UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE LA FITOTOXICIDAD DE SUSTRATOS EN BASE A MEZCLAS DE TURBA Y BORRA DE CAFÉ FRESCA EN RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*) Y ESTÁTICE (*LIMONIUM SINUATUM*)

POR

MARÍA PAZ LANDAHUR NOVA

MEMORIA PRESENTADA A LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO.

CONCEPCIÓN – CHILE
2025

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE LA FITOTOXICIDAD DE SUSTRATOS EN BASE A MEZCLAS DE TURBA Y BORRA DE CAFÉ FRESCA EN RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*) Y ESTÁTICE (*LIMONIUM SINUATUM*)

POR

MARÍA PAZ LANDAHUR NOVA

MEMORIA PRESENTADA A LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO.

CONCEPCIÓN – CHILE
2025

Aprobada por:

Profesor Asociado, Inés Figueroa C
Ing. Agrónomo, Mg.Cs., Dr. _____ Guía

Profesor Asociado, Marco Sandoval E.
Ing. Agrónomo, Mg.Cs., Dr. _____ Asesor

Profesor Asociado. Christian Guajardo F.
Ing. Agrónomo, Dr. _____ Asesor

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.
Ing. Agrónomo, Mg. Sc. _____ Decano

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
Resumen …….....	1
Summary …….....	2
Introducción ……..	2
Materiales y Métodos ……..	4
Resultados y Discusión ……..	7
Conclusiones ……	13
Referencias ……...	14
Anexos …….....	17

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

		Página
Tabla 1	Tratamientos a evaluar……	5
Tabla 2	Relación turba / borra de café fresca y agua aplicada para homogenizar cada tratamiento……	6
Figura 1	Porcentaje de germinación (%) en rábano (*Raphanus sativus*) en siete proporciones (%) turba : borra de café (T1= 100 : 0; T2= 80 : 20; T3= 60 : 40; T4= 50 : 50; T5= 40 : 60; T6= 20 : 80; T7= 0 : 100)…….	8
Figura 2	Porcentaje de germinación (%) estátice (*Limonium sinuatum*) en siete proporciones (%) turba : borra de café (T1= 100 : 0; T2= 80 : 20; T3= 60 : 40; T4= 50 : 50; T5= 40 : 60; T6= 20 : 80; T7= 0 : 100)…….	9
Figura 3	Longitud radicular en rábano (*Raphanus sativus*) en siete proporciones (%) turba : borra de café (T1= 100 : 0; T2= 80 : 20; T3= 60 : 40; T4= 50 : 50; T5= 40 : 60; T6= 20 : 80; T7= 0 : 100)……	10
Figura 4	Longitud radicular (cm) en estátice (*Limonium sinuatum*) en siete proporciones (%) turba : borra de café (T1= 100 : 0; T2= 80 : 20; T3= 60 : 40; T4= 50 : 50; T5= 40 : 60; T6= 20 : 80; T7= 0 : 100)……	11
Figura 5	Longitud radicular (cm) en estátice (*Limonium sinuatum*) en siete proporciones (%) turba : borra de café (T1= 100 : 0; T2= 80 : 20; T3= 60 : 40; T4= 50 : 50; T5= 40 : 60; T6= 20 : 80; T7= 0 : 100)……	12

Figura 6 Índice de germinanción (%) en estátice (*Limonium sinuatum*) en siete proporciones (%) turba : borra de café (T1= 100 : 0; T2= 80 : 20; T3= 60 : 40; T4= 50 : 50; T5= 40 : 60; T6= 20 : 80; T7= 0 : 100)…… 13

EVALUACIÓN DE LA FITOTOXIDAD DE SUSTRATOS EN BASE A TURBA Y BORRA DE CAFÉ FRESCA EN RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*) Y ESTÁTICE (*LIMONIUM SINUATUM).*

EVALUATION OF THE PHYTOTOXICITY OF SUBSTRATE BASED ON PEAT AND FRESH SPENT COFFEE GROUNDS IN RADISH (*RAPHANUS SATIVUS*) AND LIMONIUM (*LIMONIUM SINUATUM*).

Palabras índice adicionales: porcentaje de germinación, longitud radicular, índice de germinación.

RESUMEN

La reutilización de residuos orgánicos es una práctica que va en alza y pretende dar solución a la problemática asociada a la alta producción de desechos a nivel mundial. La borra de café, corresponde al 95 % del grano que queda de residuos en cafetería y está compuesto, entre otras cosas, por compuestos fenólicos y antioxidantes que se pueden aprovechar en la industria agrícola. El objetivo de esta investigación fue evaluar parámetros tales como porcentaje de germinación, longitud radicular e índice de germinación, con la finalidad de determinar la fitotoxicidad en sustratos compuestos por mezclas de distintas proporciones de turba y borra de café fresca. Se utilizaron semillas de rábano (*Raphanus sativus*) y estátice (*Limonium sinuatum*) las cuales se incubaron en extractos de sustrato en base de 100 % turba (T1), 80 % turba + 20 % borra de café (T2), 60 % turba + 40 % borra de café (T3), 50 % turba + 50 % borra de café (T4), 40 % turba + 60 % borra de café (T5), 20 % turba + 80 % borra de café (T6) y 100 % borra de café (T7). Después de cinco días de incubación, se evaluaron los aspectos en el desarrollo vegetativo ya indicados, los resultados indicaron que, en porcentaje de germinación, fue estátice la especie que sufrió un mayor efecto fitotóxico a medida que se incrementó la borra de café fresca en el sustrato, mientras que, tanto en longitud radicular como en índice de germinación, ambas especies fueron afectadas por la fitotoxicidad de la borra de café fresca.

