</sup> ± 0.0083 | 0.9498 <sup>l</sup> ± 0.0087 |
|                            | 20 %                 |                            | 1.1795 <sup>e</sup> ± 0.0077 | 0.9787 <sup>h</sup> ± 0.0081 | 1.0642 <sup>h</sup> ± 0.0083 | 0.8775 <sup>e</sup> ± 0.0092 | 0.9217 <sup>m</sup> ± 0.0070 | 0.8054 <sup>n</sup> ± 0.0095 |

Las diferentes letras representan la mínima diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los valores son la media  $\pm$  desviación estándar ( $n = 480$ ). T1 = BFL de estiércol bovino; T2 = BFL de *Bacopa monnieri* (L.) Wettst; T3 = BFL de *Distichlis spicata* L.; T4 = BFL de *Heliotropium curassavicum* L.; T5 = BFL de *Flaveria trinervia* (Spreng.) C. Mohr; T6 = BFL de *Sesuvium verrucosum* Raf.

Los niveles de afectación observados en la germinación y emergencia de las diferentes semillas hortícolas, según los diferentes tipos y concentraciones de BFL evaluados, se clasificaron como: *L. sativa* > *D. carota* > *C. sativus* > *R. sativus*; T6 > T4 > T5 > T2 > T3 > T1; 20 % > 10 % > 5 %, el cual es el mismo patrón identificado en la imbibición.

Como se refirió anteriormente, en todas las variables evaluadas (PGR, CRR, IG y LT) los mejores resultados se presentaron en los controles (0 %), seguidos del BFL al 5 %. En los tratamientos con BFL, las semillas de *D. carota* y *L. sativa*, con concentraciones de BFL al 5 %, mostraron diferencias significativas respecto a los controles en los tratamientos T2, T3, T4, T5, y T6. En el caso de las semillas de *R. sativus*, las diferencias se dieron en los tratamientos T2, T4, T5 y T6 y en las semillas de *C. sativus*, únicamente en los tratamientos T4 y T6 con la misma concentración de BFL (Tabla 6).

En cuanto a las tres concentraciones de BFL, las especies hortícolas mostraron los valores más altos de PGR con los BFL al 5 %. En las semillas de *C. sativus* se logró un PGR mayor a 92.22 %, en las de *R. sativus* uno mayor a 91.11 %, en las de *L. sativa* uno mayor a 87.77 %, y en las de *D. carota* uno mayor a 85.55 %. Sin embargo, con el uso de los BFL al 20 %, *R. sativus* fue la única que logró un PGR significativamente mayor ( $p \leq 0.05$ ) en comparación con el resto de las especies, al mostrar un valor mínimo en T6 de 71.11 % y un valor máximo en T1 de 93.33 %, ya que, *C. sativus* mostró un valor mínimo en T6 de 62.22 % y uno máximo en T1 de 90 %, *D. carota* un valor mínimo en T6 de 51.11 % y uno máximo en T1 de 85.55 % y *L. sativa* un valor mínimo en T6 de 40 % y uno máximo en T1

de 70 %. Por lo que T1 fue el que mostró un PGR mayor, con una dosis de BFL al 20 %.

En cuanto a las variables, CRR, IG y LT, los mejores resultados (después del control) se dieron utilizando BFL al 5 %, mientras que los menos favorables, utilizando los BFL al 20 %. En las semillas de *C. sativus*, con BFL al 5 %, la mayor reducción respecto al control se dio en el T6 (14.98 % en CRR, 31.32 % en IG y 18.02 % en LT), mientras que usando el BFL al 20 %, y contemplando todos los tratamientos, la reducción varió del 21.13 al 62.79 % en CRR, del 33.20 al 71.71 % en IG y del 25.29 al 60.26 % en LT. En las semillas de *R. sativus*, con BFL al 5 %, la mayor reducción respecto al control se dio en el T6 (22.01 % en CRR, 30.42 % en IG y 26.08 % en LT), mientras que usando el BFL al 20 %, y contemplando todos los tratamientos, la reducción varió del 12.18 al 39.30 % en CRR, del 28.22 al 47.64 % en IG y del 25.54 al 48.18 % en LT.

En las semillas de *L. sativa*, con el BFL al 5 %, la mayor reducción respecto al control se dio en el T6 (26.86 % en CRR, 45.32 % en IG y 20.15 % en LT), mientras que usando el BFL al 20 %, y contemplando todos los tratamientos, la reducción varió del 36.56 al 62.36 % en CRR, del 52.08 al 69.39 % en IG y del 28.22 al 57.13 % en LT. En las semillas de *D. carota*, con el BFL al 5 %, la mayor reducción respecto al control se dio en el T6 (32.64 % en CRR, 45.91 % en IG y 55.27 % en LT), mientras que usando el BFL al 20 %, y contemplando todos los tratamientos, la reducción varió del 21.06 al 55 % en CRR, del 38.86 al 63.09 % en IG y del 55.48 al 70.77 % en LT.

**Tabla 6.** Efectos de las diferentes concentraciones de los diferentes BFL sobre el crecimiento y germinación de cuatro especies de hortalizas.

