J-40402082-9

Fundación Aula Virtual

Aula Virtual



Generando Conocimiento

http://www.aulavirtual.web.ve

ISSN: 2665-0398

Deposito Legal: LA2020000026

Vol. 7 Nº 15 Año 2026

Periodicidad Continua

ISSN: 2665-0398

AulaVirtual
Generando Conocimiento

REVISTA CIENTÍFICA AULA VIRTUAL

Director Editor:

- Dra. Leidy Hernández PhD.
- Dr. Fernando Bárbara

Consejo Asesor:

- MSc. Manuel Mujica
- MSc. Wilman Briceño
- Dra. Harizmar Izquierdo
- Dr. José Gregorio Sánchez

Revista Científica Arbitrada de Fundación Aula Virtual

Email: revista@aulavirtual.web.ve
URL: http://aulavirtual.web.ve/revista



ISSN: 2665-0398
Depósito Legal: LA2020000026
País: Venezuela
Año de Inicio: 2020
Periodicidad: Continua
Sistema de Arbitraje: Revisión por pares. "Doble Ciego"
Licencia: **Creative Commons** CC BY NC ND
Volumen: 7
Número: 15
Año: 2026
Período: Julio 2026 – Diciembre 2026 (continua)
Dirección Fiscal: Av. Libertador, Arca del Norte, Nro. 52D, Barquisimeto estado Lara, Venezuela, C.P. 3001

La Revista seriada Científica Arbitrada e Indexada **Aula Virtual**, es de acceso abierto y en formato electrónico; la misma está orientada a la divulgación de las producciones científicas creadas por investigadores en diversas áreas del conocimiento. Su cobertura temática abarca Tecnología, Ciencias de la Salud, Ciencias Administrativas, Ciencias Sociales, Ciencias Jurídicas y Políticas, Ciencias Exactas y otras áreas afines. Su publicación es **CONTINUA**, indexada y arbitrada por especialistas en el área, bajo la modalidad de doble ciego. Se reciben las producciones tipo: *Artículo Científico* en las diferentes modalidades cualitativas y cuantitativas, *Avances Investigativos*, *Ensayos, Reseñas Bibliográficas, Ponencias o publicaciones derivada de eventos*, y cualquier otro tipo de investigación orientada al tratamiento y profundización de la información de los campos de estudios de las diferentes ciencias. La Revista **Aula Virtual,** busca fomentar la divulgación del conocimiento científico y el pensamiento crítico reflexivo en el ámbito investigativo.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

AulaVirtual
Generando Conocimiento

ISSN: 2665-0398

EVALUACIÓN DE LA FITOTOXICIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE LA POSTCOSECHA DE CAFÉ EN ESPECIES HORTÍCOLAS

EVALUATION OF THE PHYTOTOXICITY OF COFFEE POST-HARVEST WASTEWATER ON HORTICULTURAL SPECIES

Tipo de Publicación: Artículo Científico
Área del Conocimiento: Ciencias Exactas y otras áreas afines
Recibido: 16/09/2026
Aceptado: 02/11/2026
Publicado: 06/11/2026
Código Único AV: e868
Páginas: 1(2148-2170)
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.24010342

Autores:
Maribel Margot Huatuco Lozano
Bióloga
Maestría en Gestión Ambiental
https://orcid.org/0000-0001-6552-5252
E-mail: mhuatuco@unfv.edu.pe
Afiliación: Universidad Nacional Federico Villarreal
País: República del Perú

Gabriel Jorge Carlos Reyes
Ingeniero Industrial
Maestría en Ingeniería Industrial, mención en Producción
https://orcid.org/0000-0001-9314-7666
E-mail: gcarlos@unfv.edu.pe
Afiliación: Universidad Nacional Federico Villarreal
País: República del Perú

Angélica Ysabel Miranda Jara
Ingeniera Agroindustrial
Doctorado en Ingeniería Ambiental
https://orcid.org/0000-0001-7103-3350
E-mail: amiranda@unfv.edu.pe
Afiliación: Universidad Nacional Federico Villarreal
País: República del Perú

Shofia Sabina Ahumada Cárdenas
Estudiante de Ingeniera Agroindustrial
https://orcid.org/0009-0003-4380-9256
E-mail: 2022016158@unfv.edu.pe
Afiliación: Universidad Nacional Federico Villarreal
País: República del Perú

Resumen

El estudio determinó el efecto fitotóxico del agua residual de la postcosecha del café sobre semillas de rabanito (*Raphanus sativus*) y beterraga (*Beta vulgaris*). Se identificó la sensibilidad de cada especie y evaluar parámetros de germinación y elongación radicular bajo siete concentraciones del efluente. La investigación fue aplicada, experimental y longitudinal. Se tomaron muestras de agua residual de la Cooperativa Agraria Cafetalera "La Prosperidad" de Chirinos, con un pH ácido (3.03) y alta conductividad eléctrica (3.41 mS/cm). Los bioensayos se realizaron utilizando 25 semillas por tratamiento y agua destilada como control. Se midieron porcentajes de germinación, longitud radicular e índices normalizados como IGN e IER para determinar niveles de toxicidad. Los resultados mostraron en *Raphanus sativus*, la germinación y la elongación radicular disminuyeron severamente desde el 12.5 %, con inhibición total en 50 % y 100 %. *Beta vulgaris* presentó mayor sensibilidad, registrando inhibición drástica desde el 1 % y toxicidad muy alta a partir del 5 %. Los valores negativos de IGN e IER confirmaron toxicidad moderada. Se concluye que el agua residual de la postcosecha del café presenta alto potencial fitotóxico y no debe utilizarse sin tratamiento previo en sistemas agrícolas, siendo necesario implementar tecnologías de mitigación y monitoreo ambiental.

Palabras Clave Fitotoxicidad, aguas residuales de café, bioensayo vegetal, rabanito, beterraga.

Abstract

The study determined the phytotoxic effect of post-harvest coffee wastewater on radish (*Raphanus sativus*) and beet (*Beta vulgaris*) seeds. The sensitivity of each species was identified, and germination and root elongation parameters were evaluated under seven effluent concentrations. The research was applied, experimental, and longitudinal. Wastewater samples were taken from the "La Prosperidad" Coffee Growers' Cooperative in Chirinos, which had an acidic pH (3.03) and high electrical conductivity (3.41 mS/cm). Bioassays were conducted using 25 seeds per treatment and distilled water as a control. Germination percentages, root length, and normalized indices such as IGN and IER were measured to determine toxicity levels. The results showed that in *Raphanus sativus*, germination and root elongation decreased severely, starting at 12.5 %, with total inhibition at 50 % and 100 %. *Beta vulgaris* showed greater sensitivity, registering drastic inhibition from 1% and very high toxicity from 5 %. Negative IGN and IER values confirmed moderate toxicity. It is concluded that post-harvest coffee wastewater has a high phytotoxic potential and should not be used without prior treatment in agricultural systems; therefore, it is necessary to implement mitigation technologies and environmental monitoring.

Keywords Phytotoxicity, coffee wastewater, root elongation, plant bioassay, radish.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

Introducción

Una de las principales problemáticas que se tiene a nivel mundial es la contaminación, la escasez del recurso hídrico, así como también la falta de acceso a este recurso. Ante lo mencionado las investigaciones se centran en desarrollar métodos para descontaminar y reutilizar las aguas residuales de tal manera, que se realice una adecuada gestión del recurso hídrico.

Sin embargo, en lo referente a las aguas residuales del proceso de postcosecha del café durante el beneficio húmedo, se genera una cantidad significativa de residuos que, si no se gestionan adecuadamente, pueden contaminar ríos y suelos (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MINAGRI], 2019).

La composición de las aguas residuales del proceso de postcosecha del café contiene altos niveles de materia orgánica y compuestos fenólicos, las mismas que han sido vertidas a cuerpos de agua dulce afectando la flora y fauna, por lo cual, es necesario realizar estudios sobre los efectos biológicos que pueden incluir desde cambios en la reproducción y el crecimiento, hasta impactos más graves en la función biológica y la supervivencia de las especies (Ibáñez & Angulo, 2022). En ese contexto se han realizado investigaciones para evaluar los efectos fitotóxicos, citotóxicos y genotóxicos de las aguas residuales, tanto tratadas como sin tratamiento, provenientes de las actividades antropogénicas. Tal como, las realizadas en el agua residual del procesamiento húmedo del café, que evidenciaron los efectos sobre la germinación de semillas y la elongación radicular de *Lactuca sativa*, así como una respuesta dependiente de la concentración del efluente (Aguiar et al., 2016). Por otro lado, los estudios realizados a aguas residuales tratadas para su aprovechamiento en el riego se centraron en la evaluación genotóxica y citotóxica mediantes bioensayos con *Allium cepa* L. y *Lactuca sativa encontrándose* que no genera efectos genotóxicos ni citotóxicos en las células meristemáticas de *Allium cepa* L.; así como, baja toxicidad en Lactuca sativa (Huatuco et al., 2025).

