

## **Propiedades fisicoquímicas, contenido de fenoles y melanoidinas en una vinaza de sotol de nombre de dios, Durango, México**

## **Physicochemical properties, phenol and melanoidin content in a sotol vinasse from nombre de dios, Durango, Mexico**

DOI: 10.46932/sfjdv4n3-029

Received in: May 16<sup>th</sup>, 2023

Accepted in: June 23<sup>rd</sup>, 2023

### **Ana Elena Aviña Ruelas**

Maestra en Sistemas Ambientales

Institución: Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales UJED

Dirección: Río Papaloapan, S/N, Valle del Sur, 34210, Durango, Dgo. México

Correo electrónico: 1141454@alumnos.ujed.mx

### **Pedro Antonio Domínguez Calleros**

Doctor en Ciencias Forestales

Institución: Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales UJED

Dirección: Río Papaloapan, S/N, Valle del Sur, 34210, Durango, Dgo. México

Correo electrónico: pdomingc@hotmail.com

### **Luis Alberto Ordaz Díaz**

Doctor en Ciencias en Ingeniería Bioquímica

Institución: Universidad Politécnica de Durango

Dirección: Carretera Durango-México, S/N, Durango, México

Correo electrónico: luis.ordaz@unipolidgo.edu.mx

### **José Ángel Prieto Ruíz**

Doctor en Manejo de Recursos Naturales

Institución: Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales UJED

Dirección: Río Papaloapan, S/N, Valle del Sur, 34210, Durango, Dgo. México

Correo electrónico: jprieto@ujed.mx

### **Artemio Carrillo Parra**

Doctor en Biología y Tecnología de la Madera

Institución: Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera UJED

Dirección: Blvd. Del Guadiana, 501, SARH, C.P. 34104, Durango, Dgo. México

Correo electrónico: acarrilloparra@ujed.mx

### **Ana María Bailón Salas**

Doctora en Ciencias en Ingeniería Bioquímica

Institución: Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales UJED

Dirección: Río Papaloapan, S/N, Valle del Sur, 34210, Durango, Dgo. México

Correo electrónico: bailon\_anna@hotmail.com

## RESUMEN

Debido a la riqueza de contenido orgánico e inorgánico, los residuos agroindustriales están actualmente considerándose como objeto de estudio para la generación de productos industriales en lugar de tratarlos como residuos; en el caso de la vinaza, que es un subproducto generado durante la obtención de la bebida sotol, se ha generado un interés especial debido a que la producción está aumentando año con año, generando ingresos económicos. Con un pH ácido, una alta carga orgánica y una producción de 12 litros de vinaza por litro de sotol, la disposición de este residuo en agua y suelos puede comprometer ambientalmente los recursos. La evaluación de las propiedades fisicoquímicas y orgánicas de este líquido, permitirá tomar decisiones sobre su tratamiento. El análisis se hizo siguiendo las Normas Mexicanas que apliquen a cada característica: pH, Conductividad Eléctrica, Sólidos Disueltos Totales (SDT), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), turbidez, color verdadero, determinación de metales; fenoles totales y melanoidinas. Se encontró que el pH, DQO, SDT exceden los límites máximos permisibles de las NOM 001 SEMARNAT 2021 Y NOM 064 ECOL 1994. La relación  $DQO/DBO > 4$  sugiere tratamiento fisicoquímico para su remediación; además, la alta presencia de fenoles aumenta la DQO. La cantidad de melanoidinas ( $> 20$  mg/L), hacen difícil que se lleve a cabo una digestión anaerobia. Los metales pesados como Pb, Fe, Zn y Na, son 100% más altos con relación las vinazas tequileras. La presencia de metales pesados es de interés ya que son acumulativas en el suelo. Los datos obtenidos sugieren que las vinazas de sotol son contaminantes, incumplen con la normativa, por lo que no deben ser depositadas en cuerpos de agua y suelos sin ser tratadas.