| Tratamientos | Parámetros | Especies                |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                         |  |  |  |  |
|--------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--|--|--|--|
|              |            | Daucus carota L.        |                         |                         |                         |                         |                         | Lactuca sativa L.       |                         |                         |                         |                         |                         | Raphanus sativus L.     |                         |                         |                         |                         |                         | Cucumis sativus L.      |                         |  |  |  |  |
|              |            | Concentraciones de BFL  |                         |                         |                         | Concentraciones de BFL  |                         |                         |                         | Concentraciones de BFL  |                         |                         |                         | Concentraciones de BFL  |                         |                         |                         | Concentraciones de BFL  |                         |                         |                         |  |  |  |  |
|              | 0%         | 5%                      | 10%                     | 20%                     | 0%                      | 5%                      | 10%                     | 20%                     | 0%                      | 5%                      | 10%                     | 20%                     | 0%                      | 5%                      | 10%                     | 20%                     | 0%                      | 5%                      | 10%                     | 20%                     |                         |  |  |  |  |
| T1           | PGR        | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 9888 <sup>8</sup> ± 1.1 | 9000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 8555 <sup>5</sup> ± 1.1 | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 8666 <sup>6</sup> ± 1.1 | 7000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 9777 <sup>7</sup> ± 1.1 | 9333 <sup>3</sup> ± 1.1 | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 9555 <sup>5</sup> ± 1.1 | 9000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 9555 <sup>5</sup> ± 1.1 | 9000 <sup>0</sup> ± 1.1 |  |  |  |  |
|              | GRR        | 77.92 ± 1.6             | 72.25 ± 1.4             | 66.82 ± 1.1             | 61.51 ± 1.0             | 96.27 ± 1.9             | 95.82 ± 1.9             | 74.92 ± 1.5             | 61.07 ± 1.2             | 127.2 ± 2.5             | 124.4 ± 2.5             | 116.8 ± 2.3             | 111.7 ± 2.2             | 68.03 ± 1.3             | 67.63 ± 1.3             | 61.80 ± 1.2             | 53.65 ± 1.1             | 68.03 ± 1.3             | 67.63 ± 1.3             | 61.80 ± 1.2             | 53.65 ± 1.1             |  |  |  |  |
|              | IG         | 77.92 ± 1.6             | 58.41 ± 0.9             | 51.97 ± 0.9             | 47.64 ± 0.8             | 96.27 ± 1.9             | 95.82 ± 1.9             | 59.40 ± 1.1             | 46.13 ± 1               | 127.2 ± 2.5             | 124.4 ± 2.5             | 104.6 ± 2.1             | 91.3 ± 2.0              | 68.03 ± 1.3             | 67.63 ± 1.3             | 50.79 ± 0.9             | 45.44 ± 0.9             | 68.03 ± 1.3             | 67.63 ± 1.3             | 50.79 ± 0.9             | 45.44 ± 0.9             |  |  |  |  |
|              | LT         | 23.54 ± 0.4             | 12.53 ± 0.2             | 11.75 ± 0.2             | 10.48 ± 0.1             | 13.25 ± 0.2             | 13.17 ± 0.2             | 10.91 ± 0.2             | 9.51 ± 0.1              | 110.8 ± 2.2             | 109.2 ± 2.2             | 88.2 ± 1.8              | 82.5 ± 1.7              | 44.52 ± 0.8             | 44.26 ± 0.8             | 37.41 ± 0.7             | 33.26 ± 0.7             | 44.52 ± 0.8             | 44.26 ± 0.8             | 37.41 ± 0.7             | 33.26 ± 0.7             |  |  |  |  |
| T2           | PGR        | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 9333 <sup>3</sup> ± 1.1 | 7888 <sup>8</sup> ± 1.1 | 71.11 ± 1.1             | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 9666 <sup>6</sup> ± 1.1 | 7444 <sup>4</sup> ± 1.1 | 5777 <sup>7</sup> ± 1.1 | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 9666 <sup>6</sup> ± 1.1 | 9333 <sup>3</sup> ± 1.1 | 8444 <sup>4</sup> ± 1.1 | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 8444 <sup>4</sup> ± 1.1 | 7555 <sup>5</sup> ± 1.1 | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 8444 <sup>4</sup> ± 1.1 | 7555 <sup>5</sup> ± 1.1 |  |  |  |  |
|              | GRR        | 77.92 ± 1.6             | 66.63 ± 1.2             | 57.35 ± 1.0             | 51.18 ± 0.9             | 96.27 ± 1.9             | 82.81 ± 1.6             | 65.88 ± 1.3             | 51.02 ± 1.0             | 127.2 ± 2.5             | 118.6 ± 2.3             | 108.0 ± 2.2             | 96.0 ± 2.1              | 68.03 ± 1.3             | 66.09 ± 1.3             | 50.67 ± 1.1             | 41.86 ± 0.9             | 68.03 ± 1.3             | 66.09 ± 1.3             | 50.67 ± 1.1             | 41.86 ± 0.9             |  |  |  |  |
|              | IG         | 77.92 ± 1.6             | 52.58 ± 0.8             | 42.61 ± 0.8             | 38.67 ± 0.7             | 96.27 ± 1.9             | 65.55 ± 1.3             | 50.95 ± 1.0             | 40.38 ± 0.8             | 127.2 ± 2.5             | 106.2 ± 2.1             | 98.7 ± 2.0              | 81.9 ± 1.9              | 68.03 ± 1.3             | 66.09 ± 1.3             | 39.35 ± 0.8             | 33.32 ± 0.7             | 68.03 ± 1.3             | 66.09 ± 1.3             | 39.35 ± 0.8             | 33.32 ± 0.7             |  |  |  |  |
|              | LT         | 23.54 ± 0.4             | 11.90 ± 0.2             | 10.07 ± 0.1             | 8.82 ± 0.1              | 13.25 ± 0.2             | 12.29 ± 0.2             | 9.87 ± 0.1              | 7.82 ± 0.1              | 110.8 ± 2.2             | 90.4 ± 1.8              | 83.5 ± 1.7              | 72.7 ± 1.5              | 44.52 ± 0.8             | 42.94 ± 0.8             | 31.68 ± 0.6             | 24.72 ± 0.5             | 44.52 ± 0.8             | 42.94 ± 0.8             | 31.68 ± 0.6             | 24.72 ± 0.5             |  |  |  |  |
| T3           | PGR        | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 9555 <sup>5</sup> ± 1.1 | 8555 <sup>5</sup> ± 1.1 | 7666 ± 1.1              | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 9777 <sup>7</sup> ± 1.1 | 8222 ± 1.1              | 6444 ± 1.1              | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 9666 ± 1.1              | 9222 ± 1.1              | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 8777 ± 1.1              | 8222 ± 1.1              | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 8777 ± 1.1              | 8222 ± 1.1              |  |  |  |  |
|              | GRR        | 77.92 ± 1.6             | 67.97 ± 1.3             | 61.64 ± 1.1             | 55.89 ± 1.0             | 96.27 ± 1.9             | 83.43 ± 1.6             | 70.38 ± 1.4             | 52.92 ± 1.1             | 127.2 ± 2.5             | 122.8 ± 2.5             | 115.3 ± 2.3             | 107.1 ± 2.1             | 68.03 ± 1.3             | 67.42 ± 1.3             | 50.01 ± 1.1             | 46.18 ± 1.0             | 68.03 ± 1.3             | 67.42 ± 1.3             | 50.01 ± 1.1             | 46.18 ± 1.0             |  |  |  |  |
