







Aplicación del NaHCO_3 como estrategia físico-química para mitigar el impacto ambiental de la vinaza producida en la destilación de alcohol artesanal

Application of NaHCO_3 to mitigate the environmental impact of vinasse produced in the distillation of artisanal alcohol

Autores

- ✉ ***Ever Darío Morales Avendaño** 
- ✉ **Jhonny Navarrete Álava** 
- ✉ **Francesco Garzón Cedeño** 
- ✉ **Marvin Zambrano Lara** 

Escuela Politécnica Superior Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López ESPAM MFL, Calceta, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Citación sugerida: Morales Avendaño, E. D., Navarrete Álava, J., Garzón Cedeño, F., y Zambrano Lara, M. (2023). Aplicación del NaHCO_3 como estrategia físico-química para mitigar el impacto ambiental de la vinaza producida en la destilación de alcohol artesanal. *La Técnica*, 13(2), 93-101. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v13i2.6179>

Recibido: Octubre 26, 2023
Aceptado: Diciembre 15, 2023
Publicado: Diciembre 21, 2023

Resumen

La vinaza es un subproducto derivado de la destilación del fermentado del guarapo de caña de azúcar y caracterizado por elevados niveles de conductividad eléctrica (CE), demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno consumido a los 5 días (DBO_5) y acidez; lo cual ocasiona un impacto ambiental en los sectores de producción. El objetivo del estudio consistió en determinar el efecto del HNaCO_3 como tratamiento físico-químico para mitigar la actividad herbicida de la vinaza recolectada en una unidad productora artesanal de alcohol. Muestras de 10 L a pH 4,0 fueron distribuidas en envases y ajustadas a pH de 5, 6 y 7 con HNaCO_3 ; luego analizadas en cuanto a la CE, DQO, DBO_5 , salinidad y temperatura. El experimento se realizó con 10 especies de plantas silvestres, mantenidas en envases de 6,5 y 3,5 L. Todas las unidades experimentales fueron dosificadas con vinaza a pH 4 (testigo), 5, 6 y 7, cada tres días, según su capacidad volumétrica (100 o 150 mL); durante 8 semanas. Los resultados reflejaron un descenso de la CE hasta un 98%, y una tendencia a la reducción de DQO con el incremento del pH. En cambio, el NaHCO_3 no influyó en la DBO_5 ; sin embargo, el porcentaje de remoción de la CE y DQO, produjo una reducción del efecto herbicida; mientras que en solo tres especies de plantas silvestres se observó manchas a nivel foliar, entre 5 y 30%. Se considera que el NaHCO_3 promueve la reducción de la DQO, CE y neutraliza la acidez; lo cual sugiere la factibilidad de aplicación en suelos, contribuyendo así con la mitigación del impacto ambiental.

Palabras clave: bioherbicida; biofertilizante; DBO_5 ; DQO; licor; pH.

Abstract

Vinasse is a by-product derived from the distillation of fermented sugar cane guarapo and characterized by high levels of EC, COD, BOD_5 and acidity; which causes an environmental impact in the production sectors. The objective of the study was to determine the effect of HNaCO_3 as a physico-chemical treatment to mitigate the herbicidal activity of vinasse recollected in an artisanal alcohol production unit. Ten samples at pH 4.0 were distributed in containers and adjusted to pH 5, 6 and 7 with HNaCO_3 ; then analyzed for EC, COD, BOD_5 , salinity and temperature. The experiment was carried out with different species of wild plants, kept in 6.5 and 3.5 L containers. All experimental units were dosed with vinasse at pH 4 (control), 5, 6 and 7, every three days, according to their volumetric capacity (100 or 150 mL; for 8 weeks. The results reflected a decrease in EC up to 98%, and a tendency to reduce COD with increasing pH. On the other hand, HNaCO_3 did not influence BOD_5 ; however, the percentage of removal of EC and COD produced a reduction in the herbicidal effect; while in only for three species, an effect was observed at the foliar level, between 5 and 30%. It is considered that HNaCO_3 promotes the reduction of COD, EC and neutralizes acidity; which suggests the feasibility of application in soils, thus contributing to the mitigation of the impact. environmental.

Keywords: bioherbicide; biofertilizer; BOD_5 ; COD; liquor; pH.

Introducción

El uso de una diversidad y exceso de compuestos químicos descargados como resultado de actividades industriales, domésticas y agrícolas; trae consigo la acumulación de desechos, elevando así los riesgos significativos en el ambiente, cuando son descargados a fuentes de agua y suelo (Christofolletti et al., 2013; Ibarra et al., 2019).

Entre los residuales de la producción de azúcar y de etanol se distingue la vinaza o mostacho; procedente de la destilación del fermentado del guarapo y caracterizado por un alto contenido de materia orgánica y nutrientes; además de nitrógeno, azufre, fósforo y potasio. Así mismo; entre los compuestos orgánicos se han identificado: alcoholes, ácidos orgánicos, aldehídos y polifenoles; los cuales conllevan a deducir que entre sus propiedades físico-químicas se identifican: un elevado nivel de acidez, de demanda química de oxígeno (DQO), de demanda biológica de oxígeno consumido a los 5 días (DBO₅), de conductividad eléctrica (CE), y de sólidos disueltos, y ser sustrato para levaduras y bacterias en condiciones anaeróbicas según el sitio de disposición (Aristizábal, 2015; Ibarra et al., 2019). En tal sentido, para el caso de los niveles no permisibles de DQO y DBO₅ en estos efluentes, se induce un proceso de eutrofización drástico; lo que ocasiona la mortalidad de la biota por reducción del oxígeno disuelto (Aguir et al., 2021).