**Palabras clave:** melanoidinas, fenoles, caracterización, vinaza de sotol, residuos agroindustriales.

## ABSTRACT

Due to the richness of organic and inorganic content, agro-industrial wastes are currently the object of study for the generation of industrial products instead of dispose as waste; in the case of vinasse, which is a by-product generated during sotol alcoholic beverage production, a special interest is generated because production is increasing year after year, generating economic income. With an acid pH, high organic load, and a production rate of 12 liters per sotol beverage, disposal on water and soil can be environmentally compromising. The evaluation of the physicochemical and organic properties of this liquid could allow taking decisions on treatments. All the experiments follow Mexican Laws applied in each property: pH, Electric Conductivity, Total Solids, Biochemical Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand, Turbidity, Color, Metal determination, Total Phenols, and Melanoidins. In the case of pH, COD, and SDT exceed limits according to Mexican law NOM 001 SEMARNAT 2021 and NOM 064 ECOL 1994; the relationship between  $DQO/DBO > 4$ , suggesting physicochemical treatment, besides, total phenols presence increases as COD. Melanoidin ( $> 20$ mg/L) makes it difficult to implement anaerobic digestion. Heavy metals such as Pb, Fe, Zn, and Na are 100% higher than tequila vinasses. The presence of these elements is of interest since they are cumulative in soils. All data obtained suggest sotol vinasse is contaminant and does not comply Mexican regulations, and therefore should not be deposited in water bodies and soils without being treated.

**Keywords:** melanoidins, phenols, characterization, sotol vinasse, agroindustrial waste

## 1 INTRODUCCIÓN

La bebida sotol proviene de la planta *Dasyilirion wheeleri* la cual se elabora a partir del destilado de esta; su importancia, desde el punto de vista productivo, radica en que forma parte de las actividades económicas de los estados del noroeste de México tales como Chihuahua, Durango y Coahuila, su

comercialización permite proporcionar ingresos a los productores del área (Olhagaray-Rivera et al., 2004). En el estado de Durango, la producción de sotol cuenta con denominación de origen y forma parte importante de la industria de recursos no maderables (Ríos-Saucedo et al., 2020). De acuerdo con estimaciones del Consejo Mexicano del Sotol A.C. y el Consejo Certificador del Sotol, anualmente se producen 500,000 litros anuales de sotol en México, con un crecimiento, en ese mismo período, del 5% (Madrid Solórzano & Soto Nogueira, 2021).

La vinaza es el residuo final líquido proveniente de la destilación de alcohol, puede ser de maguey, caña de azúcar (Hoarau et al., 2018) o en este caso de sotol, es el principal residuo orgánico generado; por cada litro de producto final, se generan de 12 a 15 litros de vinaza (CONADESUCA, 2016). La disposición de la vinaza sin tratamiento generalmente se hace directamente en el suelo o en cuerpos de agua cercanos, lo cual puede causar problemas ambientales y de salud (Díaz-Vázquez et al., 2021). Debido a su bajo pH, alta carga orgánica, alta presencia de sólidos suspendidos, y el volumen de producción de este residuo, se genera un impacto ambiental negativo, además, por su color café oscuro y olor desagradable, se considera inhibidor de fotosíntesis en fauna marina (Sousa et al., 2019).

El proceso de destilación utiliza temperaturas entre 85 a 90°C (Madrid-Solórzano & Soto-Nogueira, 2021), lo que promueve la formación de activos antioxidantes, resultantes de la reacción de Maillard, conocidos como melanoidinas, responsables del color café característico de la vinaza (Pérez-Hernández et al., 2013). Los compuestos fenólicos se encuentran presentes en las vinazas, debido a la degradación de las fibras del jugo del bagazo (Caputo, 2020); este tipo de compuestos es tóxico en la fauna marina incluso en bajos niveles (Han et al., 2013); debido a esto, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés) lo ha clasificado como un contaminante prioritario (Mohamad Said et al, 2021).