|              | IG         | 77.92 ± 1.6             | 53.55 ± 0.9             | 47.93 ± 0.8             | 42.76 ± 0.7             | 96.27 ± 1.9             | 66.57 ± 1.3             | 56.54 ± 1.1             | 41.25 ± 0.9             | 127.2 ± 2.5             | 122.8 ± 2.5             | 103.4 ± 2.1             | 88.2 ± 1.9              | 68.03 ± 1.3             | 67.42 ± 1.3             | 40.75 ± 0.9             | 39.67 ± 0.8             | 68.03 ± 1.3             | 67.42 ± 1.3             | 40.75 ± 0.9             | 39.67 ± 0.8             |  |  |  |  |
|              | LT         | 23.54 ± 0.4             | 12.10 ± 0.2             | 10.52 ± 0.1             | 9.93 ± 0.1              | 13.25 ± 0.2             | 12.45 ± 0.2             | 10.43 ± 0.2             | 8.50 ± 0.1              | 110.8 ± 2.2             | 107.6 ± 2.1             | 87.9 ± 1.8              | 75.3 ± 1.6              | 44.52 ± 0.8             | 43.38 ± 0.8             | 33.31 ± 0.6             | 27.72 ± 0.6             | 44.52 ± 0.8             | 43.38 ± 0.8             | 33.31 ± 0.6             | 27.72 ± 0.6             |  |  |  |  |
| T4           | PGR        | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 8777 <sup>7</sup> ± 1.1 | 71.11 ± 1.1             | 5777 ± 1.1              | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 9000 ± 1.1              | 61.11 ± 1.1             | 4666 ± 1.1              | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 9222 ± 1.1              | 9222 ± 1.1              | 7666 ± 1.1              | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 9555 ± 1.1              | 7666 ± 1.1              | 6777 ± 1.1              | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 9555 ± 1.1              | 7666 ± 1.1              | 6777 ± 1.1              |  |  |  |  |
|              | GRR        | 77.92 ± 1.6             | 55.62 ± 1.3             | 51.06 ± 0.9             | 41.84 ± 0.7             | 96.27 ± 1.9             | 73.71 ± 1.5             | 51.29 ± 1.0             | 40.12 ± 0.8             | 127.2 ± 2.5             | 106.5 ± 2.1             | 104.7 ± 2.1             | 86.7 ± 1.9              | 68.03 ± 1.3             | 62.12 ± 1.2             | 41.57 ± 1.0             | 31.21 ± 0.8             | 68.03 ± 1.3             | 62.12 ± 1.2             | 41.57 ± 1.0             | 31.21 ± 0.8             |  |  |  |  |
|              | IG         | 77.92 ± 1.6             | 45.92 ± 1               | 38.24 ± 0.7             | 31.52 ± 0.5             | 96.27 ± 1.9             | 57.87 ± 1.2             | 40.97 ± 0.8             | 31.80 ± 0.6             | 127.2 ± 2.5             | 90.7 ± 1.8              | 89.4 ± 1.9              | 73.0 ± 1.7              | 68.03 ± 1.3             | 50.45 ± 1.0             | 36.89 ± 0.8             | 23.88 ± 0.7             | 68.03 ± 1.3             | 50.45 ± 1.0             | 36.89 ± 0.8             | 23.88 ± 0.7             |  |  |  |  |
|              | LT         | 23.54 ± 0.4             | 10.67 ± 0.1             | 8.98 ± 0.1              | 7.33 ± 0.1              | 13.25 ± 0.2             | 11.47 ± 0.2             | 8.21 ± 0.1              | 6.27 ± 0.1              | 110.8 ± 2.2             | 82.4 ± 1.7              | 75.2 ± 1.6              | 63.2 ± 1.5              | 44.52 ± 0.8             | 37.50 ± 0.7             | 25.45 ± 0.5             | 19.44 ± 0.5             | 44.52 ± 0.8             | 37.50 ± 0.7             | 25.45 ± 0.5             | 19.44 ± 0.5             |  |  |  |  |
| T5           | PGR        | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 90.00 ± 1.1             | 75.55 ± 1.1             | 63.33 ± 1.1             | 100 <sup>0</sup> ± 1.1  | 92.22 ± 1.1             | 66.66 ± 1.1             | 51.11 ± 1.1             | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 95.55 ± 1.1             | 92.22 ± 1.1             | 84.44 ± 1.1             | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 98.88 ± 1.1             | 82.22 ± 1.1             | 71.11 ± 1.1             | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 98.88 ± 1.1             | 82.22 ± 1.1             | 71.11 ± 1.1             |  |  |  |  |
|              | GRR        | 77.92 ± 1.6             | 61.76 ± 1.1             | 52.26 ± 0.9             | 46.32 ± 0.7             | 96.27 ± 1.9             | 78.38 ± 1.6             | 57.91 ± 1.1             | 45.32 ± 0.9             | 127.2 ± 2.5             | 113.3 ± 2.2             | 104.8 ± 2.1             | 91.2 ± 2.0              | 68.03 ± 1.1             | 65.05 ± 1.2             | 47.14 ± 1.0             | 33.21 ± 0.8             | 68.03 ± 1.1             | 65.05 ± 1.2             | 47.14 ± 1.0             | 33.21 ± 0.8             |  |  |  |  |
|              | IG         | 77.92 ± 1.6             | 48.28 ± 0.9             | 41.44 ± 0.7             | 35.45 ± 0.6             | 96.27 ± 1.9             | 60.42 ± 1.2             | 45.80 ± 0.9             | 34.87 ± 0.7             | 127.2 ± 2.5             | 95.7 ± 2.0              | 90.2 ± 1.9              | 79.3 ± 1.8              | 68.03 ± 1.1             | 55.54 ± 1.0             | 40.68 ± 0.8             | 25.58 ± 0.7             | 68.03 ± 1.1             | 55.54 ± 1.0             | 40.68 ± 0.8             | 25.58 ± 0.7             |  |  |  |  |
|              | LT         | 23.54 ± 0.4             | 11.17 ± 0.2             | 9.87 ± 0.1              | 7.98 ± 0.1              | 13.25 ± 0.2             | 11.68 ± 0.2             | 8.85 ± 0.1              | 6.93 ± 0.1              | 110.8 ± 2.2             | 89.1 ± 1.7              | 81.2 ± 1.6              | 67.4 ± 1.5              | 44.52 ± 0.8             | 40.18 ± 0.7             | 28.39 ± 0.6             | 22.84 ± 0.6             | 44.52 ± 0.8             | 40.18 ± 0.7             | 28.39 ± 0.6             | 22.84 ± 0.6             |  |  |  |  |
| T6           | PGR        | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 85.55 ± 1.1             | 63.33 ± 1.1             | 51.11 ± 1.1             | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 87.77 ± 1.1             | 57.77 ± 1.1             | 40.00 ± 1.1             | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 91.11 ± 1.1             | 85.55 ± 1.1             | 71.11 ± 1.1             | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 92.22 ± 1.1             | 72.22 ± 1.1             | 62.22 ± 1.1             | 1000 <sup>0</sup> ± 1.1 | 92.22 ± 1.1             | 72.22 ± 1.1             | 62.22 ± 1.1             |  |  |  |  |
|              | GRR        | 77.92 ± 1.6             | 52.49 ± 0.9             | 45.75 ± 0.8             | 35.06 ± 0.6             | 96.27 ± 1.9             | 70.41 ± 1.5             | 46.74 ± 1.0             | 36.23 ± 0.7             | 127.2 ± 2.5             | 99.2 ± 2.2              | 95.6 ± 2.0              | 77.2 ± 1.8              | 68.03 ± 1.3             | 54.95 ± 1.1             | 34.19 ± 0.9             | 25.31 ± 0.8             | 68.03 ± 1.3             | 54.95 ± 1.1             | 34.19 ± 0.9             | 25.31 ± 0.8             |  |  |  |  |
|              | IG         | 77.92 ± 1.6             | 42.15 ± 0.8             | 32.16 ± 0.6             | 28.76 ± 0.5             | 96.27 ± 1.9             | 52.64 ± 1.1             | 35.15 ± 0.8             | 29.46 ± 0.5             | 127.2 ± 2.5             | 88.5 ± 2.0              | 82.3 ± 1.8              | 66.6 ± 1.6              | 68.03 ± 1.3             | 46.72 ± 0.9             | 26.44 ± 0.7             | 19.24 ± 0.6             | 68.03 ± 1.3             | 46.72 ± 0.9             | 26.44 ± 0.7             | 19.24 ± 0.6             |  |  |  |  |
|              | LT         | 23.54 ± 0.4             | 10.53 ± 0.1             | 8.11 ± 0.1              | 6.88 ± 0.1              | 13.25 ± 0.2             | 10.58 ± 0.2             | 7.75 ± 0.1              | 5.68 ± 0.1              | 110.8 ± 2.2             | 81.9 ± 1.7              | 68.1 ± 1.6              | 57.5 ± 1.4              | 44.52 ± 0.8             | 34.86 ± 0.7             | 23.57 ± 0.5             | 17.69 ± 0.4             | 44.52 ± 0.8             | 34.86 ± 0.7             | 23.57 ± 0.5             | 17.69 ± 0.4             |  |  |  |  |