Por otra parte, los altos niveles de producción diaria durante los periodos de cosecha de la caña de azúcar, son sin duda una amenaza para la biota cuando son descargados en cuerpos de agua y en suelos sin control alguno (Ospina-León et al., 2023)

A fin de disminuir el impacto ambiental de los efluentes antes de ser descargados, se han reportados diversas metodologías biológicas y físico-químicas; sin embargo, esto dependerá de la composición química y biológica de los residuales para seleccionar las más eficientes y contribuir a la mitigación de su efecto nocivo. Entre las estrategias para el tratamiento de vinazas en biotecnología se ha reportado: digestión anaeróbica, cultivos de microalgas (Soto et al., 2021), producción de biohidrógeno (España-Gamboa et al., 2011; Magrini et al., 2020), balanceado para ganado, humus y producción de levadura (Higueta-Vásquez et al., 2020).

En cuanto a las técnicas físico-químicas se incluyen el mecanismo de gasificación, floculación-coagulación (Krishna et al., 2008) y de combustión en calderas modificadas (Dirbeba et al., 2019). Con estas estrategias alternativas del manejo de las vinazas se tendrá la factibilidad de lograr su utilización en el área agrícola y minimizar el efecto nocivo ambiental.

La bebida alcohólica “currincho”, se elabora a partir de caña de azúcar y de manera artesanal en las comunidades de Agua Fría, Mocerita, Mendoza, El Rosario, San Juan, Río Frío, El Palmar y otros, del cantón Junín, provincia de Manabí, Ecuador (Cartay et al., 2019). No obstante, estas destilerías vierten la vinaza en pozos excavados en el suelo con o sin membrana protectora; lo cual provoca olores desagradables y filtración en las aguas subterráneas. En virtud de la producción de vinaza como materia prima de importancia en agricultura y otras aplicaciones en biotecnología ambiental, se requieren estudios sobre tratamientos biológicos y/o fisicoquímicos, con la finalidad de lograr la factibilidad de su uso amigable con el ambiente.

El presente estudio contempló la aplicación de NaHCO₃ como tratamiento físico-químico de vinaza ajustada a pH 5, 6 y 7, a fin de determinar posible remoción de DQO, DBO₅ y CE; así como también el efecto herbicida mediante inoculación dosificada de vinaza en bandejas con suelo sembrados con plantas silvestres *in vitro* y en medio líquido en presencia de la macroalga dulceacuícola *Oedogonium* sp.

Materiales y métodos

Recolecta de las muestras

Las muestras de vinaza obtenidas como subproducto de la destilación del fermentado para la extracción del alcohol artesanal bajo denominación de currincho fueron recolectadas en el sector la Mocerita, cantón Junín, provincia de Manabí, en envases de plástico con capacidad de 20,0 L. A fin de verificar contenido de alcohol y de azúcares en la vinaza, se les aplicaba la prueba con un alcoholímetro y una pesa jarabe (densímetro para medir líquidos de mayor densidad que el agua); respectivamente. Para el manejo y recolección de las muestras, se consideró la norma del Instituto Ecuatoriano de Normalización (2013).

A fin de mantener volúmenes disponibles de vinaza, cada dos meses se visitaba la unidad productora de alcohol artesanal para la recolecta y luego se trasladaban al área experimental en condiciones externas de laboratorio. Una vez receptadas las muestras, se les determinaba la CE, pH, temperatura y salinidad con un multiparamétrico de campo (water quality tester).

Análisis de temperatura, pH y salinidad en vinaza

De cada recipiente con vinaza a pH 4 (testigo), pH 5, 6 y 7 se tomaban muestras de 50 mL para la determinación de la temperatura, salinidad y conductividad eléctrica con un medidor multiparamétrico de campo (water quality tester) y para medir el pH se utilizó un kit con cintas de pH. La CE era determinada a partir de tres submuestras. Todas estas variables eran monitoreadas cada tres días.

Tratamiento de vinaza con bicarbonato de sodio a diferentes pH

Muestras de 10 L una vez filtradas eran transferidas a unidades cilíndricas de 20 L de capacidad. Cada envase fue identificado según el pH seleccionado: testigo (pH 4), pH 5, pH 6 y pH 7. Se utilizó bicarbonato de sodio comercial y durante el proceso de adición a la vinaza, se iba pesando el bicarbonato consumido, hasta alcanzar valores de pH de 5, 6 y 7.

Efecto de la adición del NaHCO_3 sobre la conductividad eléctrica con o sin repeticiones

Una vez iniciado el experimento se tomaban las medidas de CE cada tres días; se registraron los resultados obtenidos en la primera semana sin repeticiones y los obtenidos en la 7ma semana con tres repeticiones. En este monitoreo se tomaron tres submuestras de 50 mL de vinaza para cada pH y para la determinación del porcentaje o eficiencia de remoción se aplicó la ecuación indicada por Malacatus et al. (2017), la cual hace referencia a la propuesta por Romero (1999) sobre eficiencia de remoción de contaminantes.

E= eficiencia de remoción de carga contaminante (%): S= carga contaminante de salida ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) So= carga contaminante de entrada ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100$$

Análisis de DBO_5 y DQO en vinaza a cada pH

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) fue analizada mediante el protocolo de respirometría (Standard Methods 5210D) y la demanda química de oxígeno (DQO) por el método de colorimetría (Standard Methods 22nd 5220D) de acuerdo a Spectroquant Solution A-B for DQO 144538, 114539, 114679, 114680).