Según el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA, 2019) el Perú tenía 425.416 hectáreas dedicadas al cultivo de café, lo que representa el 6 % del área agrícola nacional y las plantaciones de café están instaladas en 17 regiones, 67 provincias y 338 distritos. En relación a la producción se registraron que los departamentos con mejor rendimiento promedio fueron Pasco con 1 081kg/ha, Cajamarca con 1 046kg/ha., San Martín con 969kg/ha., Junín con 792kg/ha. Y Amazonas con 705kg/ha (MINAGRI, 2019). Por lo tanto, es relevante la gestión ambiental de los residuos que se generan en el sector en las zonas productoras por la contaminación en el recurso hídrico y suelo.

En ese contexto, los bioensayos en modelos biológicos para la determinación de la fitotoxicidad

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

mediante pruebas de germinación y elongación radicular son fundamentales para determinar los posibles efectos de las aguas residuales en especies vegetales.

El presente estudio tuvo como objetivo general determinar el efecto fitotóxico de agua residual de la postcosecha del café en semillas de rabanito (*Raphanus sativus) y* beterraga (*Betas vulgaris*) con la finalidad de evaluar su impacto en el desarrollo de las plantas y determinar si su uso, directo o indirecto, afecta la productividad agrícola.

Los objetivos específicos fueron determinar el efecto fitotóxico de agua residual de la postcosecha del café en semillas de rabanito (*Raphanus sativus*) y determinar el efecto fitotóxico de agua residual de la postcosecha del café en semillas de beterraga (*Betas vulgaris*).

Desarrollo

El presente estudio es de suma importancia considerando que las investigaciones realizadas sobre las aguas residuales se centran en aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y métodos de tratamiento. Sin embargo, se requiere considerar los efectos fitotóxicos de las aguas residuales de la postcosecha del café en semillas de rabanito (*Raphanus sativus) y* beterraga (*Betas vulgaris*) durante el proceso germinativo y elongación radicular que puede deberse a la presencia de sustancias tóxicas en el agua residual, los cuales pueden: reducir la germinación de semillas y afectar el crecimiento radicular.

La producción de granos de café genera grandes volúmenes de agua de procesamiento contaminada en regiones del mundo que, a menudo, carecen de la infraestructura necesaria para ofrecer un tratamiento adecuado. Esta agua de procesamiento del café contiene una elevada carga orgánica, además de compuestos ecofarmacocinéticos y recalcitrantes, como la cafeína y los taninos, que, al ser vertidos, contaminan el medio ambiente y degradan las fuentes de agua dulce de las que pueden depender las poblaciones cercanas (Taiwo et al., 2025).

El estudio de los efectos fitotóxicos de estas aguas en cultivos de interés agrícola, como el rabanito (*Raphanus sativus) y* beterraga (*Betas vulgaris*), es fundamental para evaluar su impacto en el desarrollo de las plantas y determinar si su uso, directo o indirecto, afecta la productividad agrícola. Estas especies han sido seleccionadas debido a su sensibilidad a contaminantes y su rápido crecimiento, lo que permite obtener resultados en un periodo corto de tiempo.

En las pruebas de fitotoxicidad se emplearon como modelo biológico las semillas de rabanito (*Raphanus sativus)* sin embargo, se requiere probar en otras especies para evaluar su sensibilidad a los compuestos tóxicos como en beterraga (*Betas vulgaris*).

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

Los resultados de esta investigación contribuyen a comprender los riesgos asociados con la descarga de aguas residuales de la postcosecha de café en suelos agrícolas y pueden servir como base para el desarrollo de estrategias de manejo sostenible, incluyendo posibles tratamientos o alternativas de reutilización de estas aguas residuales que reducen, la contaminación del suelo y la fuente hídrica del agua para proteger la reducción del vertido de efluentes tanto local como regional. Está reducción permitirá la mejora de la calidad de agua, lo que beneficiará a la salud del sector público y el ecosistema acuático.

Así mismo, el estudio aporta información valiosa sobre los efectos fitotóxicos en cultivos de consumo humano, ayudando a mejorar las prácticas agrícolas y la gestión ambiental en zonas productoras de café. Además, contribuye a la formulación de políticas que permitan incluir en la evaluación de la calidad de agua residual, los parámetros fitotóxicos.

De esta manera se contribuirá a la gestión sostenible del recurso hídrico, en concordancia con los objetivos del desarrollo sostenible (ODS), siendo la ODS3, salud y bienestar. ODS6, garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. ODS13, adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. ODS15, vida de ecosistemas terrestres. ODS17, alianzas para lograr los objetivos y en concordancia con el Plan Estratégico de Desarrollo Nacional al 2025, el estudio está alineado al objetivo nacional "Gestionar el territorio de manera sostenible para prevenir y reducir los riesgos y amenazas que afectan a las personas y sus medios de vida" contribuyendo a los objetivos de desarrollo sostenible, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020).

El impacto social del estudio radica en que proporciona a los agricultores información esencial sobre el procesamiento de las aguas residuales de café, lo que permitiría tomar mejores alternativas de decisión referente al riego de sus cultivos y evitar pérdidas económicas y financieras. En el futuro la implementación de prácticas sostenibles podría mejorar la calidad de vida de las comunidades agrícolas.

El impacto económico contribuiría a la disminución de las pérdidas de las cosechas y el deterioro de los suelos debido a la contaminación de las aguas residuales de café, los agricultores pueden tener un impacto económico positivo, lo que permite mantener e incluso incrementar la productividad y la rentabilidad.

En lo referente a estudios de toxicidad de las aguas residuales se tiene que, el procesamiento del café posterior a la cosecha se puede clasificar según Campos et al., (2021) en tres vías: vía seca, vía semihúmeda y vía húmeda. Menciona que, en la

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

primera vía, posterior a la cosecha del café se realiza un proceso de lavado, se eliminan las impurezas y se seca el producto final.

De este proceso, se obtienen residuos líquidos que corresponden a las aguas residuales del lavado del café (CWW), "Coffee Wastewater" por sus siglas en inglés. Por otro lado, añade que, en las otras dos vías que consisten en secar los frutos pelados en la vía semihúmeda y secar los frutos despulpados, también se generan residuos líquidos adicionales a CWW. Menciona que en la vía semihúmeda se obtienen las aguas residuales del descascarillado del café (CPW), mientras que, en la vía húmeda también se obtienen las aguas residuales del mucílago del café (CMW) y fermentación del café (CFW).

Las aguas residuales de la postcosecha del café corresponden a los residuos líquidos que se producen en las distintas vías y que contienen residuos de la fruta cosechada o del producto con el que se esté trabajando en las diferentes vías, asimismo, puede tener diferentes compuestos cómo: pesticidas, tierra, microorganismos, insectos, entre otros.

Las aguas residuales del procesamiento del café (CWW), generadas durante el beneficio húmedo y caracterizadas por su alta carga orgánica y de nutrientes, suelen disponerse en el suelo sin un monitoreo adecuado de su toxicidad. En este estudio se evaluó el potencial fitotóxico, citogenotóxico y mutagénico de las ARC sobre la planta modelo *Lactuca sativa* L. Si bien los parámetros fisicoquímicos cumplieron con los límites normativos del CONAMA, los ensayos biológicos evidenciaron que la exposición al efluente —de forma dependiente de la dosis— inhibe la germinación y el crecimiento radicular, además de inducir alteraciones nucleares y cromosómicas de carácter aneugénico (Aguiar et al., 2016).

Respecto al uso de pruebas de toxicidad, se ha realizado estudios en *Raphanus sativus* después de ser expuesto a las aguas residuales obtenidas de una planta de tratamiento. Las metodologías que se emplean en los estudios de fitotoxicidad son la prueba de germinación y alargamiento de la raíz (Ceballos & Carranza, 2022).

Por otro lado, las semillas *Raphanus sativus* se consideran útiles en estudios de fitotoxicidad debido a su alto porcentaje de germinación, y es considerada un biomarcador de estrés (Taladrid & Espinosa, 2021). Sin embargo, *Raphanus sativus* no es el único modelo para estudiar la fitotoxicidad de las aguas residuales.