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los valores son la media  $\pm$  desviación estándar ( $n = 1440$ ). Porcentaje de Germinación Relativo (GRR), Crecimiento Relativo de Raíz (CRR), Índice de Germinación Total (LT), longitud de raíz  $\pm$  hipocotilo. T1 = BFL de estiércol bovino; T2 = BFL de *Bacopa monnieri* (L.) Wettst; T3 = BFL de *Distichlis spicata* L.; T4 = BFL de *Heliotropium curassavicum* L.; T5 = BFL de *Flaveria trinervia* (Spreng.) C. Mohr; T6 = BFL de *Sesuvium veruocum* Raf.

## DISCUSIÓN

### BFL producidos a partir de halófitas

La eficiencia de los BFL está sujeta a diversos factores, como: el método de preparación, el tiempo de DA, la temperatura dentro del biodigestor (mesófila, termófila), el estado fenológico y los microorganismos endógenos de las plantas (Bitew y Alemayehu, 2017; de-Oliveira-Neto *et al.*, 2017).

Por lo que autores como Kumar-Pramanik *et al.* (2019) y Tuszynska *et al.* (2021) sugieren periodos de 30 a 70 días para la obtención de los BFL; es el tiempo en que normalmente termina la producción de biogás (Pham-Van *et al.*, 2020). Sin embargo, autores como Pérez-Méndez *et al.* (2017), sugieren un periodo de 120 días, para obtener un BFL estable y maduro. Por lo tanto, en la presente investigación se consideró adecuado un periodo de 150 d, puesto que, de acuerdo con Mupambwa *et al.* (2020) largos periodos de degradación generan abonos orgánicos con mayor contenido nutricional.

De acuerdo con Barampouti *et al.* (2020), los valores de pH para BFL obtenidos a partir de residuos vegetales (plantas), se encuentra entre 7 y 8.4. Valores similares a los obtenidos en la presente investigación (Tabla 3). En cuanto a la CE de los BFL, Valentinuzzi *et al.* (2020) reportan un valor de  $4.6 \text{ dS m}^{-1}$  para un BFL obtenido de la Biogas Wipptal plant y un valor de  $9.4 \text{ dS m}^{-1}$  para el obtenido a partir de estiércol bovino; este último valor coincide con el reportado en la presente investigación. Sin embargo, la CE de los BFL obtenidos a partir de halófitas, es mayor a  $4.6 \text{ dS m}^{-1}$  (entre  $5.15$  y  $6.18 \text{ dS m}^{-1}$ ) lo cual puede explicarse debido a que presentan un mayor contenido de los cationes:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  (Santoyo-de-la-Cruz *et al.*, 2021). Aunque, cabe aclarar que el hecho de que la CE de los BFL sea elevada, no significa que se descarte su potencial función como biofertilizante, pues normalmente los BFL se utilizan disueltos en agua a razones que van del 5 al 25 % (Möller & Müller, 2012; Ladan *et al.*, 2020).

Otro de los aspectos importantes a considerar es el contenido nutricional de los BFL. Dicho esto, los BFL obtenidos a partir de halófitas (Tabla 3), presentan concentraciones de  $\text{N}_{\text{total}}$ ,  $\text{C}_{\text{total}}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , significativamente menores a las de productos similares elaborados con estiércol bovino, porcino, de cuy y gallinaza (Medina *et al.*, 2015), únicamente comparándose al contenido nutricional obtenido en BFL de estiércol ovino y al de la Fattoria della Piana, elaborado con estiércol de animales (aves de corral, vacas y ovejas), bagazo de aceituna y pulpa de cítricos (Medina *et al.*, 2015; Panuccio *et al.*, 2019).