SUMMARY

The reuse of organic waste is a growing practice that aims to provide a solution to the problems associated with the high production of waste worldwide. Used coffee grounds correspond to 95% of the bean that remains as coffee waste and is made off, among other things, of phenolic compounds and antioxidants that can be used in the agricultural industry. The objective of this research was to evaluate parameters such as germination percentage, root length and germination index, in order to determine the phytotoxicity in substrates composed of mixtures of different proportions of peat and fresh coffee grounds. Seeds of radish (*Raphanus sativus*) and statice (*Limonium sinuatum*) were incubated in substrate extracts based on 100 % peat (T1), 80 % peat + 20 % used coffee grounds (T2), 60 % peat + 40 % used coffee grounds (T3), 80 % peat + 20 % used coffee grounds (T3), 60 % peat + 40 % used coffee grounds (T3) and 40 % used coffee grounds (T4), 60 % peat + 40 % used coffee grounds (T3), 50 % peat + 50 % used coffee grounds (T4), 40 % peat + 60 % used coffee grounds (T5), 20 % peat + 80 % used coffee grounds (T6) and 100 % used coffee grounds (T7). After five days of incubation, the aspects of vegetative development already indicated were evaluated, the results indicated that, in germination percentage, statice was the species that suffered a greater phytotoxic effect as the fresh coffee grounds increased in the substrate, while, both in root length and germination index, both species were affected by the phytotoxicity of fresh coffee grounds.

INTRODUCCIÓN

Se entiende como residuo, aquello que resulta de la descomposición o destrucción de algo (RAE, 2024). La definición antes dada es muy amplia pues existen distintos tipos de clasificaciones de residuos, una de ellas se refiere al origen, naturaleza o procedencia, es allí donde encontramos los residuos industriales, mineros, hospitalarios, silvoagropecuarios, de la construcción y finalmente, los solidos municipales.

Los residuos sólidos municipales, son aquellos que consideran todos los residuos generados tanto de los quehaceres domésticos como de las actividades

comerciales o productivas que resulten similares entre sí (Ministerio del Medio Ambiente, 2016). Actualmente se estima que, al año, se producen 2010 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos en todo el mundo (Kaza *et al*., 2018), mientras que, en Chile durante el año 2021, se registró una producción mayor a 9 millones de tonelada (Ministerio del Medio Ambiente, 2023).

Con estas altas cantidades de residuos, la problemática radica en desarrollar planes de manejo, donde la calidad de vida de los ciudadanos de un país, no se vea afectada por la acumulación de desechos y las implicancias de estos, tema que está ligado a esta investigación. Por ello, en los últimos años se han incrementado los programas gubernamentales que fomentan la reutilización y/o transformación de residuos para disminuir la acumulación de basura en vertederos, rellenos sanitarios o basurales informales. Un ejemplo de ello es la estrategia nacional de residuos orgánicos Chile 2024, política que tiene como objetivo pasar de 1 % a 66 % de valorización de los residuos orgánicos municipales (Ministerio de Medio Ambiente, 2020).

Dentro de los residuos sólidos municipales, se pueden encontrar diversas subunidades, sin embargo, son los orgánicos, los que acaparan el mayor porcentaje, equivalente a un 58 % del total de los desechos domiciliarios en Chile (Ministerio de Medio Ambiente, 2021).

Uno de los residuos orgánicos más abundante que ha sido estudiado con el propósito de encontrar formas de reutilizarlo es la borra o desecho del café. Este último concepto se refiere al resto del grano de café que queda como desecho luego de la preparación de la bebida.

Actualmente, el café es muy apetecido por los consumidores mundiales, siendo la bebida más consumida después del agua, en 2021 se calculaba un consumo mundial diario de entre 2000 y 3000 millones de tazas (Organización internacional del café, 2021). En la producción de las distintas preparaciones a base de café, solo se utilizan alrededor de un 5 % del grano, mientras que el otro 95 % es desechado (Fernández-Cortes *et al*., 2020). Teniendo en cuenta que mundialmente se consumen más de 9 mil millones de kilogramos de café, los niveles de residuos que se obtiene son altos. Por este motivo, distintas instituciones y empresas trabajan

para lograr nuevas técnicas de uso para la borra del café, un ejemplo de ello es Kaffeefrom, empresa alemana que recoge los residuos de café y los utiliza para fabricar tazas (BBC, 2016).

La ciencia agronómica no se ha quedado atrás en la búsqueda de la reutilización de desechos orgánicos. El compost del café se ha vuelto una gran alternativa como potencial fertilizante (Ronga *et al*., 2016), esto se debe a su alta composición en compuestos fenólicos y por tanto su alto poder antioxidante (Esquivel *et al*., 2012). La búsqueda de nuevas alternativas de sustratos para sustituir la turba se encuentra en alza, la razón de esto es la sobreexplotación que ha sufrido en los últimos años. Así, las turberas solo representan el 3 % de la masa terrestre libre de hielo y se encuentran fuertemente amenazadas por alto uso en la industria agropecuaria, en la silvicultura y como combustible; su sobreexplotación causó su secado que, a su vez, genera que se vuelva una alta fuente de gases de efecto invernadero debido a ser considerado una reserva terrestre de carbono ante su alto contenido de materia orgánica (FAO, 2020).

En base a lo expuesto anteriormente, se plantea que utilizar borra de café fresca como sustrato podría mejorar tanto la germinación como desarrollo radicular de distintas especies agrícolas. Para lo cual se plantea como objetivo evaluar el posible efecto fitotoxico de la borra de café fresca en la germinación y elongación radicular en dos especies, una hortícola y otra ornamental. Para ello se evaluarán tres parámetros, el porcentaje de germinación, longitud radicular e índice de germinación.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se establecieron siete tratamientos que consistieron en mezclas a base de distintas proporciones de turba y borra de café (Tabla 1). La turba semillera utilizada fue marca comercial “Kekkila” de pH 6,38 y conductividad eléctrica (CE) de 0,33 dS m^{-1} (Anexo 1). En su composición contenía micorrizas, trichodermas, fertilizante inicial (nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K)) y un cribado < 6 mm, mientras que la borra de café fresca, fue obtenida como subproducto de cafeteras domésticas, presentando un pH igual a 5,87 y CE 0,48 dS m^{-1} (Anexo 1).

Tabla 1. Tratamientos a evaluar.