En el estudio realizado por Alias et al., (2023) se menciona que *Allium cepa* también se emplea en este tipo de pruebas, debido a que se pueden analizar parámetros macroscópicos en sus raíces, asimismo, sus raíces son sensibles y la elongación radicular se reduce frente a la contaminación por la supresión de

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

la actividad del meristema y bloqueo del ciclo celular.

En el caso de *Beta vulgaris L.*, el formar parte de la producción mundial de azúcar, tiene una gran importancia en la agricultura y economía. Se ha demostrado que los herbicidas como el Fomesafen empleados en cultivos de *Beta vulgaris L.*, implican un aumento de la fitotoxicidad, mientras que, disminuyen otros valores de la planta cómo los siguientes: altura, área foliar, longitud radicular, volumen radicular y el peso seco (Li et al., 2022). Este estudio demostró que la beterraga (*Beta vulgaris L.*) puede usarse en estudios de fitotoxicidad.

Metodología

El estudio correspondió a una investigación aplicada, de alcance regional, con enfoque cuantitativo y un diseño experimental. El experimento se estableció mediante un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 2 × 8, conformado por un grupo control negativo (agua destilada) y siete tratamientos correspondientes a diferentes concentraciones del agua residual de la postcosecha de café (1 %, 3 %, 5 %, 12,5 %, 25 %, 50 % y 100 %). Cada unidad experimental estuvo constituida por 25 semillas de rabanito (*Raphanus sativus*) y beterraga (*Beta vulgaris*) procedentes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Los bioensayos fueron realizados en los laboratorios de Biología y Microbiología de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas de la Universidad Nacional Federico Villarreal durante los meses de abril a noviembre del 2025.

La muestra de agua residual del proceso de post cosecha del café fue obtenida de la Cooperativa Agraria Cafetalera “La Prosperidad” de Chirinos, Municipio de San Ignacio – Cajamarca. La técnica de recolección de datos fue la observación y el instrumento que se utilizó en la investigación fue el formato de registro de evaluación de la fitotoxicidad del agua residual de la postcosecha del café por unidad de análisis experimental (semillas de rabanito (*Raphanus sativus)* y beterraga (*Beta vulgaris*). El instrumento presentó un coeficiente Alfa de Cronbach de 0.88 que demuestra una consistencia interna para la recopilación de los datos y la confiabilidad de los datos se basó en la estandarización del procedimiento experimental diseñado.

Procedimiento

Se realizó la toma de muestra del agua residual del proceso de postcosecha de café de la Cooperativa Agraria Cafetalera “La Prosperidad” de Chirinos, Municipio de San Ignacio – Cajamarca, recolectados en frascos de vidrio de boca ancha, con un volumen significativo (aproximadamente 20 litros) para poder garantizar la homogeneidad y el

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

uso durante el experimento, con un pH de 3.03 y conductividad eléctrica de 3.41 mS/cm los cuales fueron trasladados manteniendo la cadena fría hasta el laboratorio para la instalación del experimento.

Para la evaluación de los efectos fitotóxicos en el desarrollo de la plántula, se utilizaron las semillas rabanito (*Raphanus sativus*), variedad 'Cherry Belle', perteneciente a la División: Magnoliophyta, Clase: Magnoliopsida, Orden: Brassicales, Familia: Brassicaceae, Género: *Raphanus y* Especie: *Raphanus sativus* L. La variedad *Beta vulgaris* var. Esculenta perteneciente a la División Magnoliophyta (Angiospermas). Clase: Magnoliopsida (Dicotiledóneas). Orden: Caryophyllales. Familia. Amaranthaceae. Género: Beta Especie: *Beta vulgaris* (FAO, 2020).

Se procedió a la instalación del bioensayo colocando 25 semillas en una bandeja de 30 x 20 cm, previamente se colocó una base de papel absorbente Whatman N°3 y se añadió 20 ml del agua residual de café a diferentes concentraciones (100 %, 50 %, 25 %, 12.5 %, 5 %, 3 % y 1 %), posteriormente se cubrió con una película de film, se incubó en oscuridad a 22 ± 2ºC durante 96 horas para evaluar el efecto en la germinación de las semillas y posteriormente continuó hasta los15 días de exposición para evaluar el efecto en el crecimiento radicular. Después del periodo de incubación correspondiente, se registró el número de semillas germinadas, longitud de las raíces por cada concentración de la muestra. Se utilizó como control negativo y como diluyente agua destilada estéril. Para la evaluación de la fitotoxicidad se usarán las siguientes formulas según Rodríguez et al., *(*2014):

Porcentaje de la germinación relativa de semillas (GRS)

$$GRS\ (\%) = \frac{Nro.\,de\ semillas\ germinadas\ con\ la\ muestra\ de\ agua\ residual}{Nro.\,de\ semillas\ germinadas\ en\ agua\ destilada\ control}$$

Crecimiento relativo de la radícula (CRR)

$$CRR\ (\%) = \frac{Longitud\ promedio\ de\ la\ radicula\ con\ la\ muestra\ de\ agua\ residual}{Longitud\ promedio\ de\ la\ radicula\ en\ agua\ destilada\ control}$$

Índice de germinación (IG)

$$IG\ (\%) = \frac{GRS\ x\ CRR}{100}$$

Índice del porcentaje de germinación residual normalizado (IGN)

$$IGN = \frac{Germx - GermTestigo}{Germtestigo}$$

Donde:

$Germ_X$ = Porcentaje promedio de semillas germinadas en el agua de estudio

$GermT_{estigo}$= Porcentaje de semillas germinadas en el testigo.

Elongación radical residual normalizado (IER)

$$IER = \frac{Elongx - Elongtestigo}{Elongtestigo}$$

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

Donde:

Elongx= Longitud promedio de la radícula de las semillas germinadas tratadas.

$Elong_{testigo}$= Longitud promedio de la radícula de las semillas germinadas testigo.

Para la interpretación de los resultados mediante los índices IGN e IER, se empleó la escala propuesta por Bagur-González et al., (2011), la cual comprende un rango de valores de toxicidad desde -1 a > 0

Rango de IGN / IER	Categoría de toxicidad / Efecto biológico
> 0	Hormesis / Estimulación del crecimiento radicular
0 a -0,25	Baja toxicidad
-0,25 a -0,50	Toxicidad moderada
-0,50 a -0,75	Muy tóxico
-0,75 a -1,00	Toxicidad muy alta

Tabla 1. Categorización de los índices de germinación y elongación radicular (IGN e IER) según su grado de toxicidad (adaptado de Bagur-González et al., 2011)

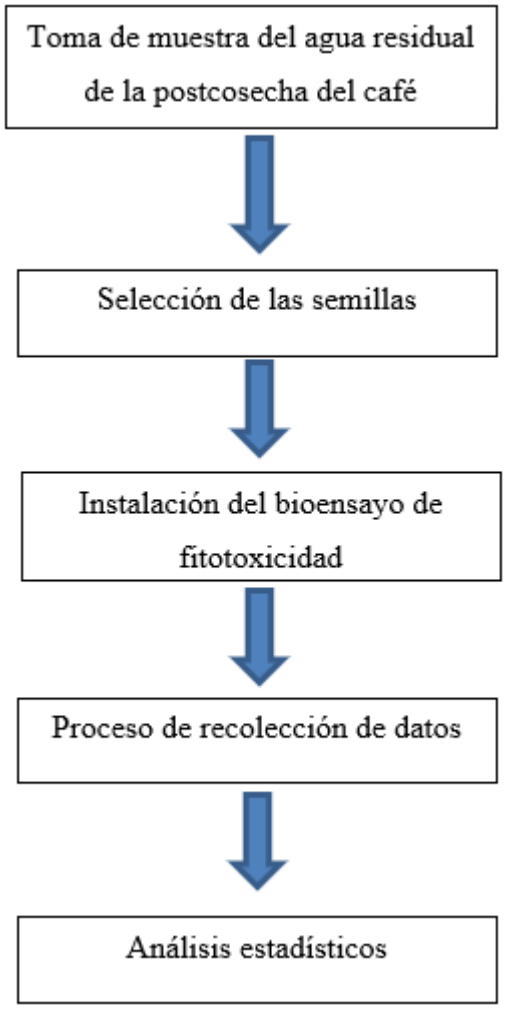


Figura 1. Flujograma del procedimiento

Resultados

En la Tabla 2 y Figura 2 se tiene los resultados a las 96 horas de exposición al agua residual del procesamiento del café, observándose los porcentajes de la Germinación Relativa de Semillas (GRS), Índice de Germinación (IG) y Porcentaje de Germinación (% G), los cuales son indicadores que confirman la toxicidad sobre la germinación en las semillas de rabanito (*Raphanus sativus*), con una germinación del 96% en el control, el porcentaje

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

comienza a descender con las dosis de 12.50 %, 25 % 50 % y 100 % siendo la dosis del 12.50 %, donde el GRS y el % G son 42 % y 40 %, respectivamente. En las dosis del 50 % y 100 %, la germinación es completamente nula.