Sin embargo, existen ventajas sobre la aplicación en campo de este subproducto ya que se puede utilizar como composta en combinación con otros abonos o fertilizantes orgánicos. Su naturaleza líquida, satisface las necesidades hídricas de la planta (Quiroz Guerrero & Pérez Vázquez, 2013); además, puede servir como promotor de crecimiento en algunas especies como el maíz y en otras como el tomate, chile, pepino y cebolla favorece la germinación, lo que reduce la utilización de fertilizantes comerciales. Por otra parte, se puede emplear como sustrato para el crecimiento de hongos, debido a la presencia de aminoácidos la cual es equiparable a fuentes de proteína comerciales para alimentación de peces (Nitayavardhana et al., 2013).

A la fecha, se carece de estudios de evaluación de las propiedades y características de la vinaza de sotol; hasta el momento se tienen caracterizaciones fisicoquímicas sobre la vinaza de tequila (Hidalgo et al., 2017), mezcal (Ordaz-Díaz et al, 2019), caña de azúcar (Zuñiga-Cerón & Gandini-Ayerbe, 2013).

Aunado con el crecimiento anual de la producción de sotol, es importante fomentar los estudios que permitan conocer los compuestos presentes en este líquido residual.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar fisicoquímicamente, determinar fenoles y melanoidinas de la vinaza de sotol. La presente investigación es un punto de partida para estudiar los posibles tratamientos y reutilización de este subproducto, evitando así que sea tratada como un desecho con las consecuencias ambientales que acarrea.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 ORIGEN DE LA VINAZA

Las vinazas utilizadas para este estudio provienen de una fábrica (vinatería) ubicada en Nombre de Dios, Durango, México (23.791039197780613, -104.30533637671776). La vinata se encuentra al pie de un afluente del Río Tunal. El proceso de producción es 100% artesanal y es el siguiente: las cabezas de sotol tienen una cocción en un cocedor con leña de huizache a cielo abierto, en leña carbonizada se agregan las piñas y se cubren con piedra volcánica, se dejan por 72 horas en ese calor. Las piñas cocidas se sacan manualmente y se ponen en recipientes, donde se pasan por un molino manual. A continuación, se ponen en fermentadores de madera y se les agrega agua tibia (30 - 40°C), dejándose 12 horas para que fermenten y, una vez iniciado el proceso de fermentación, se dejan 24 horas; posterior a ello, se ponen en ollas grandes y se introducen al destilador. Se obtiene un producto preliminar donde se concentra el alcohol etílico y se desecha el bagazo, a continuación, se le da una segunda destilación donde se obtienen los aromas finos, obteniendo, así, el producto final (Madrid-Solórzano & Soto-Nogueira, 2021).

El material evaluado se obtuvo directamente de la tina de recuperación de residuos, al momento de vaciar el destilador en la primera destilación. Las muestras fueron tomadas utilizando bidones de 20 L de polietileno, se tomaron en total 10 litros de vinaza de la producción de marzo de 2022 y una segunda muestra 12 días después de una segunda producción de sotol, realizada bajo el mismo procedimiento técnico. Como método de referencia para la colecta, se tomó la Norma Mexicana NMX-AA-003.

### 2.2 PARÁMETROS EVALUADOS

La vinaza de sotol se caracterizó siguiendo las técnicas descritas en las normas mexicanas (NMX) que aplican a cada parámetro. La vinaza se analizó crudo sin tratamiento previo. Todos los reactivos utilizados son de grado analítico. La Tabla 1 presenta los métodos utilizados para la determinación de cada parámetro que fue evaluado en este estudio.

Tabla 1. Métodos y técnicas usadas para la caracterización fisicoquímica de la vinaza de sotol.