Ambos análisis, se realizaron en la 6ta semana de iniciado el experimento a muestras de vinaza con valores de pH 4, pH 5, pH 6 y pH 7, con la inclusión del testigo (vinaza con pH de 3,5 recién recolectada). Para su entrega se recolectaron muestras de 2,0 L en envases de plástico, los cuales fueron revestidos cuidadosamente con fundas de plástico y en una caja de cartón y entregados a un laboratorio con certificación internacional para los análisis respectivos.

Efecto del pH de la vinaza sobre el crecimiento de plantas silvestres

Para esta prueba se utilizaron dos series de unidades experimentales de recipientes de plástico y según la capacidad volumétrica. La primera serie (lote 1) conformada por cuatro bandejas a una capacidad de 6,0 L (10 x 20 x 30 cm) y rotuladas a pH 4, 5, 6 y 7 (figura 1) y la segunda serie (lote 2) con dos bandejas (repeticiones A y B) de capacidad de 3,0 L (10 x 10 x 30 cm).

Estos recipientes de 3,0 y 6,0 L fueron previamente abonados con suelo del área experimental en un 60% con relación al volumen total de cada bandeja de plástico y luego cultivados con plantas silvestres seleccionadas al azar presentes en el Bosque Politécnico ESPAM; los mismos que, se mantuvieron en adaptación en condiciones *in vitro* durante dos meses. En las tablas 1 y 2, se especifican las especies de plantas identificadas y no identificadas hasta género.

Todas las unidades experimentales se muestran en la figura 1, el experimento del efecto herbicida la disposición de los recipientes del lote 1 a pH 4, 5, 6 y 7. En cambio para el lote 2, los recipientes con vinaza fueron intercalados con los recipientes de vinaza a los pH respectivos (figura 2). Cada tres días fueron inoculados los suelos del lote 1 y 2, con 100 y 200 mL de vinaza; respectivamente, para cada pH.

Con la finalidad de observar el efecto del herbicida a nivel foliar, se rociaba la cobertura del área de cada planta e incluso las inflorescencias de las especies *Cyperus*, *Peperomia* y *Petiveria*, una vez por semana durante el periodo del bioensayo. Todas las unidades eran hidratadas con agua, cada vez que se observó un inicio de sequedad. Para el caso de presencia de quemaduras a nivel foliar, se determinaba el porcentaje del área afectada con relación a la cobertura total de cada planta. Las especies de plantas silvestres cultivadas y las que germinaron *a posteriori* en las bandejas fueron identificadas taxonómicamente a nivel de género (Aguirre-Mendoza et al., 2019).



Figura 1. Disposición de las unidades experimentales (bandejas) con capacidad de 6,0 L (lote 1).



Figura 2. Disposición de las unidades experimentales A y B (bandejas para cada pH) con capacidad de 3,0 L e intercalados con los recipientes de vinaza a pH 4, 5, 6 y 7 (lote 2).

Simulación de descarga de la vinaza tratada a un cuerpo de agua

Para este experimento se utilizó biomasa de un cultivo de la macroalga dulceacuícola *Oedogonium* sp., obtenida en el río Canuto, Cantón Chone, Manabí; la cual fue distribuida en cinco recipientes cilíndricos de plástico transparente, con una capacidad de 3,0 L e identificados como testigo (sin vinaza), pH 4, pH 5, pH 6 y pH 7. A cada envase se le agregaron 1,5 L de agua y 1,5 L de cada muestra de vinaza; los cuales fueron inoculados con 50 g (biomasa húmeda) de la macroalga. El efecto nocivo de la vinaza sobre *Oedogonium* sp. fue monitoreado cada 24 h,

registrando su volumen de biomasa, pigmentación verde oscuro y morfología fibrosa (figura 3). La biomasa fue monitoreada al día 5 y 8 con una balanza digital de campo.

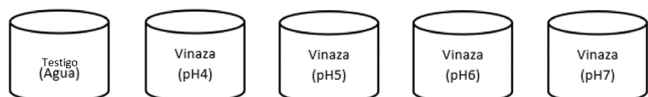


Figura 3. Disposición de las unidades experimentales para la prueba de simulación de descarga de vinaza a cuerpos de agua.

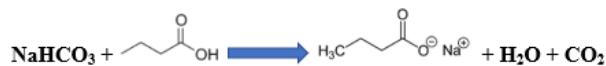
Resultados y discusión

La vinaza recolectada durante todo el periodo del estudio se caracterizó por poseer un pH de 3,5-4,0; DBO₅ de 20000 mg·L⁻¹; DQO de 4423,33 mg·L⁻¹; CE: 5545-4080 μm·cm⁻¹ y ausencia de grado alcohólico. Estos elevados valores conllevaron a acreditar su no cumplimiento de la normativa en cuanto a los valores permisibles para su descarga en cuerpos de agua (Ministerio del Ambiente, 2015; TULSMA, 2017).

El bajo pH característico de las vinazas se relacionó con la presencia de ácidos orgánicos y la elevada carga de materia orgánica. Una de las causas por las cuales la acidez de las vinazas fue muy alta, fue la presencia de ácido butírico, acético y láctico. Santos et al. (2014) reportaron a partir de vinaza de caña de azúcar, valores de ácido butírico y ácido acético de 3,7 y 3,0 g·L⁻¹; respectivamente, y Alfaro (2021) propuso el mejor método de tratamiento para la flemaza (vinaza de caña de azúcar) mediante la técnica de adsorción con carbón activado en un lecho fijo para remoción de ácido acético y ácido láctico indicando valores de 0,4 y 6,4 g·L⁻¹; respectivamente, lo que confiere altos contenido de estos compuestos. En tal sentido, el gasto del bicarbonato de sodio para ajustar el pH a 5, 6 y 7 con NaHCO₃ estaría asociado a la concentración de estos compuestos. Se presentan las ecuaciones de la reacción entre el NaHCO₃ y los ácidos orgánicos respectivos (figura 4), en las cuales se indicó la producción de acetato de sodio, butirato de sodio y de lactato de sodio; además, de la elevada generación de burbujas, debido a liberación de CO₂. Se observó también, la producción de un precipitado con la adición del bicarbonato de sodio en todos los recipientes; lo cual conllevó a la sedimentación de productos formados hasta neutralizar a la vinaza.