Por otro lado, el aspecto más importante a considerar en los BFL obtenidos a partir de halófitas (T2 al T6; ver tabla 3), es su contenido en  $\text{Na}^+$ , el cual supera los  $2000 \text{ mg L}^{-1}$  en todos los tratamientos. Sin embargo, estudios como el realizado por Medina *et al.* (2015), indican que el BFL de estiércol porcino presenta concentraciones de  $\text{Na}^+$  de  $3400 \text{ mg L}^{-1}$ , mientras que BFL elaborados a partir de estiércol bovino ( $1040 \text{ mg L}^{-1}$ ), ovino ( $560 \text{ mg L}^{-1}$ ) y cuy ( $542 \text{ mg L}^{-1}$ ) presentan concentraciones de  $\text{Na}^+$  considerablemente más bajas. Por otro lado, Panuccio *et al.* (2021) reportan concentraciones de  $3500 \text{ mg}$

$\text{L}^{-1}$  de  $\text{Na}^+$  en un BFL obtenido a partir de la combinación de estiércol animal (aves de corral, vacas y ovejas), suero de leche y ensilado de maíz. Por lo tanto, el contenido en  $\text{Na}^+$ , de los BFL obtenidos a partir de halófitas, no es elevado.

### Imbibición de semillas

Altas concentraciones de NaCl (50, 100 y 200 mM), generan que disminuya la movilidad del agua y, por ende, también la velocidad de imbibición de las semillas, lo que afecta directamente a la síntesis de biopolímeros, proteínas, ácidos nucleicos y la cantidad de hormonas reguladoras de las células vegetales (Orlovsky *et al.*, 2016; Lastiri-Hernández *et al.*, 2017). En general, estos aspectos limitan la intensidad de los procesos de crecimiento conforme se desarrollan en la posterior etapa de germinación, donde intervienen algunos mecanismos fisiológicos de arranque relacionados con los primeros ciclos de división y diferenciación celular que surgen en el embrión, independientes de los productos de la hidrólisis de las sustancias de reserva de las semillas (Obroucheva, 2021).

Sumado a lo anterior, en la presente investigación, la respuesta diferencial entre las semillas de las diferentes especies (Tabla 5) podría deberse a que cada genotipo requiere un porcentaje crítico de agua para la germinación, producto de la dependencia de la naturaleza química de su reserva y compuestos estructurales (Acosta-Motos *et al.*, 2017), lo cual se pudo verificar cuando las semillas de las diferentes variedades evaluadas mostraron una reducción en su PGR mediante la aplicación de diferentes concentraciones de BFL (Tabla 6).

Sin embargo, las concentraciones de BFL utilizadas (5, 10 y 20 %), representan concentraciones por debajo de 50 mM de NaCl, lo cual explica por qué la disminución en el porcentaje de imbibición no fue drástica (Tabla 5), tal como si sucedió en el trabajo realizado por Lastiri-Hernández *et al.* (2017), donde se utilizaron semillas de especies forrajeras y concentraciones más elevadas de NaCl (50, 100 y 200 mM).

### Germinación de semillas hortícolas

La salinidad es uno de los estreses abióticos más comunes que reduce tanto la capacidad de germinación como el potencial de emergencia de diversas especies hortícolas (Rouphael *et al.*, 2018; Sium *et al.*, 2019; Tarchoun *et al.*, 2022). En su investigación, Flowers *et al.* (2015) han indicado que el aumento de la concentración de iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  induce un aumento en la toxicidad iónica, el estrés hídrico y la reducción del potencial osmótico en las semillas, lo que se ve reflejado en la inhibición de la germinación y crecimiento de las especies hortícolas evaluadas; principalmente con concentraciones de BFL al 10 y 20 %, como se pudo comprobar al observar la reducción en su PGR, CRR, IG y LT (Tabla 6).

Sumado a lo anterior, es importante mencionar que los abonos orgánicos, como es el caso de los BFL, pueden presentar metabolitos fitotóxicos. Dicha fitotoxicidad generada por los metabolitos afecta el desarrollo de las especies hortícolas, es decir, pueden limitar el crecimiento de las plantas

y también impedir y/o retrasar su germinación (Urriola *et al.*, 2021).

De acuerdo con Emino y Warman, (2004) y Varnero *et al.* (2007), si el índice de germinación es inferior al 50 %, el material evaluado (en este caso el BFL) presenta una alta fitotoxicidad. Si estuvo entre 50 y 80 %, la fitotoxicidad fue moderada, y si su valor fue mayor a 80 %, el material no presentó fitotoxicidad. Por lo tanto, el presente estudio pudo verificar que, todas las especies hortícolas evaluadas con BFL al 5 % (Tabla 6) no presentaron fitotoxicidad alguna. En cambio, usando los BFL al 10 %, las semillas de *L. sativa* y *D. carota* en el T2, T4, T5 y T6 y las semillas de *C. sativus* en los T4 y T6, mostraron toxicidad moderada. Mientras que, usando los BFL al 20 % las semillas de *L. sativa* en los T4 y T6 presentaron una alta toxicidad. De acuerdo con Sarker *et al.* (2014) las semillas de *R. sativus* L., en presencia de un nivel de salinidad de 2 dS m<sup>-1</sup> presentan un PGR=100 %, mientras que con un nivel de 4 dS m<sup>-1</sup> presentan un PGR= 86.67 %. En la presente investigación, todos los BFL evaluados al 5, 10 y 20 %, se encuentran dentro de dicho intervalo; excepto los T4 y T6 usando BFL al 20 %, los cuales se encuentran cercanos a un nivel de salinidad de 8 dS m<sup>-1</sup>. En cuanto al IG, los resultados de los BFL al 5, 10 y 20 %, fueron similares a los obtenidos por Krishnasamy *et al.* (2014) usando extractos de vermicompost (aserrín + biosol (desechos vegetales)), pero se encontraron por encima de los resultados obtenidos por Lastiri-Hernández *et al.* (2023) usando extractos de compost y vermicompost de *S. verrucosum*; ambas combinadas con diferentes cantidades de estiércol bovino. Respecto al CRR y LT, los resultados obtenidos con los BFL a partir de halófitas fueron significativamente mayores a los obtenidos por Sarker *et al.* (2014).

Respecto a las semillas de *L. sativa* L., el PGR, IG, CRR y LT obtenido en todos los tratamientos, utilizando los BFL al 5 % (Tabla 6), se asemejan a los resultados presentados por Medina *et al.* (2015) usando un BFL realizado a partir de estiércol ovino. Sin embargo, los resultados utilizando los BFL al 10 y 20 % se encuentran muy por debajo de los reportados por Medina *et al.* (2015). Por otro lado, para el PGR, Reina *et al.* (2020) usando una concentración salina de 0.045 M de NaCl, reporta resultados que representan un decremento aproximado del 40 %, comparado con los obtenidos con los BFL al 5 %, pero muy similares a los obtenidos usando los BFL al 10 y 20 %.