En la Longitud Promedio Radicular y Crecimiento Relativo de la Radícula (CRR) se evidencia una inhibición progresiva del crecimiento de la radícula sin embargo en el control la longitud promedio es de 5.89 cm, en la dosis del 1 % ya se reduce a 4.81 cm. Esta inhibición se torna severa a partir de la dosis de 12.50 %, donde la longitud es de 0.29 cm, y alcanza una inhibición total de 0.00 cm en las concentraciones de 50 % y 100 %. El CRR refleja esta misma tendencia, pasando de 81.76 % en la dosis baja a un valor cercano a cero en las dosis más altas (Ver Figura 3).

En la Tabla 3 se evidencia los resultados preliminares del Índice de Porcentaje de Germinación Residual Normalizado (IGN) y Elongación Radical Residual Normalizado (IER), parámetros normalizados, que evalúan el efecto residual, muestran valores negativos, lo que indica un efecto inhibidor. Los valores más negativos, como el -0.58 y -0.92 en el IGN, confirman que el agua residual del procesamiento del café es muy toxico y tiene toxicidad muy alta en las dosis del 12.50 % y 25 %, respectivamente.

El IER sigue una lógica similar, con un valor negativo en la primera dosis, señalando la inhibición del crecimiento radicular. Por consiguiente, se evidencia una clara relación de dosis-respuesta en la fitotoxicidad que genera el agua residual de la postcosecha del café. A medida que aumenta la dosis (concentración) de la sustancia, los efectos negativos sobre la germinación y el crecimiento radicular se vuelven más pronunciados (Ver Figura 4 y 5).

En la Tabla 4 se puede evidenciar que la medición del crecimiento de la raíz de beterraga (*Betas vulgaris*) se ha usado la germinación como indicador de toxicidad o inhibición, es decir que el grupo control tiene como base un porcentaje de germinación del 78 % y un crecimiento relativo de la radícula (CRR) del 100% además la longitud promedio radicular fue de 0.53 cm. Así mismo, se puede observar que la concentración del 1% muestra una disminución drástica en la germinación, descendiendo al 5.128 % G (un 10.26 % de la germinación relativa).

Asimismo, el crecimiento radicular fue severamente afectado, con una reducción de CRR al 64.15 % y una longitud promedio de 0.34 cm. En cambio, la concentración del 3 % intensificó la inhibición: el Porcentaje de Germinación se redujo aún más al 1.28 % (sólo 2.56 % relativo). El efecto más notable se observó en el crecimiento: el CRR disminuyó significativamente hasta el 28.3 % de la capacidad del control, y la longitud radicular fue de solo 0.15 cm.

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

Respecto a la concentración del 5 % y en todas las concentraciones superiores (12.50 %, 25 %, 50 % y 100 %), se observó una inhibición total de todos los parámetros de crecimiento y desarrollo. Además, el porcentaje de germinación (G %) como el crecimiento relativo de la radícula (CRR) fueron de 0% en estos grupos, indicando un efecto letal de biocida a estas concentraciones (Ver Figura 6 y 7).

En la Tabla 5 se puede evidenciar que el índice del porcentaje de germinación residual normalizado (IGN) indica una toxicidad extremadamente alta incluso a bajas concentraciones: Es decir tanto 1 % como 3% tienen toxicidad muy alta en la germinación y sus valores -0.934 y -0.983 esto significa que la germinación se observó casi completamente suprimida o severamente afectada en comparación con el control. Sin embargo, a partir del 5 %, el IGN alcanza el valor de -1 y se mantiene constante hasta el 100 %. De modo que esto se clasifica como toxicidad muy alta en todos los casos, sugiriendo una inhibición total de la germinación a estas concentraciones.

Sobre la elongación radicular residual normalizada (IER) sigue una tendencia similar, aunque con una ligera diferencia del 1 %. Es decir, en contraste con la germinación, el 1 % mostro una toxicidad moderada con un IER de -0.358. Sin embargo, la longitud de inhibición/alargamiento radicular fue de 35.51, confirmando una reducción significativa del crecimiento.

Respecto al 3 % el efecto se incrementa notablemente, siendo clasificado como muy tóxico con un IER de -0.716 y una inhibición que alcanza el 72.39 %. A partir del 5 % al 100 %, al igual que la germinación, el IER alcanza el valor de -1 en todas las dosis. La clasificación es toxicidad muy alta, y la longitud de inhibición/alargamiento radicular es 100 % en todos los casos, lo que implica una inhibición completa de la elongación radicular de acuerdo a estas concentraciones (Ver Figura 8 y 9).

Grupos	Porcentaje germinación (% G)	Índice de germinación (IG)	Porcentaje de la germinación relativa de semillas (GRS)	Longitud promedio radicular (cm)	Crecimiento relativo de la radícula (CRR)
Control	96.00		100	5.89	
1 %	92.00	78.488	96	4.81	81.76
3 %	88.00	48.347	92	3.09	52.55

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

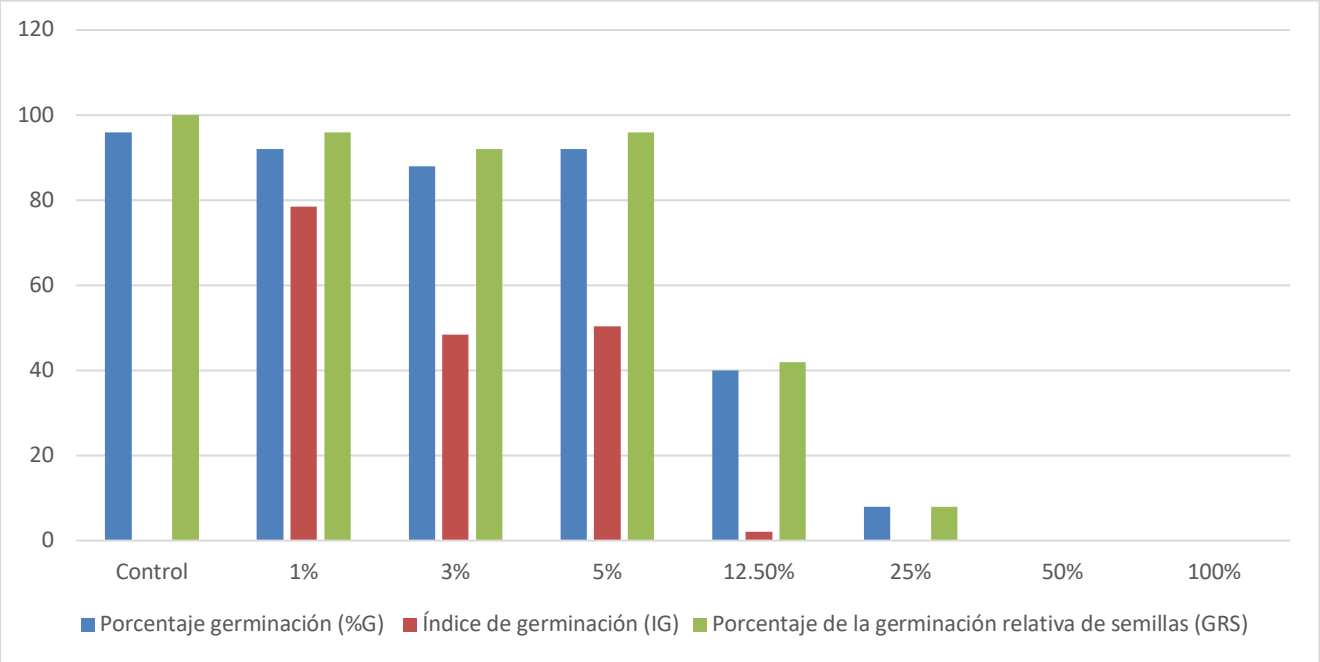
ISSN: 2665-0398

5 %	92.00	50.329	96	3.09	52.43
12.50 %	40.00	2.071	42	0.29	4.93
25 %	8.00	0.033	8	0.02	0.41
50 %	0.00	0.000	0	0	0.00
100 %	0.00	0.000	0	0	0.00

Tabla 2. Mediciones del crecimiento de la raíz de rabanito (Raphanus sativus)