Ecuación I: reacción del ácido acético con bicarbonato.



Ecuación II: reacción del ácido butírico con bicarbonato.



Ecuación III: reacción del ácido láctico con bicarbonato.

Figura 4. Ecuaciones de la reacción entre el NaHCO₃ y el ácido acético, ácido butírico y el ácido láctico.

Una vez que se dio inicio al ajuste para cada pH, se evidenció una elevada capacidad buffer entre pH 4 y pH 5, debido al elevado consumo de 155,0 g de NaHCO₃, lo cual demostró resistencia al cambio de pH, posiblemente a la elevada concentración de compuestos ácidos presentes en la vinaza no tratada, para alcanzar el pH a 6 y 7 se utilizaron 165 y 175 g; respectivamente (figura 5). Así mismo, durante todo el proceso de neutralización hubo una producción dinámica de espuma como producto de la liberación de CO₂ y la formación de abundante precipitado de presencia permanente debido a la reacción entre los ácidos orgánicos y el bicarbonato (figura 1); lo cual parece contribuir a la remoción de la DQO y posiblemente de sólidos totales.

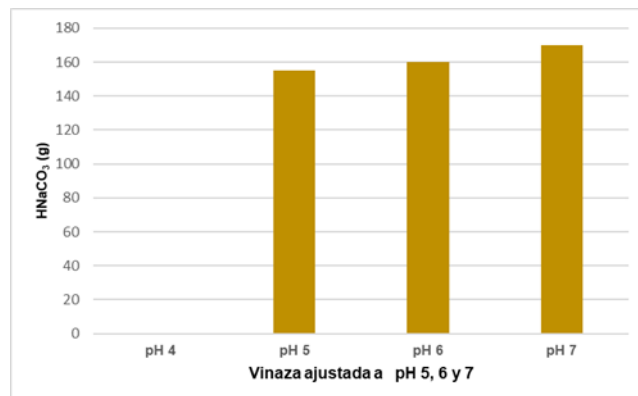


Figura 5. Cantidad de HNaCO₃ (g) utilizado para ajuste del pH a cada reservorio de 10 L de vinaza.

De acuerdo a la cantidad necesaria de NaHCO₃ para neutralizar 10 L de vinaza se requirieron 17,5 g de bicarbonato por cada litro de vinaza. Sin embargo, es posible que la cantidad de un agente titulante dependerá de la composición química y del contenido de compuestos orgánicos ácidos. Aristizábal (2015) realizó una prueba de titulación de una muestra de vinaza con NaOH

y determinó que se requirieron 4,6 g para que un litro de vinaza alcanzara el valor del pH 7 del agua. Sin embargo, se recomendaría realizar una prueba con NaHCO_3 e NaOH con la finalidad de valorar la eficiencia de neutralizar una muestra de vinaza hasta pH 7.

Para el caso del tratamiento de la vinaza con NaHCO_3 sobre la CE con tres repeticiones, la eficiencia de remoción fue casi total; puesto que se obtuvo porcentaje de remoción del 99,73; 99,66 y 99,72% a pH 5, 6 y 7; respectivamente, y sin diferencia significativa ($P > 0,05$) entre las vinazas tratadas. Este resultado reflejó que la CE llega a ser removida a partir de pH 5 (figura 6a).

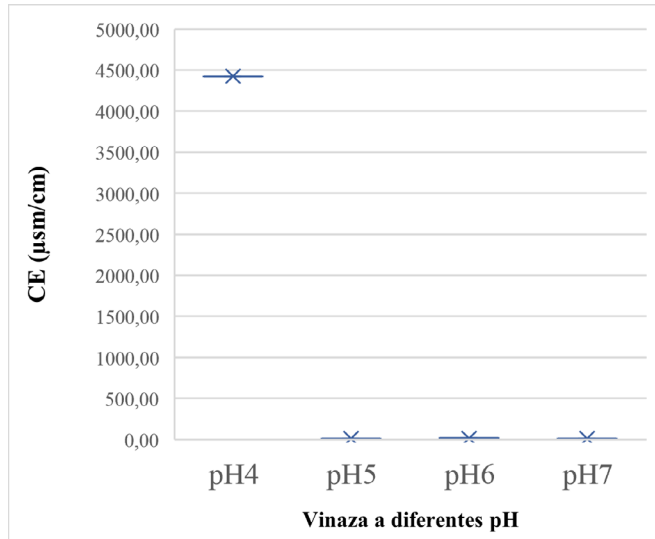


Figura 6a. Remoción de la CE ($\mu\text{sm}\cdot\text{cm}^{-1}$) con la adición de NaHCO_3 (g).

Para el caso de la valoración de la CE respecto al pH sin repeticiones, también se reflejó un descenso drástico con la vinaza ajustada a pH 4 desde $5545 \mu\text{sm}\cdot\text{cm}^{-1}$ hasta $542 \mu\text{sm}\cdot\text{cm}^{-1}$ a pH 7, equivalente a un porcentaje de remoción del 90,23%; por lo cual se reconoce el efecto del anión HCO_3^- al disminuir la concentración elevada de sales solubles y esto conllevó a la reducción de la capacidad de conducción de la corriente eléctrica en la vinaza no tratada (figura 6b).

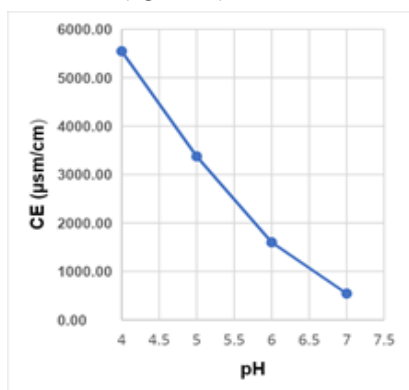


Figura 6b. Efecto de la adición del NaHCO_3 sobre la conductividad eléctrica (sin repeticiones).

De acuerdo a estos resultados, Arango (2012), ha postulado que un incremento de la remoción de la CE con la adición de iones HCO_3^- al reaccionar con los compuestos orgánicos ácidos de la vinaza, pueden conducir a la precipitación de iones Ca^{+2} y Mg^{+2} ; lo cual induce a la reducción de cationes y en consecuencia de la conductividad eléctrica. Al respecto; además, sugiere que la presencia de HCO_3^- y $\text{SO}_4^{=}$ ocasionaron la disminución de la densidad de la corriente en pruebas para el tratamiento de las aguas residuales de la industria láctea y que, en cambio, con la adición de los electrolitos NaCl o CaCl_2 se logra reducir los efectos adversos de bicarbonato o sulfato en cuanto al mantenimiento de la conductividad eléctrica en efluentes de empresas de productos lácteos.

Los resultados de la DQO con las vinazas a los diferentes pH sugieren una tendencia hacia la disminución hasta pH 5, con un porcentaje de remoción del 59,67%; sin embargo, se apreció un ligero descenso hasta pH 7, con un 48,64% de remoción (figura 7). Es posible que en las vinazas mantenidas entre pH 5 y pH 7, se mantuvo la presencia de levaduras y bacterias al ser observadas al microscopio, como producto de su actividad metabólica, podrían incrementar ligeramente la DQO. Guerrero et al. (2022) reportaron resultados sobre fermentación de té verde con dextrosa y glucosa como fuentes de carbono para producir películas de celulosa microbiana y entre los resultados determinaron que el pH, proteínas, grados °Brix y azúcares disminuyeron durante la incubación mediante fermentación; en cambio identificaron un incremento de la DQO con ambas fuentes de carbono; lo cual pudiera también estar relacionado con la microbiota a nivel de la vinaza entre pH 5 y 7. Al comparar, también estos resultados sobre remoción de la DQO en otras vinazas, en cuanto a la técnica de digestión anaeróbica, España-Gamboa et al. (2011) solo han obtenido un 9% de remoción y mediante la técnica de coagulación/floculación. Krishna et al. (2008) han obtenido hasta un 43,6% de la DQO; siendo estos resultados similares a lo observado en el presente estudio.

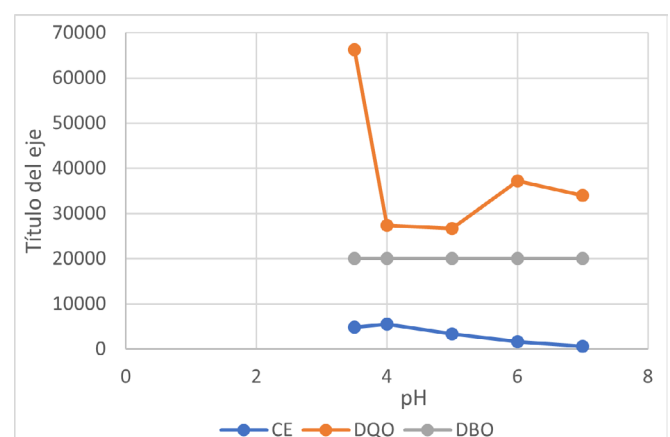


Figura 7. Comportamiento de la CE, DQO y DBO_5 en la vinaza ajustada al pH con la adición del NaHCO_3 .

Al hacer referencia a la DBO₅ los resultados indicaron que el NaHCO₃ no influyó en su remoción, manteniendo la carga química en todas las vinazas ajustadas a los pH analizados. Tal resultado era de esperar; sin embargo, se confirma que es necesario mejorar el proceso físico-químico de reducción del efecto nocivo de la vinaza con otros tratamientos químicos o biológicos.

Se reconoce que la materia orgánica en vinazas es dependiente de la presencia de azúcares no convertidos a alcohol, carbohidratos no fermentados, levaduras muertas, y una variedad de compuestos inorgánicos (Cortez et al., 1998) y que por lo tanto, se recomienda la aplicación de tratamientos alternativos físico-químicos y aplicación de digestión anaeróbica a fin de lograr la remoción efectiva de la de DBO₅ en este tipo de efluentes. El empleo de la tecnología de digestión anaerobia como tratamiento de los efluentes de destilerías disminuyó el impacto ambiental de la producción de etanol, pues se obtiene una reducción de la carga contaminante de sus vinazas en un 70%, a la vez que se genera un biocombustible (biogás) que puede utilizarse con fines energéticos, y dos subproductos: agua tratada y biofertilizante, como sustitutos de fertilizantes químicos y agua de riego, lo que hace a la tecnología de producción de etanol ser amigable con el ambiente (Higueta-Vásquez et al., 2020).

En la prueba *in vitro* del efecto de vinaza a los diferentes pH con plantas silvestres se identificaron 10 especies y otras cuatro en proceso de reconocimiento en el lote 1; mientras que en el lote 2 fueron reconocidas 13 especies y cuatro por ser identificadas. Además, se reflejó una diversidad entre el total de las 15 unidades experimentales con 13 especies (tablas 1 y 2), siendo la gramínea *Agrostis* la de mayor propagación en las bandejas y en cuanto al crecimiento y robustez se destacaron *Commelina*, *Cyperus* y *Tridax procumbes*, además de tres ejemplares de la planta trepadora de *Melothria* sp.

En cuanto a la adición de vinaza a cada pH y en ambos lotes, se destacó una supervivencia del 100%; mientras que el efecto herbicida a nivel periférico foliar, se manifestó en algunas especies cuando fue asperjada toda la cobertura aérea de las plantas. En el lote 1, tres especies mostraron un leve síntoma de quemadura con 1, 4 y 5%; mientras que en el lote 2, se apreciaron áreas foliares marchitas de *Urtica dioica* a pH4 A y en *Evolvulus* sp. a pH 6 B con amarillamiento en zonas puntuales de la lámina foliar en un 20 y 10%; respectivamente. Estos resultados, confirmaron la sensibilidad de estas especies a nivel foliar por parte de la vinaza e independiente del pH. En líneas generales, la vinaza tratada y no tratada con NaHCO₃ no resultó mortal ni severa; de acuerdo a las condiciones ambientales naturales y a las dosis aplicadas cada tres días.

Tabla 1. Efecto herbicida de la vinaza, según el pH sobre plantas silvestres en bandejas (lote 1).

Lote 1	Especies	Ejemplares	Efecto herbicida (%)
pH4	<i>Agrostis stolonifera</i>	5	0
	<i>Euphorbia hirta</i>	1	0
	<i>Tradescantia pallida</i>	1	0
pH5	<i>Commelina erecta</i>	1	4
	<i>A. stolonifera</i>	16	0
pH6	<i>Ipomea</i> sp.	2	0
	<i>A. stolonifera</i>	9	0
	<i>Cyperus</i> sp.	4	0
	<i>Synedrella</i> sp.	3	0
	<i>Peperonia pellucida</i>	2	0
pH 7	<i>Petiveria</i> sp. (con inflorescencias)	4	0
	<i>Ipomea</i> sp.	2	1
	*Dicotiledónea (no identificada)	1	0
	<i>Tridax procumbes</i> (con flores)	1	0
	<i>Melothria</i> sp.	1	0
	<i>Petiveria</i> sp.	1	6
	<i>A. stolonifera</i>	1	1

Nota: el asterisco hace referencia a una especie de planta silvestre diferente no identificada.

Para el caso de efectos nocivos a nivel foliar, González et al. (2019) han reportado en cultivos de soya (*Glycine max*) con vinaza diluida a 1:1, 1:5 y 1:10 (v/v) y en condiciones de invernadero, actividad reducida de fotosíntesis para todas las diluciones de vinaza y han determinado pérdida de la apertura de estomas, disminución de nitrógeno y de clorofila a nivel foliar. No obstante, Sharifi et al. (2022) utilizando vinaza diluida sobre plántulas de pepino (*Cucumis sativus*) y de acuerdo a los tratamientos con fertilizante comercial (T1), vinaza diluida al 50% (T2), fertilizante comercial + vinaza al 50% (T3), fertilizante comercial al 50% y vinaza al 50% (T4), identificaron a la combinación: fertilizante + vinaza diluida al 50% (T2), una mejora en cuanto al número y biomasa seca de las hojas, biomasa fresca y seca de las raíces y área foliar. De igual forma, estos resultados también estimaron que, la efectividad de su aplicación como biofertilizante y con previos tratamientos para la reducción de su carga contaminante, dependerá de la especie de planta, composición química de la vinaza, condiciones experimentales y del contenido de nutrientes como el nitrógeno.

Con base a los resultados obtenidos, la variedad de vinaza obtenida de destilerías artesanales del sector Mocorita, cantón Junín, Manabí, podrían ser utilizadas como mejorador de suelos; en vista de que todas las especies de plantas irrigadas mostraron crecimiento excelente, aun cuando compartían un área pequeña de espacio para su desarrollo. En este sentido, en el trabajo de revisión de Moran-Salazar et al. (2016) se resalta el efecto biofertilizante de las vinazas favorecido por la actividad microbiana presente en el mismo sustrato o suelo.

Tabla 2. Efecto herbicida de la vinaza, según el pH sobre plantas silvestres (lote 2).

Lote 2	Especies	Ejemplares	Efecto herbicida (%)
pH4 A	<i>Agrostis stolonifera</i>	4	0
	<i>Urtica dioica</i> (con inflorescencias)	6	20
pH4 B	<i>A. stolonifera</i>	20	1
	*Planta dicotiledónea (no identificada)	5	2
pH5 A	*Planta trifoliada (no identificada)	2	4
	*Planta pequeña (no identificada)	2	0
	<i>A. stolonifera</i>	3	0
pH5 B	*Trepadora trifoliada (no identificada)	3	5
	<i>A. stolonifera</i>	12	0
	*Planta con hojas dentadas y acorazonadas (no identificada)	2	0
	<i>Peperonia pellucida</i>	1	0
	<i>A. stolonifera</i>	15	0
pH6 A	*Planta dicotiledónea no identificada	1	5
pH6 B	<i>A. stolonifera</i>	13	4
	<i>Evolvulus</i> sp.	2	10
pH7 A	<i>A. stolonifera</i>	6	0
	<i>Synedrella</i> sp.	1	0
pH7 B	<i>Evolvulus</i> sp.	3	5
	<i>A. stolonifera</i>	4	0
	<i>Cyperus</i> sp.	4	5

*para cada pH se dispusieron de dos bandejas (A y B)

En el experimento de simulación de una descarga de vinaza tratada y no tratada con bicarbonato de sodio sobre la macroalga *Oedogonium* sp. se demostró su efecto nocivo causando una mortalidad del 100% de la biomasa algal a los tres días, observándose una reducción de la biomasa en un 25, 45 y hasta un 90% de su biomasa, luego de monitoreado el experimento cada 24 h; en cambio el testigo solo con agua se mantuvo en condiciones excelentes y con aumento progresivo de su biomasa húmeda a los 5 días de 50 g a 75 g.

Por otra parte, se hace referencia a que la aplicación del NaHCO_3 en este estudio demostró su efectividad para lograr el uso de

vinaza por su comportamiento como una solución amortiguadora y debido a su capacidad para elevar el pH. No obstante, dada su limitación para su adquisición por ser un producto controlado (Alvarado y Romero, 2022), se están realizando avances a escala comercial, para obtener bicarbonato de sodio (NaHCO_3) a partir de métodos de absorción y desorción de CO_2 basados en proceso de carbonato en seco para su tratamiento (Bonaventura et al., 2018) y de otros procesos de producción de bicarbonato de sodio, empleando amoníaco (NH_3) como intermediario, carbonato de calcio (CaCO_3) y cloruro de sodio (Cai et al., 2018). De igual forma se recomienda utilizar CaO , Ca(OH)_2 y la posibilidad del uso de cáscara de huevo como fuente de CaCO_3 ; para lo cual se ha programado un diseño experimental para mejorar la eficiencia y reducción de costos con el uso de otros agentes neutralizantes y así como también, metodologías con microorganismos en condiciones aeróbicas y anaeróbicas.

Conclusión

Se reconoce que la aplicación de una base débil como el NaHCO_3 conlleva a la reducción de la DQO, CE y a la neutralización de la acidez de la vinaza; lo cual sugiere la factibilidad de su utilización como acondicionador de suelos; contribuyendo así con la mitigación del impacto ambiental que afecta a los sectores productores de curincho del cantón Junín, Manabí, Ecuador. Por otra parte, la actividad herbicida en el área foliar de las plantas dependió de la susceptibilidad o resistencia de las especies de plantas asperjada; pero sin causar mortalidad; mientras que su acción letal bajo simulación de drenaje a un cuerpo de agua con la macroalga, *Oedogonium* sp. quedo demostrada.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Aguir, S., Panimboza-Ojeda, A., Soto-Cabrera, A., Cuyanquillo-Barrionuevo, J., Pérez-Martínez, A., Diéguez-Santana, K. (2021). Propuesta para la producción más limpia en destilerías artesanales. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 24(2), 1500. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1500>
- Aguirre-Mendoza, Z., Jaramillo-Díaz, N. y Quizhpe-Coronel, W. (2019). *Arvenses asociadas a cultivos y pastizales del Ecuador*. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 216 p.
- Alfaro, J. (2021). Propuesta de tratamiento para el reúso de agua condensada resultante de la destilación de bioetanol. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 16(1), 25-34. <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/view/1093>
- Alvarado Sánchez, S. y Romero Martínez, K. (2022). *Recuperación de bicarbonato de sodio y reajuste de solución alcalina utilizada para medición del biogás por método de desplazamiento de líquidos*. Tesis. 156 p. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/65344>

- Arango Ruiz, A. (2012). Efectos del pH y la conductividad en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Producción + Limpia*, 7(1), 59-67. [file:///C:/Users/User%20Pc/Downloads/Dialnet-EfectosDelPHYLaConductividadEnLaElectrocoagulacion-4331975%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/User%20Pc/Downloads/Dialnet-EfectosDelPHYLaConductividadEnLaElectrocoagulacion-4331975%20(3).pdf)
- Aristizábal Alzate, C., (2015). Caracterización físico-química de una vinaza resultante de la producción de alcohol de una industria licorera, a partir del aprovechamiento de la caña de azúcar. *Ing. USBMed*, 6 (2), 36-41. [https://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSB med/article/view/1729](https://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSB%20med/article/view/1729)
- Bonaventura, D., Chacartegui, R., Valverde, J. M., Becerra, J. A., Ortiz, C. and Lizana, J. (2018). Dry carbonate process for CO₂ capture and storage: Integration with solar thermal power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1796-1812. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.06.061>
- Cartay, R., García Briones, M., Meza Moreira, D., Intriago Estrella, J. y Romero Macias, F. (2019). Caracterización económica de un productor de aguardiente en Junín, Manabí, Ecuador. *ECA Sinergia*, 10(1), 85-97. <https://www.redalyc.org/journal/5885/588561543006/movil/>
<https://www.redalyc.org/journal/5885/588561543006/movil/>
- Cai, Y., Wang, W., Li, L., Wang, Z., Wang, S., Ding, H., Zhang, Z., Sun, L. and Wang, W. (2018). Effective capture of carbon dioxide using hydrated sodium carbonate powders. *Materials*. *Basel*, 11(2), 183. <https://doi.org/10.3390/ma11020183>
- Christofolletti, C., Escher, J., Correia, J., Julia Fernanda Urbano, J. and Fontanetti, C., (2013). Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use. *Waste Management*, 33(12), 2752-2761. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24084103/>
- Dirbeba, M. J., Brink, A., Zevenhoven, M., Demartini, N., Lindber, D. and Hupa L. (2019). Characterization of vinasse for thermochemical conversion -fuel fractionation, release of inorganics, and ash melting behavior. *Energy and Fuels*, 33(7), 5840-5848. https://www.researchgate.net/publication/340255432_Effect_of_different_heat_treatments_of_inoculum_on_the_production_of_hydrogen_and_volatile_fatty_acids_by_dark_fermentation_of_sugarcane_vinasse
- España-Gamboa, E., Mijangos-Cortes, J., Barahona-Pérez, L., Domínguez-Maldonado, J., Hernández-Zarate, G. and Álzate-Gaviria, L. (2011). Vinasses: Characterization and treatments. *Waste Manag Res.*, 29(12), 1235-1250. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21242176/>
- González, J., Buedo, S. y Prado F. (2019). La fertirrigación con vinaza de caña de azúcar limita la tasa fotosintética de soja (*Glycine max*, Leguminosae). *Bol. Soc. Argent. Bot*, 54, 215-223.
- Higueta-Vásquez, J., Rojas-González, A. and Pineda-Pineda, S. (2020). Conventional and non-conventional alternatives for vinasse management through physical-chemical or biological technologies: A review. *DYNA Energía y Sostenibilidad*, 9(1), 11 p. DOI: <https://doi.org/10.6036/ES9355>
- Ibarra-Camacho, R., León-Duarte, L. y Osoria-Leyva, A. (2019). Caracterización físico-química de vinazas de destilerías. *Revista Cubana de Química*, 31(2), 1-10. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212019000200246
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 2169 (2013). *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras*. Primera Edición. 26 p. <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%202169%20-%20AGUA.%20%20CALIDAD%20DEL%20AGUA.%20%20MUESTREO.%20%20MANEJO%20Y%20CONSERVACI%C3%93N%20DE%20MUESTRAS.pdf>
- Krishna, R., Kumar, R. and Srivastava S. (2008). Design of optimum response surface experiments for electrocoagulation of distillery spent wash. *Water Air Soil Pollut.*, 191(1-4), 5-13. https://www.researchgate.net/publication/248768613_Design_of_Optimum_Response_Surface_Experiments_for_ElectroCoagulation_of_Distillery_Spent_Wash
- Magrini, F. E., Machado de Almeida, G., da Maia Soares, D., Fuentes, L., Ecthebehere, C., Beal, L. L., Moura da Silveira, M. and Paesi, S. (2020). Effect of different heat treatments of inoculum on the production of hydrogen and volatile fatty acids by dark fermentation of sugarcane vinasse. *Biomass Convers Biorefinery*, 11, 2443-2456. https://www.researchgate.net/publication/340255432_Effect_of_different_heat_treatments_of_inoculum_on_the_production_of_hydrogen_and_volatile_fatty_acids_by_dark_fermentation_of_sugarcane_vinasse
- Malacatus, P., Chamorro, E. y Orellana, G. (2016). Análisis de eficiencia de remoción de contaminantes de los sistemas



- de tratamiento de aguas residuales en extracción de aceite de palma. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(2), 61-68.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Acuerdo N° 97/A - Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua* (Anexo 1, Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- Moran-Salazar, R., Sánchez-Lizárraga, A., Rodríguez-Campos, J., Dávila-Vázquez, G., Marino-Marmolejo, G., Dendooven, L. and Contreras-Ramos, S. (2016). Utilization of vinasses as soil amendment: consequences and perspectives, *SpringerPlus*, 5, 1-11. DOI 10.1186/s40064-016-2410-3
- Ospina-León, L., Manotas-Duque, D. y Ramírez-Malule, H. (2023). Desafíos y oportunidades de la vinaza de caña de azúcar. Un análisis bibliométrico. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 25(1). e21312144. <https://doi.org/10.25100/iyv.v25i1.12144>
- Romero Rojas, J., A. (1999). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño* (Tercera edición ed.). Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas
- Sharifi, A., Noshahri, N., Mehrjer, M., Ameri, M., Seyedabadi, M. and Kharrazi, M. (2022). Evaluation of using vinasse as fertigation on growth traits of Cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Vegetables. Sciences, Spring & Summer*, 6 (11), 47-57. doi: 10.22034/iuvs.2022.547109.1191 A
- Santos, S., Rosa, P. R. F., Sakamoto, I. K., Amâncio Varesche, M. B. and Silva, E. (2014). Hydrogen production from diluted and raw sugarcane vinasse under thermophilic anaerobic conditions. *Int. J. Hydrogen Energy*, 39(18), 9599-9610.
- Soto, M., Díaz, C., Zapata, A. and Higuaita, J. (2021). BOD and COD removal in vinasses from sugarcane alcoholic distillation by *Chlorella vulgaris*: Environmental evaluation. *Biochemical Engineering Journal*, 176, 108191.
- TULSMA (2017). *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente*. Última modificación: 29-mar-2017 <https://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Ever Morales Avendaño	Diseño de la investigación; colecta de muestras, selección de unidades experimentales, revisión bibliográfica, análisis e interpretación de los datos, preparación y edición del manuscrito.
Jhonny Manuel Navarrete	Monitoreo de experimentos, traslado de muestras, preparación del manuscrito, corrección de estilo.
Marvin Zambrano Lara	Montaje y monitoreo de los experimentos, colecta de muestras, elaboración de gráficas y revisión de los datos.
Francesco Garzón Cedeño	Montaje y monitoreo de los experimentos colecta de muestras, elaboración de figuras. Análisis de datos.