Hablando de *C. sativus* L., los resultados de PGR obtenidos en todos los tratamientos con BFL al 5, 10 y 20 %, son similares a los reportados por Abdel-Farid *et al.* (2020) usando respectivamente una concentración salina de 25, 50 y 100 mM de NaCl. Respecto a IG, CRR y LT, los resultados obtenidos con los BFL tanto al 5, 10 y 20 % (Tabla 6), son significativamente menores a los obtenidos por Baghbani *et al.* (2013) usando diferentes concentraciones salinas.

En cambio, en el caso particular de *D. carota* L., Bolton y Simon, (2019), reportan valores de PGR de 81.6 % utilizando una concentración salina de 150 mM, por lo cual, en la presente investigación solo los BFL usados al 5 % y los T1 y T3 usando los BFL al 10 %, superan dicho valor de PGR. El resto

de los tratamientos usando BFL al 10 % y todos los tratamientos con BFL al 20 %, se encuentran considerablemente por debajo.

Al comparar los resultados, es evidente que la respuesta frente a los BFL realizados, depende de la variación genética del germoplasma estudiado y su tolerancia a la salinidad (Tarchoun *et al.*, 2022).

## CONCLUSIÓN

Se encontró que, de las cuatro especies hortícolas evaluadas, *R. sativus* fue la especie más tolerante a los diferentes niveles de concentración (5, 10 y 20 %) de BFL, seguida de *C. sativus*. En tanto que *D. carota* y *L. sativa*, fueron las especies que presentaron el mayor grado de afectación a partir de una concentración de BFL de 10 % lo cual se reflejó en el tamaño de la radícula y en la longitud del hipocótilo de estas mismas especies. Mientras que a una concentración de BFL del 20 %, todas las especies mostraron la mayor reducción en cuanto a IG, CRR, PGR y LT. Sin embargo, la concentración de BFL al 5%, mostró el mayor CRR, PGR, LT y un IG por encima del 85.55 % en todas las especies hortícolas evaluadas y con todos los tipos de BFL empleados. Por lo tanto, el uso del BFL, elaborados con halófitas, en dosis bajas (5 - 10 %) no representa un riesgo en la germinación y emergencia de especies hortícolas sensibles a la salinidad. Es por ello, que la producción de BFL elaborados a partir de halófitas, se posiciona como una importante estrategia agronómica que potencia el despliegue de la fitodesalinización y que proporciona una opción real para aprovechar la biomasa residual de las halófitas. Contribuyendo así a mejorar la situación económica de los sectores productivos más vulnerables y a garantizar su bienestar y desarrollo.

## REFERENCIAS

- Abdel-Farid, I.B., Radawy-Marghany, M., Mahmoud-Rowezek, M. y Gabr-Sheded, M. 2020. Effect of Salinity Stress on Growth and Metabolomic Profiling of *Cucumis sativus* and *Solanum lycopersicum*. *Plants*. 9: 1626.
- Acosta-Motos, J.R., Ortuño, M.F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sánchez-Blanco, M.J. y Hernández, J.A. 2017. Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. *Agronomy*. 7: 1-38.
- Allen, S.E. 1989. Analysis of vegetation and other organic materials. En: *Chemical Analysis of Ecological Materials*. S.E. Allen (ed.), pp 46-61. Blackwell Scientific Publications. London.
- Baghbani, A., Forghani, A.H. y Kadkhodaie, A. 2013. Study of salinity stress on germination and seedling growth in greenhouse Cucumber cultivars. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*. 3: 1137-1140.
- Balkaya, A., Yildiz, S., Horuz, A. y Murat-Doğru, S. 2016. Effects of salt stress on vegetative growth parameters and ion accumulations in cucurbit rootstock genotypes. *Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics*. 2: 11-24.
- Barampouti, E.M., Mai, S., Malamis, D., Moustakas, K. y Loizidou, M. 2020. Exploring technological alternatives of nutrient recovery from digestate as a secondary resource. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 134: 1-12.

- Beetle, A.A., Manrique, E.F., Jaramillo, V.L., Guerrero, P.S., Miranda, J.S., Nuñez, I.T. y Chimal, A.H. 1987. Las gramíneas de México. 1ª ed. Comisión Técnico-Consultiva de Coeficientes de Agostadero, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México.
- Bitew, Y. y Alemayehu, M. 2017. Impact of crop production inputs on soil health: A review. *Asian Journal of Plant Sciences*. 16: 109-131.
- Bolton, A. y Simon, P. 2019. Variation for salinity tolerance during seed germination in diverse carrot [*Daucus carota* (L.)] germplasm. *HortScience*. 54: 38-44.
- Bremner, J.M. y Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen-Total. En: *Methods of soil analysis*. Part 2. Chemical and microbiological properties. Vol. 2. A.L. Page, R.H. Miller y D.R. Keeney (ed.), pp 595-624. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.
- de-Oliveira-Neto, H.T., de-Oliveira-Gondim, A.R., da-Silva, F. V., Souto, L.S., Brito, M.E.B., da-Silva, M.S. y de-Lira, R.P. 2017. Growth, gas exchanges and production of beet cv. Katrina under organo-mineral fertilization. *Bioscience Journal*. 33: 1126-1133.
- Emino, E.R. y Warman, P.R. 2004. Biological assay for compost quality. *Compost Science & Utilization*. 12: 342-348.
- Espinosa-García, F.J., Sarukhán, J. 1997. Manual de malezas del valle de México. Ediciones Científicas Universitarias UNAM-Fondo de Cultura Económica. México.
- Flowers, T.J., Munns, R. y Colmer, T.D. 2015. Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. *Annals of Botany*. 115: 419-431.
- Franco-Hernández, M.O., Vásquez-Murrieta, M.S., Patiño-Siciliano, A. y Dendooven, L. 2010. Heavy metals concentration in plants growing on mine tailings in Central Mexico. *Bioresource Technology*. 101: 3864-3869.
- Hernández-Chontal, M.A., López-Collado, C.J., Rodríguez-Orozco, N., Velasco-Velasco, J., Linares-Gabriel, A. y López-Romero, G. 2019. Nutrient content of fermented fertilizers and its efficacy in combination with hydrogel in *Zea mays* L. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*. 8: 309-315.
- Kandil, A.A., Shareif, A.E. y Gad, M.A. 2017. Effect of salinity on germination and seeding parameters of forage cowpea seed. *Research Journal of Seed Science*. 10: 17-26.
- Kaur, G., Wong, J.W.C., Kumar, R., Patria, R.D., Bhardwaj, A., Uisan, K. y Johnravindar, D. 2020. Value Addition of Anaerobic Digestate From Biowaste: Thinking Beyond Agriculture. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*. 7: 48-55.
- Kumar-Pramanik, S., Binti-Suja, F., Md-Zain, S. y Kumar-Pramanik, B. 2019. The anaerobic digestion process of biogas production from food waste: Prospects and constraints. *Bioresource Technology Reports*. 8: 100310.
- Krishnasamy, K., Nair, J. y Bell, R. 2014. Evaluation of anaerobic digestate as a substrate for vermicomposting. *International Journal of Environment and Waste Management*. 14: 149-64.
- Lastiri-Hernández, M.A., Álvarez-Bernal, D., Soria-Martínez, L.H., Ochoa-Estrada, S. y Cruz-Cardenas, G. 2017. Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de siete especies forrajeras. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8: 1245-1257.
- Lastiri-Hernández, M.A., Álvarez-Bernal, D., Ochoa-Estrada, S. y Contreras-Ramos, S.M. 2019. Potential of *Bacopa monnieri* (L.) Wettst and *Sesuvium verrucosum* Raf. as an agronomic management alternative to recover the productivity of saline soils. *International Journal of Phytoremediation*. 22: 343-352.
- Lastiri-Hernández, M.A., Álvarez-Bernal, D. y Ochoa-Estrada, S. 2020. Valoración económica de dos prácticas de desalinización: caso de estudio Villamar-Michoacán, México. *Revista Científica Ecociencia*. 7: 57-75.
- Lastiri-Hernández, M.A., Álvarez-Bernal, D., Conde-Barajas, E. y García-Miranda, J.G. 2021. Biosaline agriculture: an agronomic proposal for onion (*Allium cepa* L.) production. *International Journal of Phytoremediation*. 23: 1301-1309.
- Lastiri-Hernández, M.A., Álvarez-Bernal, D., Conde-Barajas, E., Flores-Magallón, R., Silva-García, J.T. y Cruz-Cárdenas, G. 2023. Effects of *Sesuvium verrucosum* Raf. Compost and vermicompost on the growth and production parameters of the *Solanum lycopersicum* L., crop. *Bragantia*. 82: e20220162.
- Lastiri-Hernández, M. A., Cruz-Cárdenas, G., Álvarez-Bernal, D., Vázquez-Sánchez, M., & Bermúdez-Torres, K. 2020. Ecological niche modeling for halophyte species with possible anthropogenic use in agricultural saline soils. *Environmental Modeling & Assessment*. 25: 429-440.
- Ladan, W.H., Abba, H., Sale, A.I., Mardiyah, A.Y. y Yahaya, S.M. 2020. Organic liquid fertilizer for sustainable crop yield (A review). *Biosciences Journal FUDMA*. 1: 75-87.
- Larney, F.J. y Angers, D.A. 2012. The role of organic amendments in soil reclamation: A review. *Canadian Journal of Soil Science*. 92: 19-38.
- Majeed, A. y Muhammad, Z. 2019. Salinity: A major agricultural problem-causes, impacts on crop productivity and Management Strategies. En: *Plant Abiotic Stress Tolerance: Agronomic, Molecular, and Biotechnological Approaches*. M. Hasanuzzaman, K.R. Hakeem, K. Nahar y H.F. Alharby (ed.), pp 83-99. Springer. Cham, Switzerland.
- Matichenkov, V.V. y Bocharnikova, E.A. 2022. Location and Redistribution of Silicon in Halophytes *Distichlis spicata* and Glycophyte *Hordeum vulgare* Under Salt Exposure. *Silicon*. 1: 1-8.
- McVaugh, R. 1984. *Flora Novo-Galiciana: Compositae*. University of Michigan press. Michigan, USA.
- Medina, A., Quipuzco, U.L. y Juscamaíta, M.J. 2015. Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores. *Anales científicos*. 76: 116-124.
- Mehta, J., Utkarsh, K., Fuloria, S., Singh, T., Sekar, M., Salaria, D. y Fuloria, N.K. 2022. Antibacterial Potential of *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. and Its Bioactive Molecules against Uropathogens—An In Silico Study to Identify Potential Lead molecule (s) for the development of new drugs to treat urinary tract infections. *Molecules*. 27: 4971.
- Möller, K. y Müller, T. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*. 12: 242-257.
- Mupambwa, H.A., Ravindran, B., Dube, E., Lukashe, N.S., Katakula, A.A. y Mnkeni, P.N. 2020. Some perspectives on Vermicompost utilization in organic agriculture. En: *Earthworm Assisted Remediation of Effluents and Wastes*. S.A. Bhat, A.P. Vig, P. Li y B. Ravindran (ed.), pp 299-331. Springer. Singapore.
- Nelson, D.W. y Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. En: *Methods of Soil Analysis*. Part 3. D. L. Sparks, *et al.*, (ed.), pp 961-1010. SSSA Book Series. Madison, Wisconsin, USA.
- Nikalje, G.C., Srivastava, A.K., Pandey, G.K. y Suprasanna, P. 2018.