Dosis	Índice del porcentaje de germinación residual normalizado (IGN)	Nivel de toxicidad en la germinación	Elongación radical residual normalizado (IER)	Nivel de toxicidad en la elongación radicular
Control				
1 %	-0.04	Baja toxicidad	-0.18	Baja toxicidad
3 %	-0.08	Baja toxicidad	-0.47	Toxicidad moderada
5 %	-0.04	Baja toxicidad	-0.48	Toxicidad moderada
12.50 %	-0.58	Muy toxico	-0.95	Toxicidad muy alta
25 %	-0.92	Toxicidad muy alta	-1.00	Toxicidad muy alta
50 %	-1.00	Toxicidad muy alta	-1.00	Toxicidad muy alta
100 %	-1.00	Toxicidad muy alta	-1.00	Toxicidad muy alta

Tabla 3. Índices del porcentaje de germinación residual normalizado y elongación radical residual normalizado de rabanito (Raphanus sativus)



Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

Figura 2. Mediciones de la germinación de semillas de rabanito (Raphanus sativus)

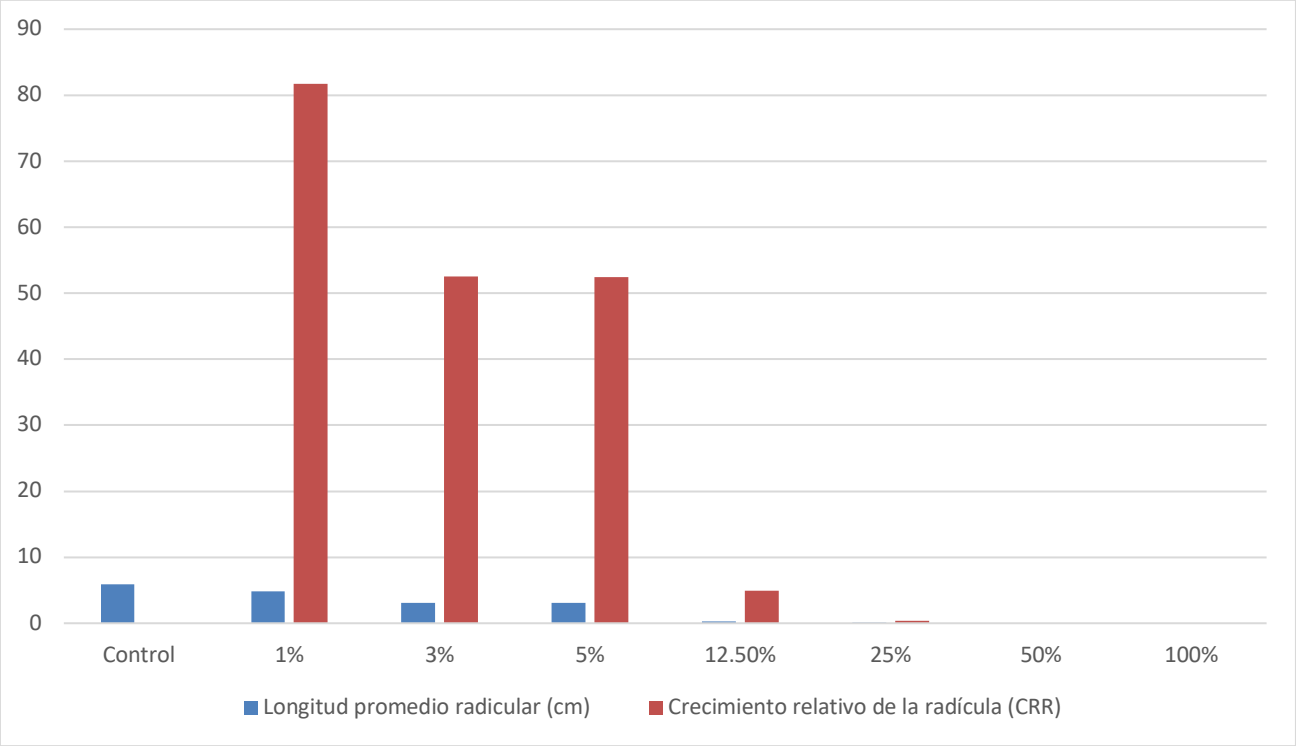


Figura 3. Mediciones de la longitud promedio y crecimiento relativo de la radícula del rabanito (Raphanus sativus)

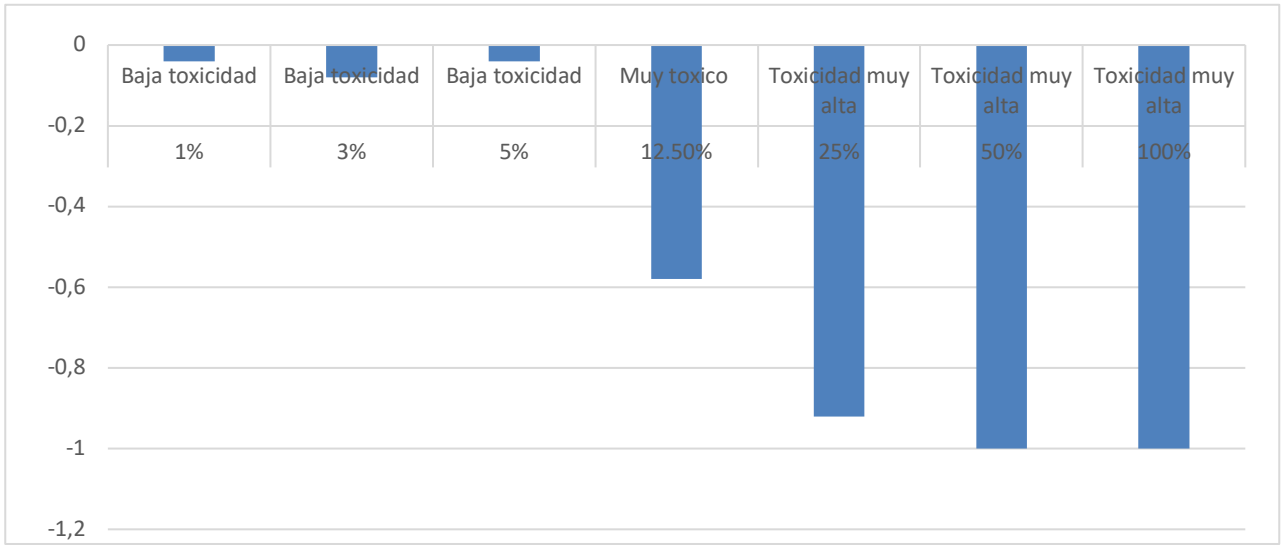


Figura 4. Índice del porcentaje de germinación residual normalizado (IGN) y nivel de toxicidad en la germinación de rabanito (Raphanus sativus)

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

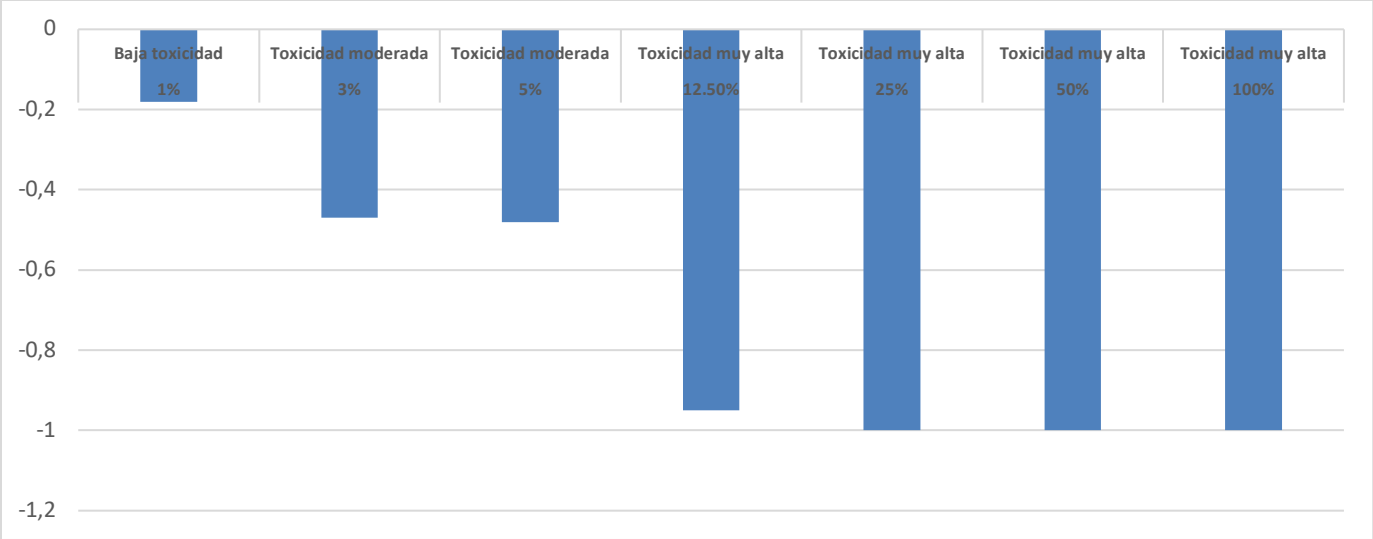


Figura 5. Elongación radical residual normalizado (IER) y nivel de toxicidad en la elongación radicular de rabanito (Raphanus sativus)