Tratamiento	Mezcla
T1	100 % Turba
T2	80 % Turba + 20 % Borra de Café
T3	60 % Turba + 40 % Borra de Café
T4	50 % Turba + 50 % Borra de Café
T5	40 % Turba + 60 % Borra de Café
T6	20 % Turba + 80 % Borra de Café
T7	100% Borra de Café

Las mezclas resultantes de las diferentes proporciones preparadas se acondicionaron en bolsas de polietileno selladas y se dejaron incubar por 20 días a temperatura ± 20 ºC (Rios *et al*., 2012; Undurraga *et al*., 2018). Previo a la incubación, se humedecieron las mezclas con distintas cantidades de agua (Tabla 2) con la finalidad de facilitar la interacción entre los componentes de los sustratos.

Tras el proceso de incubación de las mezclas, se realizaron extractos de cada una. Para ello, se abrieron las bolsas, se extrajeron 10 g y se les agregó 100 mL de agua (1 / 10 peso / volumen). Cada mezcla se agitó a 180 rpm durante 12 minutos. Tras esto, con una pipeta de precisión, se tomaron 4 mL de cada extracto y se depositaron en cápsulas Petri con disco de papel filtro Whatman Nº 3, según (Celis *et al*., 2008).

En este experimento se utilizaron semillas de rábano (*Raphanus sativus*) y estátice (*Limonium sinuatum*). Cada placa contiene 10 ejemplares de cada especie, por separado, ordenadas para permitir la germinación y elongación de cada radícula. Luego de agregar el extracto, cada placa fue cubierta con papel film. Las cápsulas se dispusieron en una cámara de germinación donde se mantuvieron por 120 horas a 20 ± 2 ºC y humedad constante al 100 % dentro de la cápsula Petri. Se incluyeron placas con agua destilada como control para definir el potencial de germinación propio de las semillas

Tabla 2. Relación turba/borra de café fresca y agua aplicada para homogenizar cada tratamiento.

Tratamiento	Relación turba / borra	Agua aplicada (mL)
T1	100 g turba	140
T2	80 g turba + 20 g borrá de café	100
T3	60 g turba + 40 g borra de café	90
T4	50 g turba + 50 g borra de café	80
T5	40 g turba + 60 g borra de café	80
T6	20 g turba + 80 g borra de café	80
T7	100 g borra de café	100

Evaluaciones

Porcentaje de germinación. Se determinó calculando la cantidad de semillas germinadas por placa, posterior al periodo de incubación mediante la siguiente relación:

% G = (SG/TS) x 100

Donde:

% G: Porcentaje de germinación

SG: Semillas germinadas

TS: Total de semillas

Se obtiene un promedio entre los resultados de las tres placas utilizadas con el fin de determinar un valor único para cada tratamiento.

Longitud radicular. Se evaluó utilizando una regla convencional para medir el crecimiento de la radícula de cada semilla germinada. Una vez que se obtuvo la medida de las diez semillas incubadas en cada placa, se calcula la media aritmética de los datos para así lograr un valor único de cada tratamiento.

Índice de germinación (IG). La fitotoxicidad se determinó por IG como lo sugieren Tiquia y Tam (1998), lo que permite evaluar la toxicidad baja o menor que afecta el

crecimiento de las raíces, así como la toxicidad alta o mayor (Nafez *et al*., 2015; Unuofin *et al*., 2016), lo que es expresado en la Ecuación 1:

$$IG = (G \times L / Gc \times Lc) \times 100 \qquad [1]$$

Donde:
GI: índice de germinación (%)
G: promedio de semillas germinadas en la muestra
Gc: promedio de semillas germinadas en el control
L: promedio de la longitud de radícula en la muestra (mm)
Lc: promedio de la longitud de la radícula en el control

El valor de IG puede variar de 0 a más del 100 %. Este indicador muestra la interacción entre los factores que favorecen y los que inhiben tanto la germinación como el crecimiento de la radícula (Rodríguez Romero, *et al*., 2014).
Después de 120 horas, las plántulas en las cápsulas Petri se contaron y se observaron para detectar cualquier indicador de fitotoxicidad, como ápices de raíces necróticos o desarrollo deficiente de pelos absorbentes.

Diseño experimental y análisis de datos. El diseño experimental fue completamente al azar. Se realizaron dos bioensayos, uno en rábano y otro en estátice, con siete tratamientos cada uno, que correspondieron a mezclas de distintas proporciones de turba y borra de café fresca. Cada tratamiento se realizó por triplicado. Los datos obtenidos, fueron sometidos a análisis de varianza (ANDEVA) previa comprobación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, en los casos que correspondió se realizó la prueba de comparación de medias de Tuckey (α = 0,05). Los análisis fueron desarrollados mediante el uso de programa estadísticos Infostat (Balzarini *et al.* 2008).

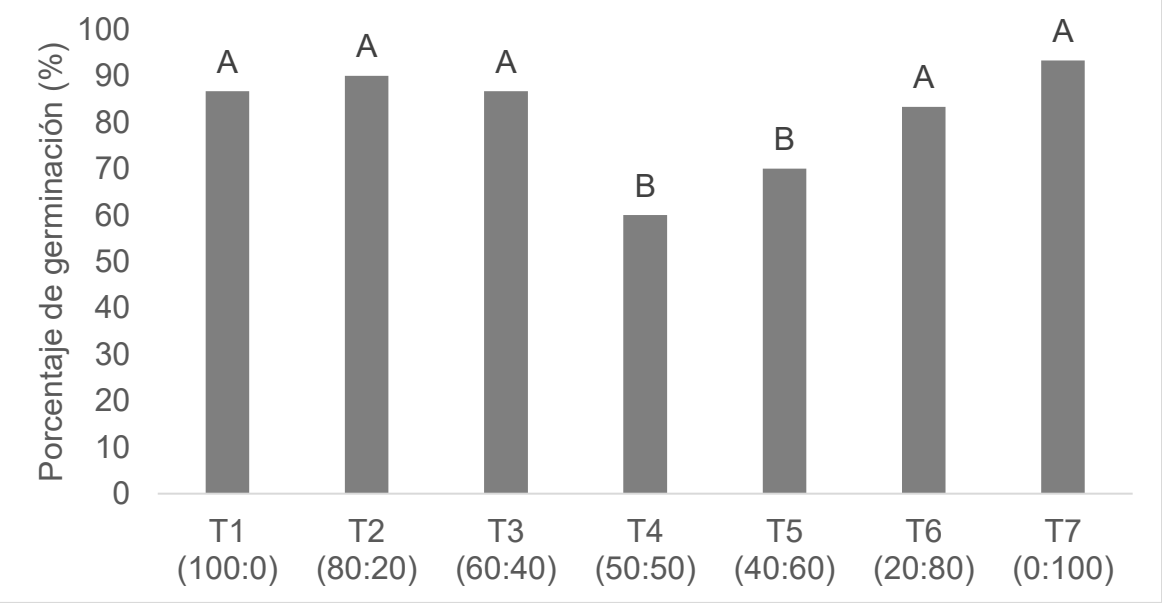
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de germinación