Determinación	Referencia	Equipo/método
<b>pH</b>		
<b>Conductividad (CE)</b>	NMX-AA-093-SCFI-2000	HQ40d Multiparamétrico
<b>Turbiedad</b>	NMX-AA-038-SCFI-2001	Espectrofotómetro Hach® DR 5000
<b>Color</b>	NMX-AA-17-1980	Espectrofotómetro Hach® DR 5000
<b>Dureza</b>	NMX-AA-072-SCFI-2001	Titulación
<b>Alcalinidad</b>	NMX-AA-036-SCFI-2001	Titulación
<b>Sólidos Totales (ST)</b>		Gravimétrico
<b>Sólidos Fijos Totales (SFT)</b>		Gravimétrico
<b>Sólidos Disueltos Totales (SDT)</b>	NMX-AA-034-SCFI-2015	HQ40d Multiparamétrico
<b>Sólidos Volátiles Totales (SVT)</b>		Gravimétrico
<b>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</b>		Gravimétrico
<b>Cloruros</b>	HANNA®	
<b>Amoniaco</b>	HANNA®	
<b>Nitratos</b>	HANNA®	Fotómetro HANNA® instruments
<b>Fósforo</b>	HANNA®	HI 83325
<b>Potasio</b>	HANNA®	
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	NMX-AA-030-SCFI-2001	Colorimétrico
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</b>	NMX-AA-028-SCFI-2001	BODTrak®II Hach®

Fuente: Elaboración propia

### 2.3 CUANTIFICACIÓN DE MELANOIDINAS Y FENOLES TOTALES

En el caso de las melanoidinas, se cuantificaron por el método espectrofotométrico UV/Vis Thermo Scientific® Orion Aquamate 8000, estableciendo la longitud de onda de máxima absorción de 420 nm para melanoidinas (Pérez-Hernández et al., 2013). Al ser compuestos complejos, a la fecha no se ha determinado su estructura molecular, por lo tanto, se carece de un estándar disponible y éste se realiza para cada muestra según el sustrato a evaluar; en este caso para el cálculo de las curvas se utilizó la fórmula de Lambert-Beer,  $C = A/ab$  donde  $C$  = concentración de melanoidinas,  $A$  = Absorbancia de la solución,  $b$  = longitud de celda del espectrofotómetro y  $a$  = coeficiente de extinción específico de las melanoidinas, en L/g-cm, cuyo valor predeterminado es 1.128 L/g-cm (Tagliazucchi et al., 2010). Las curvas se realizaron preparando melanoidinas artificiales a partir de un sistema glucosa-glicina de la siguiente manera: una vez disueltas en agua, después de un proceso de desecación y filtrado, se obtiene un polvo fino que corresponde a las melanoidinas según lo describe (Borrelli et al., 2002). El pico de absorbancia determinado fue de 316 nm, el cual está dentro de los parámetros medidos y reportados (Kim et al., 2007), en donde se establece que las melanoidinas presentan un rango de absorbancia mayor entre 280 y 320 nm.

La concentración de fenoles totales se estimó mediante el kit de medición de fenoles totales HI 3864, (Hanna® Instruments) utilizando la técnica de colorimetría con reacción 4 amino-antipirina (Damaschi, 2018), la norma de referencia para esta técnica es la NMX-AA-073-SCFI-2001 (Estrada-Arriaga, 2013).

### 2.4 DETERMINACIÓN DE METALES

La evaluación de las concentraciones de Cd, Fe, Ca, Mg, Na, Cr, Cu, As, Pb, Ni y Mn se llevó a

cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica utilizando equipo Analytikjena nov AA 800 según la NMX-AA-051-SCFI-2016.

## 2.5 MÉTODOS ESTADÍSTICOS

La base de datos generada fue analizada estadísticamente mediante el uso de software Rstudio utilizando estadística descriptiva y se determinó el Error Estándar de Medias con  $p > 0.05$ . Las muestras se analizaron por triplicado.