Grupos	Porcentaje germinación (% G)	Índice de germinación (IG)	Porcentaje de la germinación relativa de semillas (GRS)	Longitud promedio radicular (cm)	Crecimiento relativo de la radícula (CRR)
Control	78		100	0.53	100
1 %	5.128	6.581	10.26	0.34	64.15
3 %	1.28	0.724	2.56	0.15	28.3
5 %	0	0	0	0	0
12.50 %	0	0	0	0	0
25 %	0	0	0	0	0
50 %	0	0	0	0	0
100 %	0	0	0	0	0

Tabla 4. Mediciones del crecimiento de la raíz de beterraga (Betas vulgaris)

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

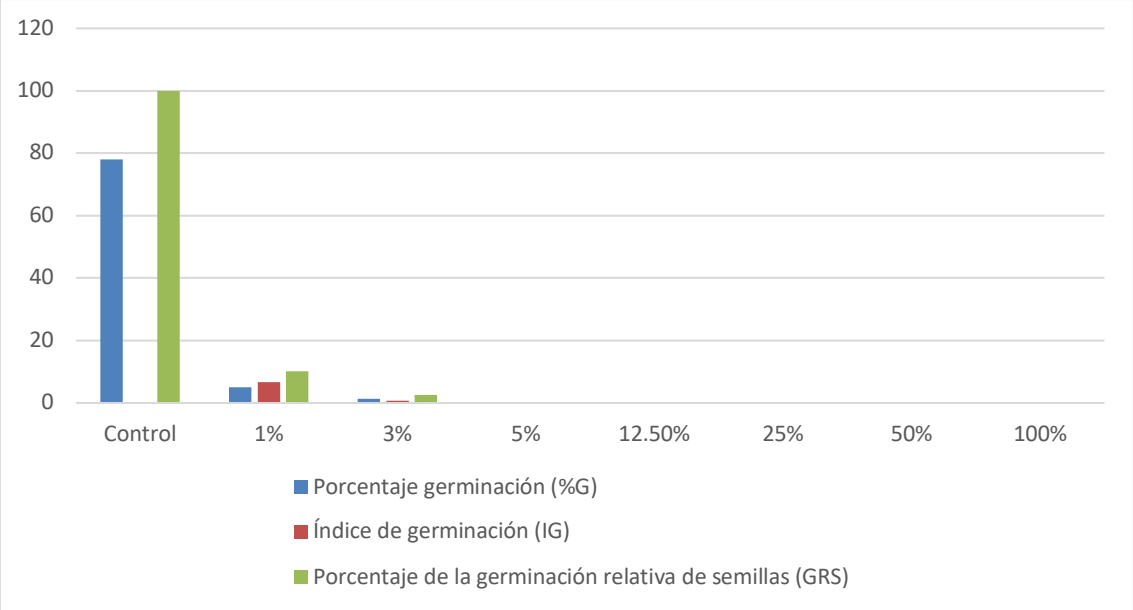


Figura 6. Mediciones de la germinación de semillas de beterraga (Betas vulgaris)

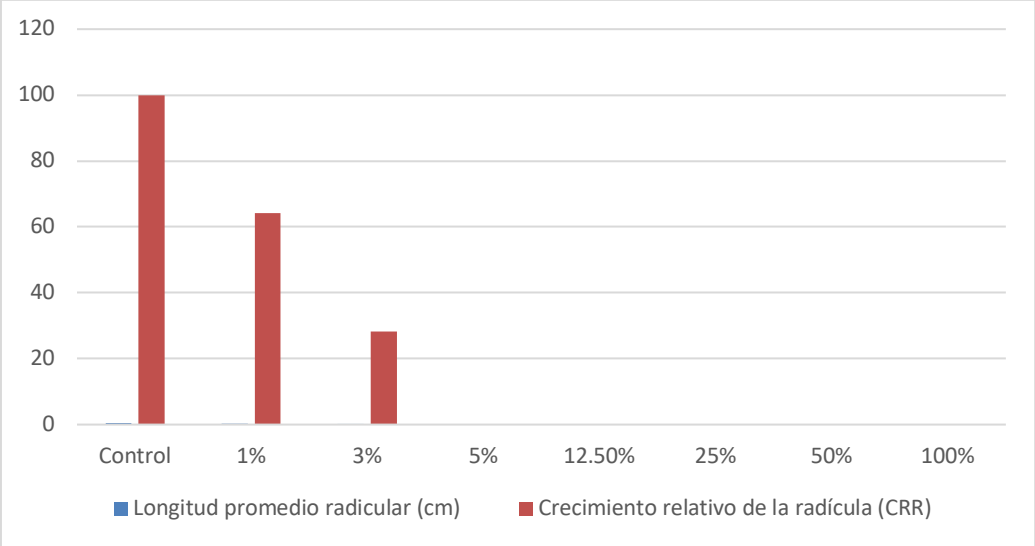


Figura 7. Mediciones de la longitud promedio y crecimiento relativo de la radícula de beterraga (Betas vulgaris)

Dosis	Índice del porcentaje de germinación residual	Nivel de toxicidad en la germinación	Elongación radical residual normalizado (IER)	Nivel de toxicidad en la elongación radicular	Longitud inhibición alargamiento radicular

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

	normalizado (IGN)				
Control					
1 %	-0.934	Toxicidad muy alta	-0.358	Toxicidad moderada	35.51
3 %	-0.983	Toxicidad muy alta	-0.716	Muy tóxico	72.39
5 %	-1	Toxicidad muy alta	-1	Toxicidad muy alta	100.00
12.50 %	-1	Toxicidad muy alta	-1	Toxicidad muy alta	100.00
25 %	-1	Toxicidad muy alta	-1	Toxicidad muy alta	100.00
50 %	-1	Toxicidad muy alta	-1	Toxicidad muy alta	100.00
100 %	-1	Toxicidad muy alta	-1	Toxicidad muy alta	100

Tabla 5. Índices del porcentaje de germinación residual normalizado y elongación radical residual normalizado de beterraga (Betas vulgaris)

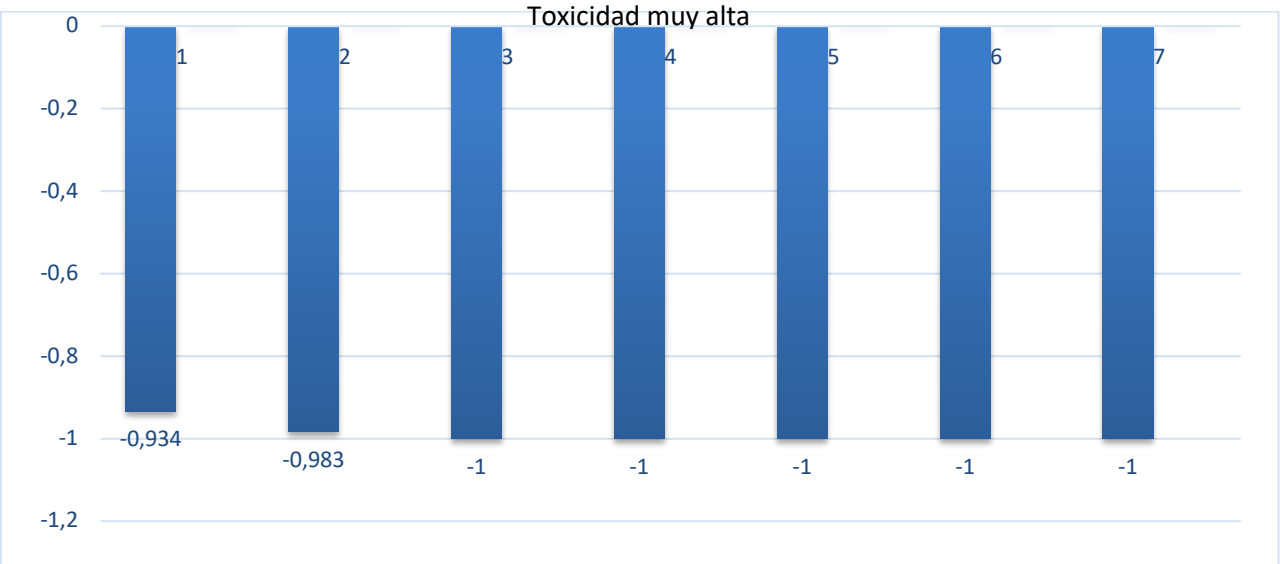


Figura 8. Índice del porcentaje de germinación residual normalizado (IGN) y nivel de toxicidad en la germinación de beterraga (Betas vulgaris)