Especie 1. Rábano

Los resultados de germinación (figura 1), indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos. En los tratamientos T4 (50 : 50) y T5 (40 : 60), la germinación resultó significativamente menor, no encontrándose diferencias significativa ($P > 0,05$) entre los otros tratamientos; de ahí que las proporciones más cercanas al 50 % tendrían un efectivo negativo en la germinación, resultando por debajo del 70 % a diferencia de las otras que fluctuaron entre 80 y 90 % de germinación

Figura 1. Porcentaje de germinación (%) en rábano en siete proporciones (%) turba : borra de café.



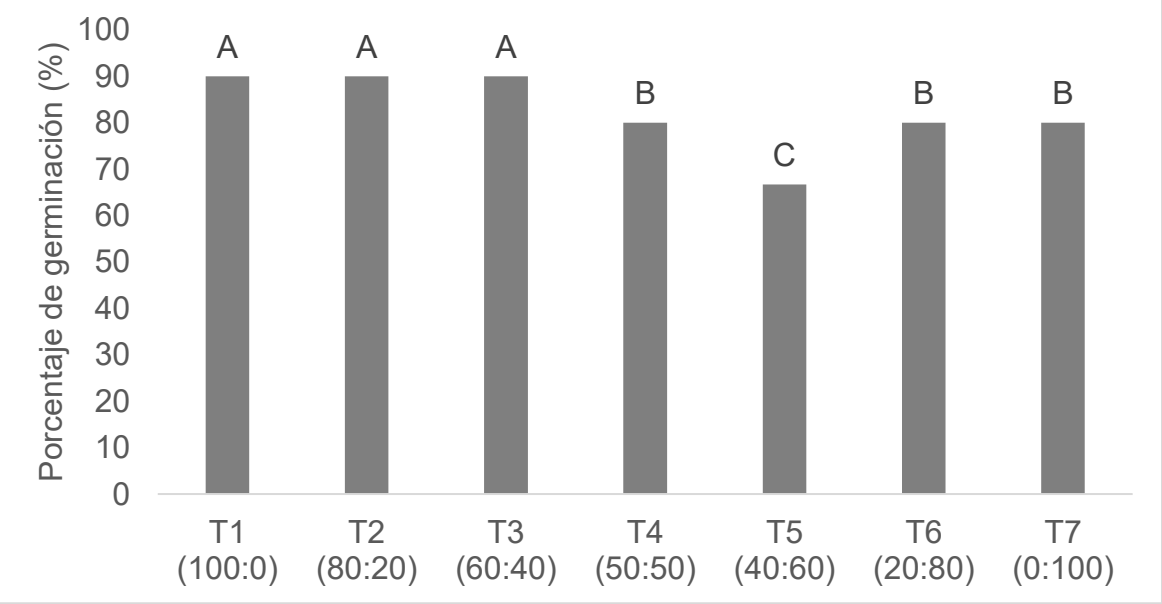
*: Letras iguales indican que no hay diferencia estadística entre tratamientos según prueba de Tukey $\alpha = 0,05$.

Especie 2. Estátice

En el caso de estátice, los resultados en germinación señalan que si existe diferencia significativa ($P \leq 0,05$) entre tratamientos (Figura 2). Los tratamientos T1 (100 : 0), T2 (80 : 20) y T3 (60 : 40), no presentaron diferencias significativas ($P > 0,05$) y su germinación varió entre 80 y 90 %, mientras que, los tratamientos restantes, sí sufrieron una disminución significativa ($P \leq 0,05$) del porcentaje de germinación, siendo el T5 (40 : 60) el tratamiento con mayor efectivo negativo alcanzando solamente un 67 % de germinación

Con estos datos, se evidencia que existe un efecto negativo en la germinación cuando en el sustrato la cantidad de turba y borra de café fresca se equiparan. Ante esto, se infiere que la interacción entre la turba y borra de café fresca genera compuestos que dificultan el proceso germinativo. Chou y Waller (1980), indican que el café inhibe la germinación al contener fitotoxinas en su tejido, como es la cafeína que identifican como agente alelopático.

Figura 2. Porcentaje de germinación (%) en estátice en siete proporciones (%) turba : borra de café.



* Letras iguales indican que no hay diferencia estadística entre tratamientos según prueba de Tukey (P > 0,05).

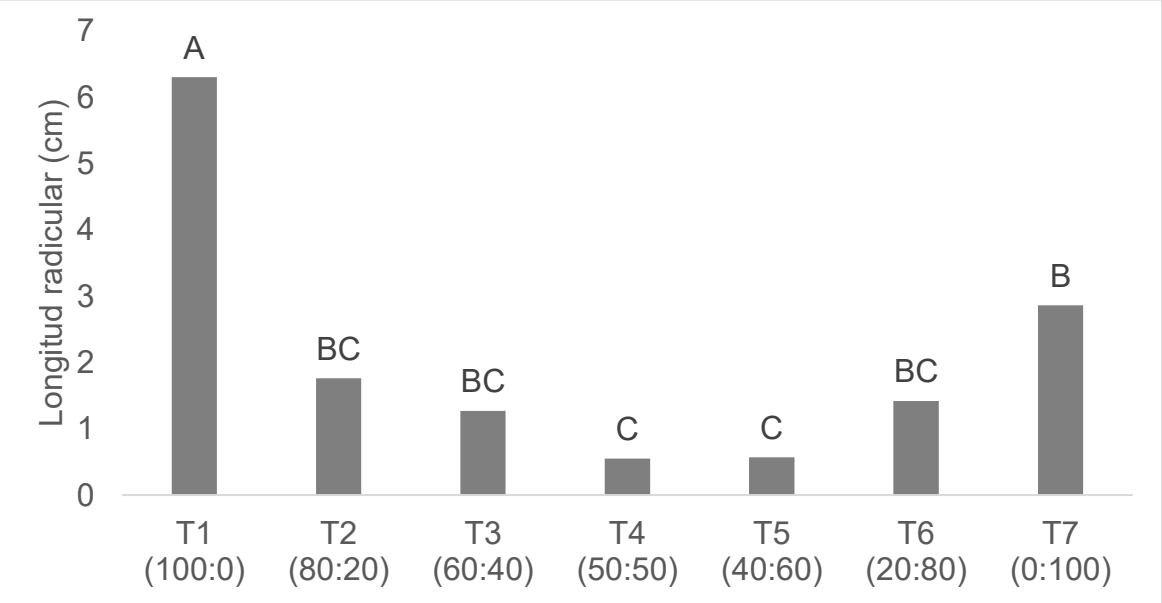
Longitud radicular

Especie 1. Rábano

Los resultados obtenidos en cuanto a la longitud radicular, indican diferencia significativa ($P \leq 0,05$) entre tratamientos (Figura 3.). Al incorporar borra de café a la turba, se genera una disminución significativa gradual en la longitud de la radícula. En 100 % turba, la longitud radicular alcanza 6,3 cm, valor que disminuye gradualmente en las proporciones turba : borra de café fresca 80 : 20, 60 : 40 y 50 : 50 donde se alcanza el valor más bajo, 0,5 cm. En las proporciones turba : borra

de café fresca 40 : 60, 20 : 80 y 0 : 100, se evidencia una pequeña mejora, logrando una longitud de 2,86 cm en T7, valor significativamente menor que T1.

Figura 3. Longitud radicular (cm) en rábano en siete proporciones (%) turba : borra de café.



*: Letras iguales indican que no hay diferencia estadística entre tratamientos según prueba de Tukey (P > 0,05).

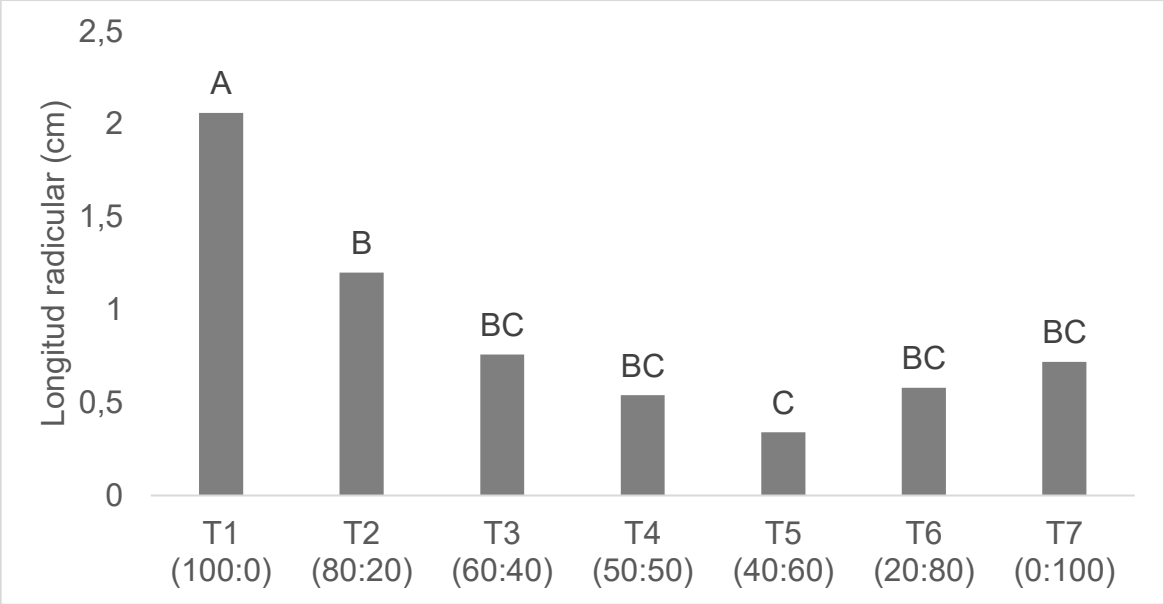
Especie 2. Estátice

Para el caso de estátice, se repite el comportamiento de rábano. Los resultados arrojan diferencia significativa ($P \leq 0,05$) entre tratamientos (Figura 4), generándose un efecto negativo en el desarrollo de la radícula a medida que se incorpora borra de café fresca al sustrato. El T1 que incluye solo turba tuvo un crecimiento de 2,06 cm mientras que, los otros tratamientos que si incluyen borra de café fresca disminuyen significativamente ($P \leq 0,05$) la longitud radicular con valores entre 1,2 y 0,34 cm, este último valor corresponde a la proporción turba : borra de café fresca 40 : 60.

Al mezclar turba con borra de café fresca, existe un efecto negativo que influye en el desarrollo radicular. Si bien los valores del largo de radícula más bajos están en las proporciones turba : borra de café fresca 50 : 50 (T4) y 40 : 60 (T5), en el

tratamiento que solo contiene borra de café no existe una mejora significativa (P ≤ 0,05).

Figura 4. Longitud radicular (cm) en estátice en siete proporciones (%) turba : borra de café.