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la evaluación de los parámetros fisicoquímicos se presentan en la Tabla 2. El pH fue menor a 5 (3.62 y 4.15) igual al valor de vinazas de mezcal (Bailón et al. 2022), cuyo pH fue en promedio 5.9. La acidez, característica inherente a las vinazas, se correlaciona con la presencia de ácidos orgánicos, mismos que son producidos por las levaduras durante la fermentación (Salomon & Silva Lora, 2009). En cuanto a los efectos negativos de disponer residuos con bajo pH, está la alteración que puede sufrir las condiciones químicas del suelo, lagos y ríos; además de afectar la micro y macrobiota en general (Christofolletti et al., 2021), asimismo, la acidificación a la que continuamente está sometido el suelo y el agua, estimula la solubilización de metales reduciendo microorganismos presentes (Fuess et al., 2017).

En cuanto a la conductividad eléctrica los valores 6.72 y 2.64 mS/cm se encuentran entre los datos reportados por Robles-González et al. (2012) para vinazas de mezcal; contrastando a los valores de las vinazas de caña de azúcar que presentan conductividades de 25.3 a 53.8 mS/cm (Ahmed, 2016). A pesar de que la conductividad de la vinaza de sotol es baja en comparación a la de caña de azúcar, ésta aún puede tener efectos perjudiciales en el suelo, como la reducción de potencial osmótico y destrucción de la estructura del mismo (WHO, 2006).

En la turbidez, los valores reportados por Ahmed (2016) y Robles-González & Soto-Nogueira (2012) abarcan un amplio rango que comprende desde 1.368 hasta 30,000 NTU. Los valores de turbidez varían según el sustrato utilizado y los sólidos en suspensión presentes en la muestra (Ahmed, 2016). En el presente estudio, la vinaza de sotol obtuvo resultados entre 35 y 22.6 NTU, que va en concordancia con vinazas de mezcal (Robles-González et al., 2012).

Los compuestos con alto grado de color presentes en esta investigación (74.5 y 50.1) Pt-Co, coinciden con vinazas tequileras; el color marrón intenso característico de la vinaza, puede atribuirse a la presencia de compuestos con pesos moleculares y estructuras diferentes; este color está presente en todas las vinazas (Caputo, 2020), ya que contienen azúcares sobrecalentados derivados de la reacción de Maillard (España-Gamboa et al., 2011). El inconveniente de altos niveles de color es la reducción de



penetración de luz solar en cuerpos de agua, limitando la actividad fotosintética y afectando la disponibilidad de oxígeno para la fauna acuática (Prasad et al. 2009)

Las muestras de vinaza de sotol contienen un alto nivel de dureza que va de 1980 y 2950 mg/L, respectivamente; asimismo, la alcalinidad cuyos valores de 15,742 y 14,000, son mayores que los reportes de vinazas mezcaleras (Retes-Pruneda et al., 2014) cuyo valor reportado es de 270 mg/L; valores altos de dureza indican que están presentes proporcionalmente elementos como calcio, magnesio y potasio (Bautista-Zúñiga et al., 1998), lo cual va en concordancia con la Tabla 2.

Los sólidos totales de la muestra 1 y muestra 2 (40,251 y 18,080 mg/L) se encuentran entre los valores reportados para vinazas de tequila de Jalisco (15,750 mg/L) y para mezcal de Zacatecas (25,320 mg/L), puesto que los procedimientos de producción son similares (Estrada-Arriaga, 2013). La alta cantidad de sólidos totales puede deberse al proceso artesanal, en este no se tienen máquinas especializadas para reducir o eliminarlos. Como consecuencia, los SDT, SST y SF, exceden en valor con respecto a las vinazas de diferentes sustratos (España-Gamboa et al., 2011). La relación entre SVT/ST, para ambas muestras, es de 0.21 y 0.12, respectivamente, la cual es baja; con respecto a los SFT la relación SFT/ST es de 0.78 y 0.88 por cada muestra, lo que indica una alta presencia de material inorgánico y baja materia orgánica (Von Sperling, 2007).