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

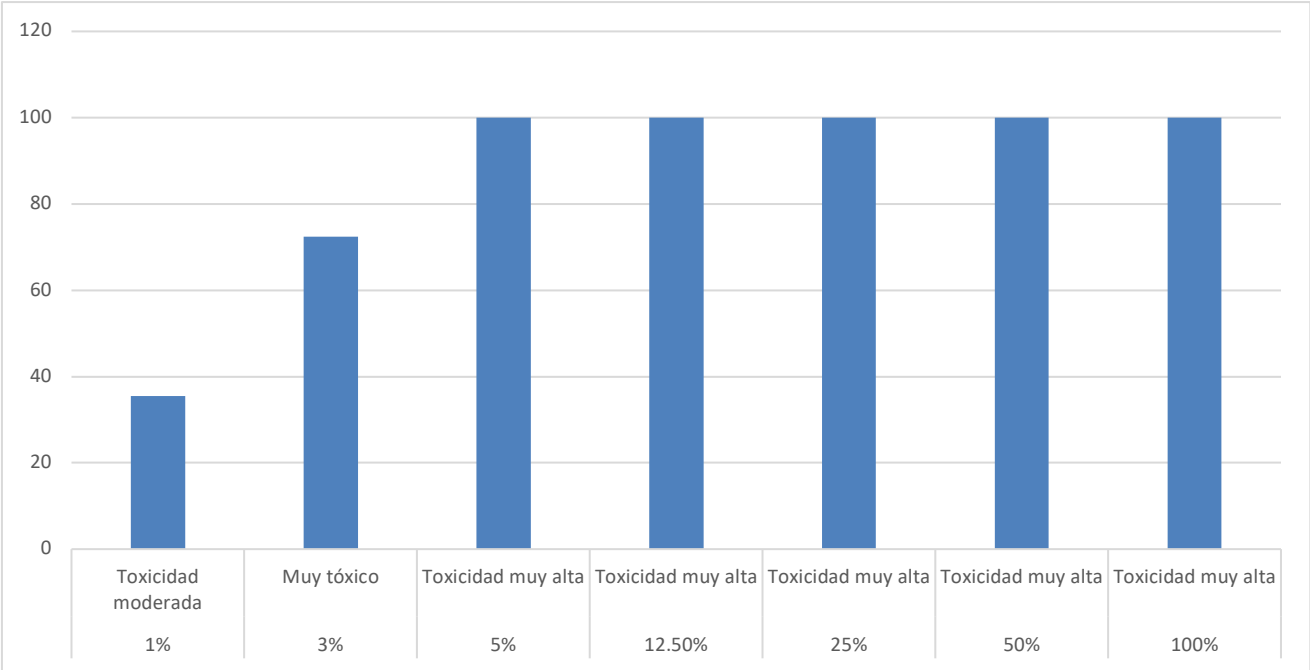


Figura 9. Elongación radical residual normalizado (IER) y nivel de toxicidad en la elongación radicular de beterraga (Betas vulgaris)

Discusión

En la evaluación de la calidad del agua la conductividad eléctrica (CE) y el pH constituyen parámetros fisicoquímicos fundamentales para determinar su aptitud en el riego. Al contrastar los resultados de (CE) y el pH con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobados mediante el Decreto Supremo N.°004-2017-MINAM, se observa que superan los límites normativos establecidos para la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales (Subcategoría D1: Riego de vegetales).

Dicha normativa fija un rango permisible de pH entre 6.5 y 8.5. Sin embargo, el valor obtenido evidencia un nivel de acidez extremo, alejándose de las condiciones óptimas para el desarrollo agrícola. Un pH marcadamente ácido incide negativamente en la dinámica del suelo y restringe la disponibilidad balanceada de nutrientes esenciales para los cultivos, lo cual suele asociarse con problemas de fitotoxicidad e inhibición radicular (Rafik & Qadir, 2024). Sobre la salinidad, la ECA establece como valor máximo de (CE) para agua de riego 2500 µS/cm, valor que equivale exactamente a 2.5 mS/cm. el resultado obtenido supera sustancialmente este límite ambiental permisible.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

En la literatura científica se considera que valores de CE superiores a 0.75 dS/m (equivalente a 0.75 mS/cm) representan un riesgo alto de salinización, mientras que niveles que sobrepasan los 2.25 dS/m (equivalente a 2.25 mS/cm) se clasifican dentro de la categoría de "salinidad muy alta" (Hasheminejhad & Dehghany, 2024). Por consiguiente, un valor de 3.41 mS/cm sobrepasa ampliamente tanto el umbral de salinidad muy alta como el estándar regulatorio nacional de 2.5 mS/cm.

Estas condiciones extremas de acidez y salinidad generan severos efectos fitotóxicos en especies vegetales sensibles. Tal como reportan Rafik et al., (2023), la aplicación continuada de aguas salinas favorece la acumulación progresiva de sales en la matriz del suelo, deteriorando su estructura y limitando la productividad de los cultivos. Asimismo, en ensayos experimentales con tomate (*Solanum lycopersicum*), Karaca et al., (2024) documentaron que el estrés salino elevado provoca una drástica reducción en la conductancia estomática, la tasa fotosintética y otros parámetros fisiológicos clave, corroborando el impacto adverso y restrictivo de este tipo de aguas sobre el crecimiento vegetativo.

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que el agua residual de la postcosecha del café presenta un efecto fitotóxico significativo sobre las semillas evaluadas, particularmente en rabanito (*Raphanus sativus*) y beterraga (*Beta vulgaris*). Estos efectos se manifiestan tanto en la reducción del porcentaje de germinación como en la inhibición del crecimiento radicular, mostrando una clara relación dosis-respuesta.

La tendencia observada coincide con estudios previos como los reportados por Aguiar et al., (2016), quienes señalaron que las aguas residuales de café pueden contener compuestos tóxicos como fenoles, materia orgánica en exceso y sustancias generadas durante el despulpado y fermentación del café, capaces de afectar parámetros fisiológicos esenciales del desarrollo vegetal.

En el caso del rabanito (*Raphanus sativus*), los resultados demostraron que concentraciones iguales o superiores a 12.5 % reducen drásticamente la germinación y el crecimiento de la radícula. Este comportamiento es consistente con la naturaleza sensible de esta especie, ampliamente documentada como bioindicador en estudios de fitotoxicidad debido a su ciclo corto y meristemos activos susceptibles a contaminantes (Ceballos & Carranza, 2022; Taladrid & Espinosa, 2021).

En rabanito el IER evidenció toxicidad moderada a 3 % (-0.47), mientras que en beterraga el IER escaló a toxicidad muy alta a 5 % (-1.00), probando variabilidad intrínseca en barreras fisiológicas. Coincidiendo con Chowdhary et al., (2022) y Aragão et al., (2024), los análisis fisicoquímicos estándar son insuficientes; los

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

bioensayos son imprescindibles antes del vertimiento agrícola.

Para las semillas de beterraga (*Beta vulgaris*), los resultados muestran una sensibilidad incluso mayor, con inhibición drástica desde las concentraciones más bajas evaluadas. Esto coincide con estudios de sensibilidad de *Beta vulgaris* frente a sustancias tóxicas como herbicidas u otros compuestos presentes en efluentes (Li et al., 2022).

Los índices normalizados IGN e IER mostraron valores negativos crecientes conforme aumentó la concentración del agua residual, ubicándose en categorías de toxicidad alta y muy alta. Esto confirma que los compuestos presentes en el agua afectan procesos como absorción de agua, respiración celular, integridad del meristemo radicular y activación enzimática. El uso complementario de los índices de IGN e IER permitió confirmar que la elongación radical es sustancialmente más sensible que la tasa de germinación inicial. Ratifica lo expuesto por Kanjevac et al., (2022) y Araniti et al., (2022): las radículas reaccionan tempranamente bloqueando la absorción celular por estrés osmótico.