*: Letras iguales indican que no hay diferencia estadística entre tratamientos según prueba de Tukey α = 0,05

Según Ferreira (2011) sustratos que contengan un porcentaje volumen / volumen iguales o superiores a 20 % de borra de café fresca, generan plántulas con menor cantidad de haces vasculares en raíces y además presentan células meristemáticas binucleadas. Esto provocaría dificultad en el trasporte de agua y nutrientes y además mutaciones que afectan directamente el proceso de división celular (mitosis).

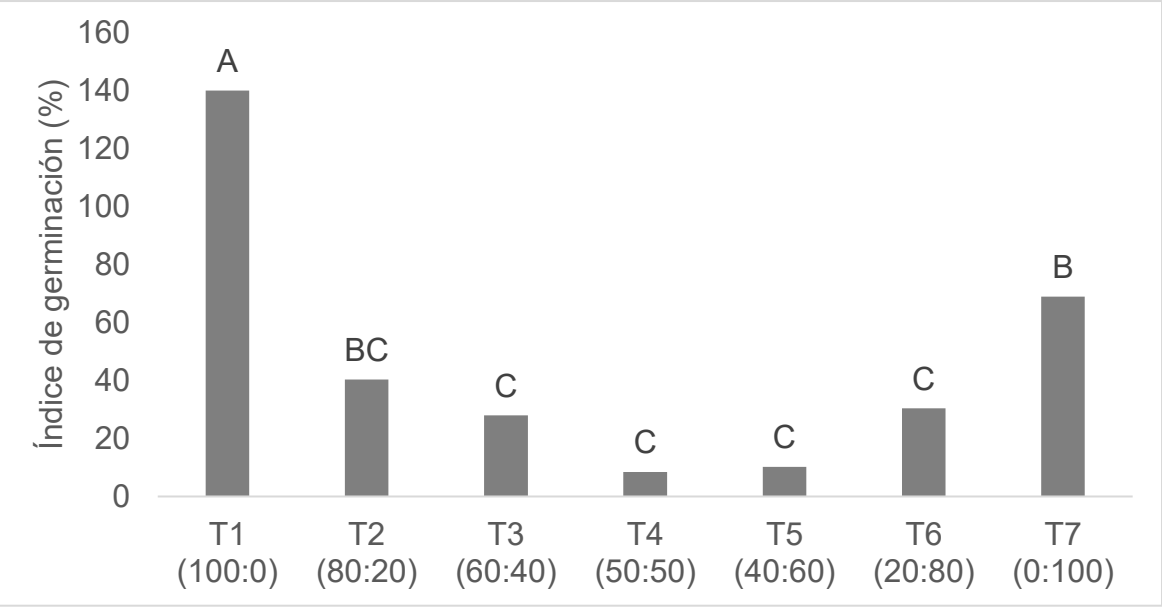
Índice de germinación

Especie 1. Rábano

Los datos obtenidos en el IG (Figura 5) indican diferencia significativa (P ≤ 0,05) entre tratamientos. Existe una fuerte disminución en el IG cuando el sustrato incorpora borra de café fresca. Los tratamientos que contienen, 20 %, 40 %, 50 %, 60 % y 80 % de borra de café fresca no presentan diferencias significativas entre ellos (P > 0,05). Existe una mejora significativa (P ≤ 0,05) cuando en el tratamiento

que contiene únicamente borra de café fresca (T7) sin embargo, esta no supera el resultado obtenido en 100 % turba que representan el mayor IG (139 %).

Figura 5. Índice de germinación (%) en rábano en siete proporciones (%) turba : borra de café.



*: Letras iguales indican que no hay diferencia estadística entre tratamientos según prueba de Tukey α = 0,05

Especie 2. Estátice

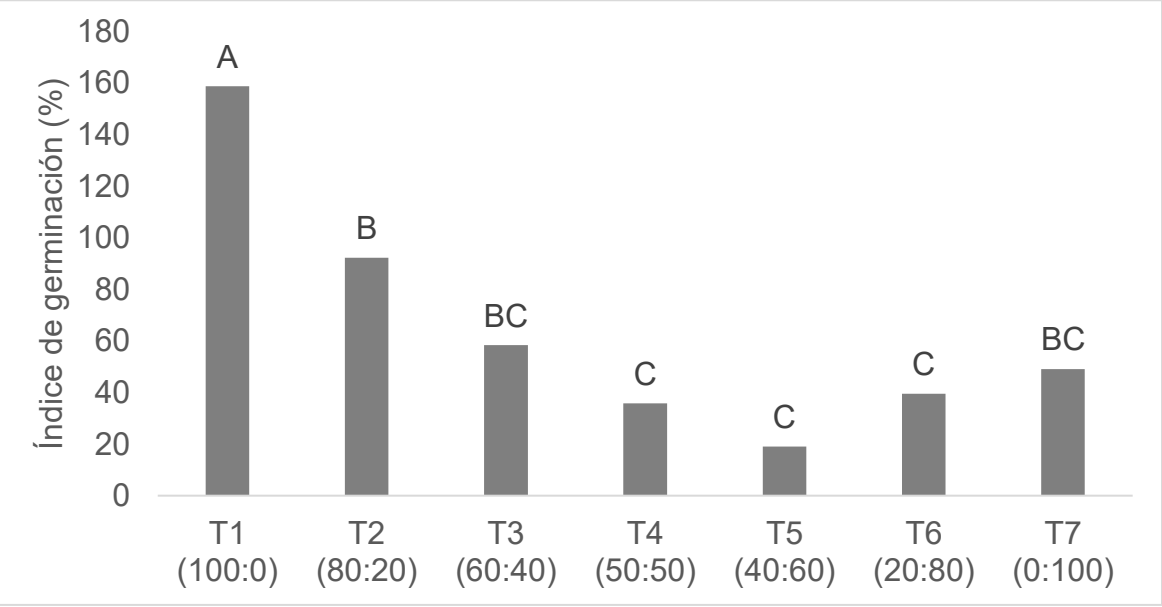
En el caso de limonium, existe diferencia significativa ($P \leq 0,05$) entre tratamientos (Figura 6), continuando la tendencia de obtener bajos resultados en los tratamientos que contienen borra de café fresca. El mejor IG es 158 % y corresponde al T1 que contiene exclusivamente turba. En cuanto al resto de los tratamientos, si bien hay diferencias significativas entre ellos, sus IG son considerablemente menores al T1. La proporción turba : borra de café fresca que obtuvo el IG menor fue 40 : 60 (T5) con un 19 %.