En el caso particular de los nutrientes, como el cloruro, amoníaco, nitratos, fósforo y potasio, un estudio hecho por Mejía-Rivas (2021), donde se caracterizó vinaza mezcalera que se produce en Durango, muestra una diferencia notable entre los resultados obtenidos, ya que los datos reportados por este investigador son notablemente más altos que los del presente estudio. En el caso particular del K, uno de los nutrientes más importantes considerados para su uso en la agricultura, puede ser catalogado como un buen suplemento, acompañado de un buen manejo, para ser utilizado en fertirrigación (Mattos et al., 2018).

La relación DQO/DBO5 es una medida importante para determinar si es biodegradable y el tratamiento que se puede emplear para remediar la vinaza, los valores por debajo de 2.5 indican que es altamente biodegradable; una relación intermedia entre 2.5 y 4 indica que la relación de inertes no biodegradables es media y, una relación mayor a 4 indica una fracción de inertes alta (Von Sperling, 2007). Con valores de 19.69 y 7.18 mg/L en la muestra 1 y 2, claramente son mayores de 4.0, lo que indica que la materia inerte no biodegradable es abundante en la vinaza de sotol y posiblemente es un indicador de que el efluente requiere tratamiento fisicoquímico.

### 3.1 MELANOIDINAS Y FENOLES

Al igual que en la determinación de características fisicoquímicas, la variabilidad de los valores que se pueden comparar de melanoidinas depende del sustrato. En este estudio las melanoidinas de sotol

(15.28 a 24.36 mg/L), se encuentran en cantidad menor en comparación con Charfuelan, 2012 que reporta 33.3 mg/L en vinazas de caña de azúcar. Las implicaciones ambientales de la presencia de melanoidinas es que al estar en contacto con iones metálicos se desarrollan reacciones complejas que alteran el ciclo geoquímico de algunos componentes del agua (Chandra R. et al., 2008).

Los fenoles totales cuando se encuentran en altas concentraciones, inhiben la germinación de semillas y la actividad microbiana (Charfuelan, 2012). Los valores de fenoles totales dependen de la materia prima de donde se produce el alcohol; en este estudio la muestra 1, se obtuvo un valor de  $701.67 \pm 7.64$  mg/L y para la muestra 2 fue  $903.33 \pm 15.27$  mg/L. La variabilidad de las concentraciones reportadas es alta, se reportan valores de fenoles totales en tequila y mezcal de 0.001 mg/L (Retes-Pruneda, 2014), contrastando con los valores de 0.8-1.64 mg/L en tequila, derivado de la investigación hecha por García-Becerra (2015); no obstante, en vinazas de caña de azúcar se han reportado valores de entre 469 a 667 mg/L (Freitas et al., 2018).

Tabla 2. Características fisicoquímicas, melanoidinas y fenoles evaluados en la vinaza de sotol

Parámetro	Unidades	Muestra 1	Muestra 2	EEM
pH	pH	<b>4.15±0.04a</b>	<b>3.62±0.02b</b>	0.119
Conductividad	mS/cm	6.72±0.33a	2.64±0.25b	0.919
Turbidez	NTU	35.00±0.28a	22.6±0.42b	2.854
Color	Pt-Co	74.5±2.12a	50±1.2b	5.514
Dureza	mg/L	2592±25.45a	1980±32.6b	140.944
Alcalinidad	mg/L	15742.5±364.16	14000±548.36	425.077
ST	mg/L	40251.67±1292.93a	18080.67±153.11b	4968.971
SFT	mg/L	31513.51±744.58a	15930.21±326.22b	3490.848
SDT	mg/L	23575±8039.80	13180±1555.63	1550.25
SVT	mg/L	8798±181.01a	2150±210.63b	1488.266
SST	mg/L	<b>20683.97±794.58a</b>	<b>4900±256.21b</b>	3535.980
Cloruros	mg/L	3.72±0.12	4.2±0.14	0.117
Amoniaco	mg/L	4813±36.89a	4200±89.25b	139.321
Nitratos	mg/L	499±13.53	500±9.25	4.238
Fósforo	mg/L	<b>495±5.41</b>	<b>500±6.53</b>	2.458
Potasio	mg/L	7378±28.4a	4000±42.3b	755.458
DQO	mg/L	<b>11383±332.92a</b>	<b>6750±50b</b>	1039.647
DBO5	mg/L	<b>578±10.25b</b>	<b>932±25.64a</b>	81.201
DQO/DBO5	-----	19.69±0.23	7.18±0.07	
Melanoidinas	mg/L	24.36±0.125	15.28±0.063	
Fenoles	mg/L	701.67±7.64	903.33±15.27	