La consistencia de los resultados con estudios previos respalda la hipótesis inicial y evidencia que el agua residual de lapost cosecha del café sin tratamiento representa un riesgo para cultivos agrícolas. Asimismo, los resultados subrayan la importancia de complementar los análisis fisicoquímicos tradicionales con ensayos biológicos, puesto que estos permiten evidenciar impactos reales sobre organismos vivos. El uso de bioindicadores vegetales constituye así una herramienta fundamental para evaluar de manera integral la calidad de aguas residuales y su impacto ambiental

Los resultados evidencian una marcada fitotoxicidad dependiente de la concentración de efluente, manifestándose con fuerza desde 12.5% en rabanito y desde 5% en beterraga. Consistente con Agudelo-Escobar et al., (2022) y Taiwo et al., (2025): la alta carga orgánica y compuestos fenólicos recalcitrantes alteran los procesos fisiológicos básicos.

Conclusiones

1. El agua residual de la postcosecha del café presenta un efecto fitotóxico significativo sobre rabanito (*Raphanus sativus*) y beterraga (*Beta vulgaris*), afectando tanto la germinación como el crecimiento radicular.
2. En rabanito, concentraciones iguales o superiores al 12.5 % generan inhibición severa de germinación y elongación radicular, llegando a inhibición total en 50 % y 100 %.
3. La beterraga presentó mayor sensibilidad, con inhibición drástica desde el 1 % y toxicidad muy alta desde el 5 % en adelante.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

4. Los índices normalizados IGN e IER confirmaron una relación dosis-respuesta marcada, con categorías de toxicidad moderada a muy alta.

Referencias

Agudelo-Escobar, L. M., Cabrera, S. E., & Avignone Rossa, C. (2022). A bioelectrochemical system for waste degradation and energy recovery from industrial coffee wastewater. Frontiers in Chemical Engineering, 4, 814987. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.3389/fceng.2022.814987

Aguiar, L. L., Andrade-Vieira, L. F., & de Oliveira David, J. A. (2016). Evaluation of the toxic potential of coffee wastewater on seeds, roots and meristematic cells of Lactuca sativa L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *133*, 366-372. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.07.019

Alias, C., Feretti, D., Viola, G., Zerbini, I., Bisceglie, F., Pelosi, G., Zani, C., Buschini, A., Carcelli, M., Rogolino, D., Restivo, F., & Degola, F. (2023). *Allium cepa* tests: A plant-based tool for the early evaluation of toxicity and genotoxicity of newly synthetized antifungal molecules, *Mutation Research-Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 889(2023), 1-7. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2023.503654

Aragão, F. B., Galter, I. N., Grecco, K. D., Roncetti, E., Turial da Silva, T., Marques, M., Narciso, M. & Tamie, S. (2024). Toxic risk evaluation of effluents from a swine biodigester in the plant models Lactuca sativa and *Allium cepa*. Environmental Monitoring and Assessment, 196, 64. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.1007/s10661-023-12173-x

Araniti, F., Prinsi, B., & Espen, L. (2022). The Delay of Raphanus raphanistrum subsp. sativus Seed Germination Induced by Coumarin Is Mediated by a Lower Ability to Sustain the Energetic Metabolism. Plants, 11, 843. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.3390/plants11070843

Bagur-González, M.G., Estepa, C., Martín-Peinado, F.; & Morales. Ruano, S. (2011). Toxicity assessment using Lactuca sativa L. bioassay of the metal(loid)s As, Cu, Mn, Pb and Zn in soluble-in-water saturated soil extracts from an abandoned mining site. *Journal of Soils and Sediments* 11(2), 281–289. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.1007/s11368-010-0285-4

Campos, R., Arruda, V., Fernández, L., Silva, S., & Coimbra, J. (2021). New sustainable perspectives for "Coffee Wastewater" and other by-products: A critical review. *Future Foods, 4*, 1-10. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100058

Ceballos, J. G., & Carranza, C. (2022). El agua residual en la agricultura y la salud. *Revista Universitarios Potosinos,* (266), 9-14. Documento en línea. Disponible https://leka.uaslp.mx/index.php/universitarios-potosinos/article/view/205

Chowdhary, P., Singh, A., Chandra, R., Kumar, P.S., Raj, A., & Naresh, R. (2022). Detection and identification of hazardous organic pollutants from distillery wastewater by GC-MS analysis and its phytotoxicity and genotoxicity evaluation by using Allium cepa and Cicer arietinum L. Chemosphere, 297, 134123. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134123

Hasheminejhad, Y., & Dehghany, F. (2024). *Characterization and management of salt affected soils in irrigated pistachio orchards*. *Journal of Agricultural and Food Management Research.* Documento en línea. Disponible https://dlsr.iut.ac.ir/article_3672_3f86190b864e02c01ca867603ffe94a7.pdf?utm_source=chatgpt.com

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

Huatuco Lozano, M., Carlos Reyes, G., & Castañeda Halanocca, L. (2025). Efectos genotóxicos y citotóxicos de agua residual tratada para regadío en parques y jardines. *Revista de Investigación Hatun Yachay Wasi*, 4(1), 51-61. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.57107/hyw.v4i1.85

Ibáñez, D., & Angulo, M. (2022). Evaluación del riesgo genotóxico de aguas superficiales y Sistemas de Riego Mediante Estudios Ecotoxicológicos Empleando Células de Raices de *Allium cepa* L. Acta Nova, 10(4), 430-442. Documento en línea. Disponible http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v10n4/1683-0789-ran-10-04-430.pdf.

Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]. (2019). Sistematización de la experiencia de los subproyectos de café financiados por el Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) y Ministerio de Agricultura y Riego. Documento en línea. Disponible https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/572007/estudio-de-cafe.pdf#:~:text=Se%20tiene%20que%20el%20Per%C3%BA%20posee%20425,de%20unidad%20agropecuaria%20dedicada%20al%20cultivo%20de

Kanjevac, M., Jakovljević, D., Todorović, M., Stanković, M., Ćurčić, S. & Bojović, B. (2022). Improvement of Germination and Early Growth of Radish (Raphanus sativus L.) through Modulation of Seed Metabolic Processes. Plants, 11, 757. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.3390/plants11060757

Karaca, C., Aslan, G. E., Kurunc, A., Baştug, R., y Buyuktas, D. (2024). *Impact of Irrigation Water Salinity on Stomatal Conductance and Chlorophyll Content Index of Tomato Plants Across Phenological Stages*. *Agricultural Structures and Irrigation*. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.37394/232024.2024.4.22

Li, X., Riaz, M., Song, B., & Liu, H. (2022). Phytotoxicity response of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) seedlings to herbicide fomesafen in soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 239 (2022), 1-9. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113628

Minhas, P.S., & Qadir, M. (2024). Water Quality Guidelines for Irrigation. In: Irrigation Sustainability with Saline and Alkali Waters. Springer, Singapore. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.1007/978-981-97-4102-1_9

Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. (2019). Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de café (Ficha Técnica Nº11). Documento en línea. Disponible https://www.midagri.gob.pe/portal/informacion-agroclimatica/fichas-tecnicas-2019?download=15875#:~:text=Los%20departamentos%20que%20mantienen%20el,nacional%20es%20de%20826kg/ha

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2017, 7 de junio). Decreto Supremo N.°004-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Diario Oficial El Peruano. Documento en línea. Disponible https://www.minam.gob.pe/wpcontent/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020). Hortalizas en América Latina: Cultivos, usos y conservación. Documento en línea. Disponible https://www.fao.org

Rafik, F., Saber, N., Iben Halima, O., & Douaik, A. (2023). The Effects of the Quality of Irrigation Water Used on Agricultural Soils in Coastal Chaouia, Morocco. *Journal of Ecological Engineering*, 24(2), 50–60. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.12911/22998993/156691

Rodríguez, A., Robles, C., Ruíz, R., López, E., Sedeño, J., & Rodríguez, A. (2014). Índices de germinación y elongación radical de Lactuca sativa en el biomonitoreo de la calidad del agua del río Chalma. *Revista internacional de*

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

contaminación ambiental, *30*(3), 307-316. Documento en línea. Disponible http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000300007&lng=es&tlng=es.

Taladrid, I.J., & Espinosa, M.B. (2021). Semillas de rabanitos (*Raphanus sativus L*): observaciones de su morfología bajo microscopía electrónica, germinación y utilidad para estudios de fitotoxicidad. *Polibotánica*, (51), 171-183. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.18387/polibotanica.51.11

Taiwo KJ, Ogundipe SO, Kerr WL, Pegg RB, Suh JH., & Usack JG (2025) Sustainable management of simulated coffee processing wastewater using micro-aeration enhanced anaerobic digestion: a long-term technical evaluation. Front. Sustain. 6:1681014. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.3389/frsus.2025.1681014

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional