

**Fitotoxicidad de residuos industriales evaluado a partir de bioensayos con hortalizas
Evaluation of phytotoxicity of industrial waste from bioassays with vegetables**

Autores:

María Fernanda Alcívar-Llivicura, <https://orcid.org/0000-0001-9222-3436>

Diego Vinicio-Castro, <https://orcid.org/0000-0001-7526-0403>

Ana Gabriela Batioja-Coroso, <https://orcid.org/0000-0002-6088-0850>

Anthony Gabriel Olvera-Astudillo, <https://orcid.org/0000-0001-5319-7044>

Organismo: Instituto Superior Tecnológico Enrique Noboa, La Troncal- Cañar- Ecuador

Email: maryfer2323@hotmail.com, cstrvinicio@gmail.com,

gabrielabatiojacoroso@gmail.com, anthony97@hotmail.es

Fecha de recibido: 13 jul. 2022

Fecha de aprobado: 8 sep. 2022

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la fitotoxicidad de residuales agroindustriales de La troncal a partir de bioensayos con semillas de lechuga, tomate y rábano. Se realizaron pruebas de germinación de las especies con vinaza y aguas residuales de fábrica, luego de siete días se evaluó la fitotoxicidad resultando que según el índice de germinación ninguno de los residuos evaluados provocó toxicidad en las semillas de lechuga, mientras que, en rábano y tomate la combinación de Agua Residual de Fábrica + Vinaza (T4) causó la inhibición en la germinación. Finalmente, la biomasa de las plántulas no sufrió afectación negativa. A partir de estos resultados podemos recomendar la aplicación de estos residuos de forma individual.

Palabras clave: Agua residual de fábrica; Germinación; Vinaza

Abstract

The objective of the present work was to evaluate the phytotoxicity of agroindustrial waste from La Troncal from bioassays with lettuce, tomato and radish seeds. Germination tests of the species with vinasse and factory wastewater were carried out, after seven days the phytotoxicity was evaluated, resulting in the germination index, none of the residues evaluated caused toxicity in the lettuce seeds, while in radish and tomato the combination of Factory Residual Water + Vinasse (T4) caused germination inhibition. Finally, the biomass of the seedlings was not negatively affected. Based on these results, we can recommend the application of these residues individually.

Keywords: Factory wastewater; Germination; Vinasse

Introducción

El cultivo de caña de azúcar es una de las más importantes actividades económicas en varios países, brinda las características fundamentales para el desarrollo social y seguridad alimentaria de los pueblos ya que es considerado un cultivo económicamente viable y auto energético (Aguilar Rivera, N., 2014). A nivel mundial existe una superficie de 26'777.041 hectáreas destinadas al cultivo de caña de azúcar, con una producción anual de 1.949'310.108 toneladas; y en Ecuador se encuentran registradas alrededor de 121.812 hectáreas destinadas a este cultivo con una producción de 9'257.700 toneladas/año (FAOSTAT, 2019).

La industria azucarera se considera como una de las más antiguas del mundo, estas industrias, se construyeron sin tener en cuenta el volumen y el impacto de algunos residuales líquidos, que se caracterizan por ser altamente agresivos y tóxicos. Las consecuencias de las decisiones tomadas han traído enormes daños al medio ambiente, los que en la mayoría de las veces son irreversibles (Hernández-Baranda *et al.* 2018). Entre los residuos agroindustriales más significativos encontramos bagazo, cachaza, aguas residuales de la fabricación de azúcar, vinazas de residuos alcohólicos, entre otros (Basanta R. *et al.*, 2007).

La vinaza es obtenida como residual resultante de la destilación de alcohol, cuya disposición final no tiene un adecuado tratamiento, en promedio se generan 10 a 15 L de vinaza/L de alcohol producido ((Torres *et al.*, 2019). En tanto que las aguas residuales de la fabricación de azúcar provienen principalmente del lavado de la caña de azúcar, agua de alimentación a calderas, estaciones de evaporación, refinación, limpieza, etc. (Viracucha Ortiz, S. M. 2012). Estos subproductos frescos de la industria azucarera incorporados al suelo generan un impacto negativo sobre las plantas debido a que estos efluentes se caracterizan por presentar altas temperaturas, pH ácido, elevada concentración de DQO (demanda química orgánica), sólidos totales (Sandoval Rojas M.E. 2016). Por otro lado, la gestión no eficiente de estos residuales conlleva muchas emisiones de CH₄, H₂S, CO₂, y otros compuestos contaminantes de los suelos y fuentes de agua. Esta contaminación afecta a las especies vegetales circundantes en el área. En otro nivel, estos desechos afectan en el aspecto socioeconómico y urbanístico de las zonas circundantes a los ingenios azucareros (Chanfón & Lorenzo, 2014).

Cabe aclarar que estos residuos de la agroindustria azucarera pueden ser aprovechados generando un efecto positivo en la calidad del suelo y el rendimiento agrícola de los cultivos, siempre que se le otorgue un tratamiento o procesamiento adecuado a los residuales (Días B. *et al.*, 2010). La aplicación de vinaza beneficia principalmente propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Quiroz 2013). En adición, Santos M 2007 menciona que una solución alternativa para estos residuales podría ser, su utilización como complemento en la elaboración de compost incrementando contenidos de MO, fósforo, potasio asimilable, siendo además una forma de reducir los costos de distribución, aplicación, y a la vez otorgarle valor agregado a estos residuales.

Sin embargo los estudios se centran en aplicaciones de residuales pre tratados o compostados en cultivos anuales como las plantaciones cañeras, por lo que en base a lo expuesto anteriormente y a la poca información sobre pruebas biológicas con este tipo de residuales (vinaza y aguas residuales de la fabricación de azúcar), el presente trabajo se ejecutó con el objetivo de evaluar la fitotoxicidad de estos residuales a partir de bioensayos con semillas de lechuga, tomate y rábano, con los resultados obtenidos en el presente estudio se podría recomendar diversificar el uso de estos residuos.

Materiales y métodos

Sitio del experimento

El experimento se realizó en condiciones controladas de cámara de crecimiento (temperatura de entre $25 \pm 2^\circ\text{C}$; humedad del aire promedio de 70%) en el campus del Instituto Superior Tecnológico Enrique Noboa, en la ciudad de La Troncal, provincia del Cañar, Ecuador.

Características del suelo

Se recolectaron muestras de suelo a 20 cm. de profundidad en una finca localizada entre las coordenadas $2^\circ 24' 44,6''\text{S}$ y $79^\circ 20' 40,8''\text{W}$ a una altura de 17 msnm, La Troncal, Ecuador. El suelo fue secado al aire libre y luego tamizado a través de un tamiz de 2mm para su posterior homogenización. Según la clasificación SoilTaxonomy, el suelo corresponde a un Typicustifluvents, franco arenoso con textura media, presenta CIC 18 cmol kg^{-1} ; MO 2,0%; CE $0,94 \text{ dSm}^{-1}$; pH 6,80; valores de Fósforo- Bray II de 9,7 ppm; Potasio disponible $0,5 \text{ cmol kg}^{-1}$. El clima del área de estudio está influenciado principalmente por la posición ecuatorial, las corrientes marinas y la cordillera de los Andes, con un período lluvioso de enero a abril con precipitaciones medias entre 1.100 a 1.300 mm, presenta un período seco más prolongado que comprende los meses de mayo a diciembre donde caen entre 200 a 300 mm. Temperatura media anual $24,7^\circ\text{C}$. Humedad relativa media anual 85% (Bouzo et al., 2012).

Residuos industriales evaluados

Para el presente trabajo se evaluó la vinaza y aguas residuales de la fabricación de azúcar. Las muestras de estos efluentes líquidos agroindustriales se tomaron en los puntos de salida de la industria. En la **tabla 1**, se presentan algunas características físico-químicas de los residuos.

Tabla 1. Composición físico-químicas de los residuos industriales

| Parámetro | Vinaza | Residuos |
|-------------------------|--------|----------|
| pH | 4.8 | 4.3 |
| C.E (dS/m) | 7.75 | 3.2 |
| Ca ²⁺ (mg/L) | 954 | 1600 |
| Mg ²⁺ (mg/L) | 210 | 781 |
| Na ¹⁺ (mg/L) | 51 | 400 |
| DBO(mg/L) | 28130 | 16998 |
| DQO(mg/L) | 34987 | 68076 |

Procedimiento experimental

Los tratamientos de las mezclas suelo con residuos agroindustriales sirvieron para conducir los bioensayos de germinación de lechuga, col y tomate acorde el método propuesto por Bagur-González *et al.* (2011). Las muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente y luego tamizadas en malla de 2 mm. Cada unidad experimental constó de 20 g de sustrato, mismo que se colocó en cajas Petri identificadas respectivamente acorde al tratamiento y repetición. A cada caja se le aplicó la solución líquida de 5 ml (2.5ml de agua destilada + 2.5 ml de residual acorde al tratamiento). Posteriormente con la ayuda de una pinza, se colocaron cuidadosamente 20 semillas de cada hortaliza en cada caja Petri (unidad experimental), dejando espacio suficiente entre ellas para permitir la elongación de las radículas. Los platos fueron forrados con papel kraft y colocados en una cámara de crecimiento a temperatura $25 \pm 2^\circ\text{C}$ por siete días. Al séptimo día, los platos fueron abiertos en el mismo orden en que fueron guardados. Como control negativo que se refiere asegurar

una buena germinación, se utilizó agua destilada, es decir para este tratamiento solo se colocó papel filtro humedecido con agua destilada al interior de la caja Petri, posteriormente se realizó la colocación de las 20 semillas de la hortaliza.

Para este estudio se establecieron 3 ensayos, cada ensayo se trabajó con una hortaliza diferente (lechuga, tomate y rábano). Así mismo, cada ensayo estuvo conformado por 4 tratamientos con 3 repeticiones cada uno. Total 36 unidades experimentales. Además, se estableció un tratamiento T0 = Control negativo (solo papel filtro humedecido con agua destilada). Es importante mencionar que T0 solo se empleó para cálculo de índice de germinación, este tratamiento no formó parte del análisis estadístico. A continuación, se describen los tratamientos evaluados:

T1 = Testigo

T2 = Agua Residual de fábrica

T3 = Vinaza

T4 = Agua Residual de fábrica + Vinaza

Variables evaluadas

Índice de germinación (IG) sugerido por Tiquia (2000), por tener la ventaja de que permite evaluar la toxicidad baja (que afecta el crecimiento de la raíz) y la toxicidad pesada (que afecta la germinación), a través de la expresión:

$$IG = \frac{G \times L}{Gc \times Lc} \times 100$$

Dónde:

IG es el índice de germinación (%), G es el promedio de semillas germinadas en la muestra, Gc es el promedio de semillas germinadas en el control negativo, L es el promedio de longitud de la radícula en la muestra (mm), y Lc es el promedio de longitud de la radícula en el control negativo (mm). El valor del IG puede variar entre 0 y superar el 100 %.

Se procedió a medir con una regla milimétrica la longitud de la radícula y del hipocotilo de cada una de las plántulas (Sobrero y Ronco, 2004). Se evaluó el peso fresco total con una balanza electrónica calibrada a 0,00g.

Análisis estadísticos

Se empleó un diseño completamente al azar conformado por 4 tratamientos y 3 repeticiones. Los resultados fueron sometidos a la prueba de normalidad (Shapiro – Wilks), previo al análisis de varianza ANDEVA, cuyos efectos significativos (P <0,05) fueron evaluados a través de la comparación de medias en prueba de Tuckey (P<0,05), con paquete estadístico Infostat V2016e.

Resultados y discusión

Bioensayos

En las **tablas 2 y 3**, se presenta los resultados obtenidos en las variables biológicas de las tres hortalizas sometidas a germinación bajo dosis de residuos industriales procedentes de la agroindustria azucarera.

Tabla 2. Índice de germinación y peso total de plántulas de hortalizas germinadas bajo dosis de residuos industriales

| Especies | Tratamientos | % índice de germinación | Peso total de plántulas (mg) |
|----------|--|-------------------------|------------------------------|
| Lechuga | T1.- Testigo | 90,2±3,0 a | 11,3±1,2 ab |
| | T2.- Agua Residual de Fábrica | 76,4±3,9 a | 8,0±0,6 b |
| | T3.- Vinaza | 79,0±2,2 a | 6,7±0,7 b |
| | T4.- Agua Residual de Fábrica + Vinaza | 81,6±7,1 a | 14,7±1,5 a |
| | Valor p | 0,0829 | 0,0026 |
| Tomate | T1.- Testigo | 103,9±14,2 a | 17,6±1,5 a |
| | T2.- Agua Residual de Fábrica | 87,1±5,6 ab | 14,5±0,8 a |
| | T3.- Vinaza | 83,4±13,4 ab | 16,0±1,2 a |
| | T4.- Agua Residual de Fábrica + Vinaza | 74,7±9,4 b | 18,7±0,7 a |
| | Valor p | 0,037 | 0,0988 |
| Rábano | T1.- Testigo | 126,6±11,9 a | 25,5±1,8 a |
| | T2.- Agua Residual de Fábrica | 94,7±19,8 ab | 23,0±1,7 a |
| | T3.- Vinaza | 92,0±14,4 ab | 21,7±1,7 a |
| | T4.- Agua Residual de Fábrica + Vinaza | 74,8±23,2 b | 30,4±1,3 a |
| | Valor p | 0,055 | 0,0227 |

Valores son medias de tres réplicas. Error estándar: ±. Valores seguidos por la misma letra en la columna para cada especie indican que no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) para el test Tuckey.

Referente al índice de germinación de las semillas podemos ver que, los residuos industriales no afectaron esta variable en el cultivo de lechuga, ya que no existe diferencia significativa entre testigo y los tratamientos evaluados. Sin embargo, en tomate y rábano el T4 decreció significativamente su índice de Germinación al ser comparado con testigo, exhibiendo valores inferiores a testigo en un 29 y 51%, respectivamente. Las semillas evaluadas mostraron comportamientos diferentes en el índice de toxicidad, las de rábano y tomate fueron las más afectadas. Según Meza *et al.* (2007) la inhibición de la germinación de las semillas por la vinaza, se debe al elevado contenido de sales, que impide la absorción de agua por las semillas debido a la presión osmótica que ejercen en el medio. Esta reacción puede causar que el embrión tarde más tiempo en activar enzimas como la arginina, encargada de romper la latencia (Goykovic y Saavedra 2007).

En otra de las variables evaluadas, peso total de las plántulas se evidenció que ningún tratamiento mostró diferencia significativa frente a testigo. Es decir que en las dosis y especies evaluadas la fitotoxicidad fue mínima y no se tradujo en reducción significativa de biomasa (radícula e hipocotilo). La concentración de sales puede tener un efecto inhibitorio en la germinación y desarrollo de algunas especies y estimulante en otras, dependiendo de su tolerancia a la salinidad (Urrestarazu 2004).

Tabla 3. Respuesta biológica de plántulas de hortalizas germinadas bajo dosis de residuos industriales

| Especies | Tratamientos | Longitud de la radícula (mm) | Longitud del hipocótilo (mm) |
|----------|--|------------------------------|------------------------------|
| Lechuga | T1.- Testigo | 32,2±1,4 a | 53,1±2,5 b |
| | T2.- Agua Residual de Fábrica | 29,2±0,3 a | 54,5±5,0 b |
| | T3.- Vinaza | 28,1±2,8 a | 64,6±3,6 ab |
| | T4.- Agua Residual de Fábrica + Vinaza | 28.5±1,4 a | 74,4±2,6 a |
| | Valor p | 0,4 | 0,0096 |
| Tomate | T1.- Testigo | 63,7±6,1 a | 49,6±3,5 a |
| | T2.- Agua Residual de Fábrica | 58,7±1,5 a | 56,0±4,1 a |
| | T3.- Vinaza | 58,0±5,8 a | 59,3±1,2 a |
| | T4.- Agua Residual de Fábrica + Vinaza | 55.9±3,0 a | 55,9±2,7 a |
| | Valor p | 0,6668 | 0,2403 |
| Rábano | T1.- Testigo | 65,2±4,5 a | 49,0±0,8 ab |
| | T2.- Agua Residual de Fábrica | 71,8±2,3 a | 42,4±0,3 b |
| | T3.- Vinaza | 50,3±4,0 a | 64,3±0,5 a |
| | T4.- Agua Residual de Fábrica + Vinaza | 56,0±3,1 a | 58,7±0,3 a |
| | Valor p | 0,277 | 0,0077 |

Valores son medias de tres réplicas. Error estándar: ±. Valores seguidos por la misma letra en la columna para cada especie indican que no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) para el test Tuckey.

En la **tabla 3** se muestran los resultados de la evaluación de Longitud de radícula y de hipocótilo. Para el caso de la variable Longitud de radícula encontramos que ninguna de las especies evaluadas mostró diferencia significativa frente a testigo. Los resultados encontrados en esta variable pueden tener su fundamento a partir de los hallazgos de Rodríguez *et al.* (2020), quienes encontraron que estos tipos de residuos poseen fenoles y ácidos orgánicos que pueden actuar como estimuladores de crecimiento en dosis bajas, sin embargo, cabe mencionar que en dosis altas pueden llegar a ser tóxicos sobre todo en los puntos de crecimiento radical (Viveros-Legorreta *et al.* 2018)

Por otro lado, en la longitud del hipocótilo solo el cultivo de lechuga mostró diferencia significativa entre tratamientos, sobresaliendo el T4, mismo que exhibió incremento de 29% en su longitud de hipocótilo al ser comparado con testigo. Los nutrientes disueltos en las vinazas y aguas residuales como nitrógeno, potasio, calcio, sodio, magnesio, cobre, hierro, zinc se presentan en forma asimilable por las plantas (Silva *et al.* 2019) lo que debió afectar positivamente el desarrollo de hipocótilo de la lechuga. Nuestros resultados son concordantes con los de Arias-Cedeño *et al.* (2021) quienes trabajaron con cenizas de fabricación en un cultivo de lechuga encontrando efecto positivo en el crecimiento de la hortaliza y este se les atribuyó a los contenidos de fósforo de este residuo.

Cabe mencionar que los otros cultivos rábano y tomate exhibieron fitotoxicidad al ser afectado su (IG), lo que concuerda con su escaso desarrollo de hipocótilo al ser comparado al testigo.

Conclusiones

En base a las pruebas biológicas de índice de germinación ninguno de los residuos evaluados provocó toxicidad en las semillas de lechuga, mientras que en las especies de rábano y tomate al combinar Agua Residual de Fábrica + Vinaza (T4) se produjo una inhibición en la germinación. En tanto que, la biomasa de las plántulas no sufrió afectación negativa. A partir de estos resultados podemos recomendar la aplicación de estos residuos de forma individual.

Referencias bibliográficas

- Aguilar Rivera, N. (2014). Reconversión de la cadena agroindustrial de la caña de azúcar en Veracruz México. Nova scientia, 6(12), 125-161. <https://www.redalyc.org/pdf/2033/203330981007.pdf>
- Arias-Cedeño, Q., López-Sánchez, R., Sainz-Rosales, L. R., Verdecia-Casanova, M. V., & Eichler-Löbermann, B. (2021). Potencial fertilizante de cenizas de bagazo de caña de azúcar de industrias azucareras. Revista Cubana de Química, 33(3), 452-466. <https://cubanaquimica.uo.edu.cu/index.php/cq/article/view/5197>
- Bagur-González M.G., Estepa-Molina 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. J. Soil. Sediment. 11(2), 281-289. DOI:[10.1007/s11368-010-0285-4](https://doi.org/10.1007/s11368-010-0285-4).
- Basanta, R., et. al (2007). Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: Una revisión reciclaje sostenible de residuos de la agroindustria de la caña de azúcar: Ciencia y Tecnología Alimentaría, 5 (4), 293-305. <https://www.redalyc.org/pdf/724/72440508.pdf>
- Chanfón, J., Lorenzo, Y. (2014). Alternatives for treatment of the distillery vinasse. National and international experiences. Revista Centro Azúcar, 41(2), 56. <http://centrozucar.qf.uclv.edu.cu>
- FAOSTAT. (2019). Datos. Producción. Cultivos. Caña de Azúcar. Disponible en: <https://www.fao.org/statistics/es>
- Hernández Baranda, Y.; et. al (2018). "Caracterización química y agronómica de las aguas residuales del yacimiento Castellano, Pinar del Río". 39(3). <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjogfnz9KiEAXWDTTABHRcAASAQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fediciones.inca.edu.cu%2Findex.php%2Fediciones%2Fcitationstylelanguage%2Fget%2Facs-nano%3FsubmissionId%3D1460%26publicationId%3D1265&usq=AOvVaw1pJQGjgHtSP4lnz9LruqMF&opi=89978449>
- Quiroz Guerrero I., Pérez Vázquez A. (2018). Vinaza y compost de cachaza: efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 5, 1069-1075. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i5.1313>
- Sandoval Rojas, M. E. (2016). Tratamiento de vinazas provenientes de etanol en un reactor de lecho fluidizado inverso. Tesis (Doctoral), [E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos \(UPM\)](https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.40681). <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.40681>.
- Torres Gaviria LF, Ocampo Vélez JC, Socarrás Cárdenas A. (2019). Reducción del nivel de potasio en vinaza de destilería utilizando resinas de intercambio iónico. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 10(1), 107-18. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2177>

- Varnero M., M.T., Rojas A., C., Orellana R., R., (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. Revista Ciencia Suelo y Nutrición Vegetal. 7, 28–37. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912007000100003
- Viveros-Legorreta, J. L., Sarma, S. S. S., Guerrero-Zúñiga, L. A., & Rodríguez-Dorantes, A. (2018). Bioensayo del efecto de fenoles producidos por *Myriophylumaquaticum* en cultivo sobre *Lactuca sativa*. Hidrobiológica, 28(1), 109-119. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972018000100109