- Halophytes in biosaline agriculture: Mechanism, utilization, and value addition. *Land Degradation and Development*. 29: 1091-1095.
- Obroucheva, N.V. 2021. Germination program in non-dormant seeds: Programming, saving and implementation. *Russian Journal of Plant Physiology*. 68: 1003-1017.
- Orlovsky, N., Japakova, U., Zhang, H. y Volis, S. 2016. Effect of salinity on seed germination, growth and ion content in dimorphic seeds of *Salicornia europaea* L. (Chenopodiaceae). *Plant Diversity*. 38: 183-189.
- Pablo-Pérez, M., Lagunes-Espinoza, L.D.C., López-Upton, J., Ramos-Juárez, J. y Aranda-Ibáñez, E.M. 2013. Morfometría, germinación y composición mineral de semillas de lupinus silvestres. *Bioagro*. 25: 101-108.
- Panuccio, M.R., Papalia, T., Attinà, E., Giuffrè, A. y Muscolo, A. 2019. Use of digestate as an alternative to mineral fertilizer: effects on growth and crop quality. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 65: 700-711.
- Panuccio, M.R., Mallamaci, C., Attinà, E. y Muscolo, A. 2021. Using Digestate as Fertilizer for a Sustainable Tomato Cultivation. *Sustainability*. 13: 1574.
- Pérez-Méndez, M., Peña-Peña, E., Hechemendía-Lago, S.A., Yero-Batista, Y. y Hechavarría-Hernández, A. 2017. Producción de biol y determinación de sus características fisicoquímicas. *Ojeando la Agenda*. 48: 6-17.
- Pham-Van, D., Fujiwara, T., Leu-Tho, B., Song-Toan, P.P. y Hoang-Minh, G. 2020. A review of anaerobic digestion systems for biodegradable waste: Configurations, operating parameters, and current trends. *Environmental Engineering Research*. 25: 1-17.
- Pothiraj, C., Balaji, P., Shanthi, R., Gobinath, M., Suresh-Babu, R., Munirah, A.A.D., Ashraf, A.H., Ramesh-Kumar, K., Veeramaniandan, V. y Arumugam, R. 2021. Evaluating antimicrobial activities of *Acanthus ilicifolius* L., and *Heliotropium curassavicum* L., against bacterial pathogens: an *in-vitro* study. *Journal of Infection and Public Health*. 14: 1927-1934.
- Rabhi, M., Atia, A., Abdelly, C. y Smaoui, A. 2015. New parameters for a better evaluation of vegetative bioremediation, leaching, and phytodesalination. *Journal of Theoretical Biology*. 383: 7-11.
- Rabhi, M., Ferchichi, S., Jouini, J., Hamrouni, M. H., Koyro, H. W., Ranieri, A. & Smaoui, A. 2010. Phytodesalination of a salt-affected soil with the halophyte *Sesuvium portulacastrum* L. to arrange in advance the requirements for the successful growth of a glycophytic crop. *Bioresource technology*. 101: 6822-6828.
- Reina, S., Correa, M. y Freire, D. 2020. Toxicidad producida por compuestos salinos en el proceso de germinación de *Lactuca sativa*. *Revista Minerva de Investigación Científica*. 1: 5-12.
- Rouphael, Y., Petropoulos, S.A., Cardarelli, M. y Colla, G. 2018. Salinity as eustress or for enhancing quality of vegetables. *Scientia Horticulturae*. 234: 361-369.
- Rzedowski, G.C. y Rzedowski, J. 1985. Flora fanerogámica del valle de México. Vol.2, Dicotyledoneae (Euphorbiaceae-Compositae). 1ª edición. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional e Instituto de Ecología. México.
- Samaniego, J.J. 2022. Preparación de biol a partir de residuos orgánicos. *Red de Biodigestores para Latino América y el Caribe*. 6: 51-55.
- Santoyo-de-la-Cruz, M.F., Flores-Magdaleno, H., Khalil-Gardezi, A., Mancilla-Villa, O.R. y Rubiños-Panta, J.E. 2021. Composición iónica y comparación de índices de salinidad de suelo agrícola de Texcoco, México. *Nova Scientia*. 13: 1-20.
- Sarker, A., Hossain, M.I. y Kashem, M.A. 2014. Salinity (NaCl) tolerance of four vegetable crops during germination and early seedling growth. *International Journal of Latest Research in Science and Technology*. 3: 91-95.
- SAS institute Inc. 2004. SAS 9.1. 3 help and documentation. Cary SAS Inst Inc., :5136.
- Singh, B. y Sharma, R.A. 2017. Pyrrolizidine Alkaloids and their Biological Properties from Indian *Heliotropium* Species. *Current Bioactive Compounds*. 15: 3-18.
- Sium, A., Shawon, A., Swapan Kumar, R., Sun Hee, W., Kailas Dashrath, S. y Shohael, A.M. 2019. Effect of salinity on the morphological, physiological, and biochemical properties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Bangladesh. *Open Agriculture*. 4: 361-373.
- Surwase, U.S. y Patil, S.M. 2022. Analgesic and Anti-Inflammatory Effects of Methanolic Extraction of *Flaveria trinervia* Leaves. *Journal of Pharmaceutical Science and Research*. 14: 701-704.
- Taha, A. y Alsayed, H. 2000. Brine Shrimp Bioassay of Ethanol Extracts of *Sesuvium verrucosum*, *Salsola baryosma* and *Zygophyllum quatarense* Medicinal Plants from Bahrain. *Phytotherapy Research*. 14: 48-50.
- Tarchoun, N., Saadaoui, W., Mezghani, N., Pavli, O.I., Falleh, H. y Petropoulos, S.A. 2022. The effects of salt stress on germination, seedling growth and biochemical responses of tunisian squash (*Cucurbita maxima* Duchesne) germplasm. *Plants*. 11: 800.
- Terrazas-Rueda, J.M. 2019. Aprovechamiento del suelo salino: agricultura salina y recuperación de suelos. *Apthapi*. 5: 1539-1563.
- Tiquia, S.M. 2010. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere*. 79: 506-512.
- Tuszynska, A., Wilinska, A. y Czerwionka, K. 2021. Phosphorus and nitrogen forms in liquid fraction of digestates from agricultural biogas plants. *Environmental Technology*. 42: 3942-3954.
- Urriola, L., Castillo, K.M. y Vergara, M.D. 2021. Evaluación de la fitotoxicidad de abonos orgánicos comerciales usando semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.). *Revista Semilla Del Este*. 1: 1-11.
- Valentinuzzi, F., Cavani, L., Porfido, C., Terzano, R., Pii, Y., Cesco, S., Marzadori, C. y Mimmo, T. 2020. The fertilising potential of manure-based biogas fermentation residues: pelleted vs. liquid digestate. *Heliyon*. 6: e03325.
- Varnero, M.M.T., Rojas, A.C. y Orellana, R.R. 2007. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Revista de la Ciencias del Suelo y Nutrición Vegetal*. 7: 28-37.
- Yu, L., Qiao, X., Duan, H., Zhang, Z., Gong, L., Li, X., Lu, J. y Li, X. 2022. Life cycle assessment of liquid digestate application strategies for rice agri-food chain in "Zero-waste City". *Biomass Conversion and Biorefinery*. 1: 1-13.
- Zhang, H., Irving, L.J., McGill, C., Matthew, C., Zhou, D. y Kemp, P. 2010. The effects of salinity and osmotic stress on barley germination rate: sodium as an osmotic regulator. *Annals of Botany*. 106: 1027-1035.
- Zucconi, F., Pera, A., Forte, M. y Bertoldi, M. 1981. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle*. 1: 54-57.