Según Zucconi *et al.* (1981), al momento de evaluar este criterio, un IG $\geq$ 80 % señala que el objeto de estudio no sería fitotóxico, un valor entre 80 – 50 % indica fitotoxidad moderada y finalmente un IG $\leq$ 50 % evidencia una alta fitotoxicidad.

En base a lo expuesto, en rábano, el T2, T3, T4, T5 y T6, en ambos bioensayos, contienen una alta cantidad de sustancias fitotóxicas. Cabe destacar que el sustrato

en base a 100 % borra de café, tendría una fitotoxicidad moderada. En el caso de estátice, los valores del Índice de Germinación fueron más elevados, por tanto, los sustratos con proporciones turba/borra de café fresca 100 : 0, 80 : 20, 60 : 40 y 0 : 100, tendrían de bajo a moderados la cantidad de componentes fitotóxicos y solo los sustratos 50 : 50 y 40 : 60 serían de alta toxicidad.

Figura 6. Índice de germinación (%) en estátice en siete proporciones (%) turba : borra de café.



* Letras iguales indican que no hay diferencia estadística entre tratamientos según prueba de Tukey (P > 0,05)

Esto deja en evidencia la mayor sensibilidad que tiene el rábano al ser expuesto a elementos fitotóxicos. En cuanto a la borra de café fresca, existe evidencia que al compostarla, disminuye la cantidad de cafeína transformando los compuestos orgánicos complejos a simples, esto implicaría la disminución de su efecto fitotóxico aprovechando así su carácter antioxidante y su alto contenido de materia orgánica (Gomes *et al.,* 2013).

CONCLUSIÓN

En germinación, estátice fue la especie con mayor efecto fitotóxico a medida que se incrementó la cantidad de borra de café fresca en el sustrato.

Por otra parte, tanto en longitud radicular como en índice de germinación, se produjo un efecto fitotóxico al incorporar borra de café fresca al sustrato para ambas especies.

REFERENCIAS

1. Academia Adriana Hoffmann. 2016. Guía de eduacación ambiental y residuos. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile.

2. Celis, J., M. Sandoval, and R. Barra. 2008. Plant response to salmon wastes and sewage sludge used as organic fertilizer on two degraded soils under greenhouse conditions. Chilean Journal of Agricultural Research 68:274–283.

3. Chou, C.H. and G. Waller. 1980. Possible allelopathic constituents of Coffea arabica. Journal of Chemical Ecology. 6: 643-654.

4. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 2022. Hacia una seguridad alimentaria y nutricional sostenible en América Latina y el Caribe en respuesta a la crisis alimentaria mundial. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.

5. Esquivel, P. y V.M. Jimenez. 2012. Functional Properties of Coffee and Coffee By-Products. Food Research International. 46(2): 488-495.

6. FAO. 2020. Peatlands mapping and monitoring – Recommendations and technical overview. Roma, Italia.

7. FAO, FIDA, OMS, PMA, and UNICEF. 2017. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2017. Fomentando la resiliencia en aras de la paz y la seguridad alimentaria. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia.

8. Fernández-Cortés, Y., K. Sotto-Rodríguez, and L. Vargas-Marín. 2020. Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. Rev. P+L 15(1) 2020.

9. Ferreira, A. M. 2011. Influência da borra de café no crescimento e nas propriedades químicas e biológicas de plantas de alface (*Lactuca sativas*

L.). Tesis, Master en calidad y seguridad alimentaria. Instituto Politécnico de Bragança, Escuela Superior Agraria. Bragança, Portugal.

10. Gomes, T., J.A. Pereira, E. Ramalhosa, S. Casal, and P. Baptista. 2014. Effect of fresh and composted spent coffee grounds on lettuce growth, photosynthetic pigments and mineral composition. VII Congreso Ibérico de Agroingenieria y Ciencias Hortícolas. Madrid, España.

11. Guterres. A. 2020. Mensaje del Secretario General con motivo del día mundial de la población. Organización de Naciones Unidas. Nueva York, USA.

12. Kaza, S., L. Yao, P. Bhada-Tata, and F. Van Woerden. 2018. What a Waste 2.0 A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development Series. Washington, DC, USA.

13. Ministerio del Medio Ambiente. 2015. Segundo reporte del estado del medio ambiente. pp:52-61. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile.

14. Ministerio del Medio Ambiente. 2021. Estrategia nacional de residuos orgánicos Chile 2040. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile.

15. Ministerio del Medio Ambiente. 20213. Octavo reporte del estado del medio ambiente. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile.

16. Morrison, L. 2016. 7 empresarios que hacen dinero con inventos sacados de la borra del café. BBC News. Londres. Reino Unido.

17. Nafez, A.H., M. Nikaeen, S. Kadkhodaie, M. Hatamzadeh, and S. Moghim. 2015. Sewage sludge composting: quality assessment for agricultural application. Environmental Monitoring and Assessment 187:709.

18. Organización Internacional del Café. 2021. Informe sobre desarrollo cafetero 2021. Organización Internacional del café. Londres, Reino Unido.

19. Organización Internacional del Café. 2022. Informe del mercado de café-abril 2022. Organización Internacional del café. Londres, Reino Unido.

20. RAE. 2024. Diccionario de la lengua española, 23(8). Real Academia Española. Madrid, España.

21. Rios, D., C. Perez, and M. Sandoval. 2012. Phytotoxic effect of paper pulp sludge on Alfisol soil. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 12:315–327.

22. Rodríguez Romero, A., C. Robles Salazar, R. Ruíz Picos, E. López López, J. Sedeño Díaz, and A. Rodríguez Dorantes. 2014. Índice de germinación y elongación radical de *Latuca sativa* en el biomonitoreo de la calidad del agua del río Chalma. Rev. Int. Contam. Ambient., 30(3):307-316.

23. Ronga, D., C. Pane, M. Zaccardelli, and N. Pecchioni. 2016. Use of spent coffee ground compost in peat-based growing media for the production of basil and tomato potting plants. Communications in Soil Science and Plant Analysis 47(3): 356-368.

24. Tiquia, S.M. and N.F.Y. Tam. 1998. Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. Bioresource Technology 65:43–49.

25. Undurraga., P., J. Hilel, J.Celis, C. Perez, and M. Sandoval.2018. Toxicity of paper mill pelletized waste using germination and biomass production as bioindicators. Cienc. Inv. Agr, vol.45, no.2, p.147-157. ISSN 0718-1620.

26. Unuofin, F.O., M. Siswana, and E.N. Cishe. 2016. Enhancing rock phosphate integration rate for fast bio-transformation of cow-dung waste-paper mixtures to organic fertilizer. Springerplus 5:1986.

27. Wang, W. 1991. Literature review on higher plants for toxicity testing. Water Air Soil Pollut 59: 381-400.

28. Zucconi, F., A. Monaco, M. Forte, and M. De Bertoli. 1981. Evaluating toxicity in immature compost. Biocycli 22: 54-57

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de pH y conductividad eléctrica de la turba

RESULTADOS ANÁLISIS

N° Pedido		19651	
Tipo de Abono Orgánico			
Información relevante:		Turba Sola 100	
DETERMINACIONES	UNIDADES	236522	RANGO REFERENCIAL NCh2880
pH (1:20)	--	6,38	5,0 - 8,5
Cond. Eléctrica (1:20)	dS m^{-1}	0,33	< 3
Materia Orgánica	%	--	> 20
Carbono Orgánico	%	--	--
Nitrógeno Total	%	--	≥ 0,5
Relación Carbono/Nitrógeno	--	--	≤ 30
Amonio (N-NH4)	mg kg^{-1}	--	< 500
Óxido de fósforo (P_2O_5)	%	--	--
Óxido de potasio (K_2O)	%	--	--
Óxido de calcio (CaO)	%	--	--
Óxido de magnesio (MgO)	%	--	--
Óxido de sodio (Na_2O)	%	--	--
Aluminio (Al)	mg kg^{-1}	--	--
Hierro (Fe)	mg kg^{-1}	--	--
Manganeso (Mn)	mg kg^{-1}	--	--
Zinc (Zn)	mg kg^{-1}	--	< 200 mg kg^{-1}
Cobre (Cu)	mg kg^{-1}	--	< 100 mg kg^{-1}
Boro (B)	mg kg^{-1}	--	< 200 mg kg^{-1}
Humedad Base	%	--	30 - 45

Anexo 2. Análisis de pH y conductividad eléctrica de la mezcla 50 % turba + 50 % borra de café fresca

RESULTADOS ANÁLISIS

N° Pedido		19651	
Tipo de Abono Orgánico			
Información relevante:		Turba 50+Café 50	
DETERMINACIONES	UNIDADES	236521	RANGO REFERENCIAL NCh2880
pH (1:20)	--	5,45	5,0 - 8,5
Cond. Eléctrica (1:20)	dS m^{-1}	0,32	< 3
Materia Orgánica	%	--	> 20
Carbono Orgánico	%	--	--
Nitrógeno Total	%	--	≥ 0,5
Relación Carbono/Nitrógeno	--	--	≤ 30
Amonio (N-NH4)	mg kg^{-1}	--	< 500
Óxido de fósforo (P_2O_5)	%	--	--
Óxido de potasio (K_2O)	%	--	--
Óxido de calcio (CaO)	%	--	--
Óxido de magnesio (MgO)	%	--	--
Óxido de sodio (Na_2O)	%	--	--
Aluminio (Al)	mg kg^{-1}	--	--
Hierro (Fe)	mg kg^{-1}	--	--
Manganeso (Mn)	mg kg^{-1}	--	--
Zinc (Zn)	mg kg^{-1}	--	< 200 mg kg^{-1}
Cobre (Cu)	mg kg^{-1}	--	< 100 mg kg^{-1}
Boro (B)	mg kg^{-1}	--	< 200 mg kg^{-1}
Humedad Base	%	--	30 - 45

Anexo 3. Análisis de pH y conductividad eléctrica de la borra de café fresca

RESULTADOS ANÁLISIS

N° Pedido		19651	
Tipo de Abono Orgánico			
Información relevante:		Café Solo 100	
DETERMINACIONES	UNIDADES	236523	RANGO REFERENCIA L NCh2880
pH (1:20)	--	5,87	5,0 - 8,5
Cond. Eléctrica (1:20)	dS m^{-1}	0,48	< 3
Materia Orgánica	%	--	> 20
Carbono Orgánico	%	--	--
Nitrógeno Total	%	--	≥ 0,5
Relación Carbono/Nitrógeno	--	--	≤ 30
Amonio (N-NH4)	mg kg^{-1}	--	< 500
Óxido de fósforo (P_2O_5)	%	--	--
Óxido de potasio (K_2O)	%	--	--
Óxido de calcio (CaO)	%	--	--
Óxido de magnesio (MgO)	%	--	--
Óxido de sodio (Na_2O)	%	--	--
Aluminio (Al)	mg kg^{-1}	--	--
Hierro (Fe)	mg kg^{-1}	--	--
Manganeso (Mn)	mg kg^{-1}	--	--
Zinc (Zn)	mg kg^{-1}	--	< 200 mg kg^{-1}
Cobre (Cu)	mg kg^{-1}	--	< 100 mg kg^{-1}
Boro (B)	mg kg^{-1}	--	< 200 mg kg^{-1}
Humedad Base	%	--	30 - 45