El valor representa la media  $\pm$  desviación estándar. n=3, letras diferentes indican diferencias significativas a= 0.05 Tukey. ST: Sólidos Totales, SVT: Sólidos Volátiles Totales, SFT: Sólidos Fijos Totales, SVT: Sólidos Volátiles Totales, SST: Sólidos Suspendidos Totales, DQO: Demanda Química de Oxígeno, DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno, EEM: Error Estándar de las Medias. Los valores en **negritas** exceden los límites máximos permisibles (donde aplica) de la NOM 001 SEMARNAT 2021 y NOM 064 ECOL 1994.

Fuente: Elaboración propia

### 3.2 METALES PRESENTES EN LA VINAZA DE SOTOL

La concentración de los metales presentes en ambas muestras de vinaza se presenta en la Tabla 3. El arsénico, cadmio, níquel y cromo están en niveles bajos (<0.1 mg/L) para estos metales y en las dos muestras. Los valores de plomo, zinc, hierro, sodio son 100% más altos que en los rangos reportados en



vinazas tequileras; por otro lado, el calcio, magnesio y manganeso se encuentran dentro de los rangos reportados en las mismas vinazas tequileras (Estrada-Arriaga, 2013). La presencia de metales pesados como los mencionados contaminan gravemente agua y alteran gravemente la química del suelo; además, son acumulativos y tienden a precipitarse en presencia de pH ácidos (Carrilho et al., 2016). En el caso específico del Cu (2.18 y 3.07 mg/L) es de importancia su determinación debido a su pertinencia en épocas de sequía; el principal problema del exceso de cobre es que actúa como insecticida sobre lombrices y hongos micorrízicos (Porcuna, 2013). El Mn es un microelemento esencial (1.62 y 1.12 mg/L), sin embargo, su efecto negativo es que, al alcanzar la acumulación excesiva en compañía de pH ácidos, lo vuelve tóxico y reduce la fotosíntesis en plantas (Leal-Sáenz et al., 2021). En el caso de los elementos Zn y Mn, la aplicación de vinazas en el suelo constituye un riesgo de salinización y toxicidad (Bautista-Zúniga et al., 2000).

Debido a la cantidad que se produce de este efluente, la disposición del mismo de manera continua en suelos puede ocasionar meteorización de suelos por la excesiva presencia de minerales primarios y, por lo tanto, una disminución de la productividad agrícola (Bautista-Zúniga et al., 2000).

Tabla 3. Concentración de metales (mg/L) determinados en las muestras de vinaza de sotol y sus valores de referencia según la NOM y WHO

	Normativa/ legislación ambiental		Muestra de vinaza de sotol	
	NOM 001 SEMARNAT 2021 <sup>a</sup>	WHO	1	2
<b>Cd</b>	0.05 a 0.4	0.01	<0.005	<0.005
<b>Fe</b>	NA	5	11.84	5.78
<b>Ca</b>	NA	NA	1052.7	387.4
<b>Mg</b>	NA	NA	322.8	57.69
<b>Na</b>	NA	NA	65.2	47.52
<b>Cr</b>	0.05 a 1.5	0.1	0.1	<0.10
<b>Cu</b>	4 a 6	0.2	2.18	3.07
<b>As</b>	0.1 a 0.4	0.2	<0.002	<0.002
<b>Pb</b>	0.2 a 1	5	0.53	0.38
<b>Ni</b>	2 a 4	0.2	<0.20	<0.20
<b>Mn</b>	NA	0.2	1.62	1.12

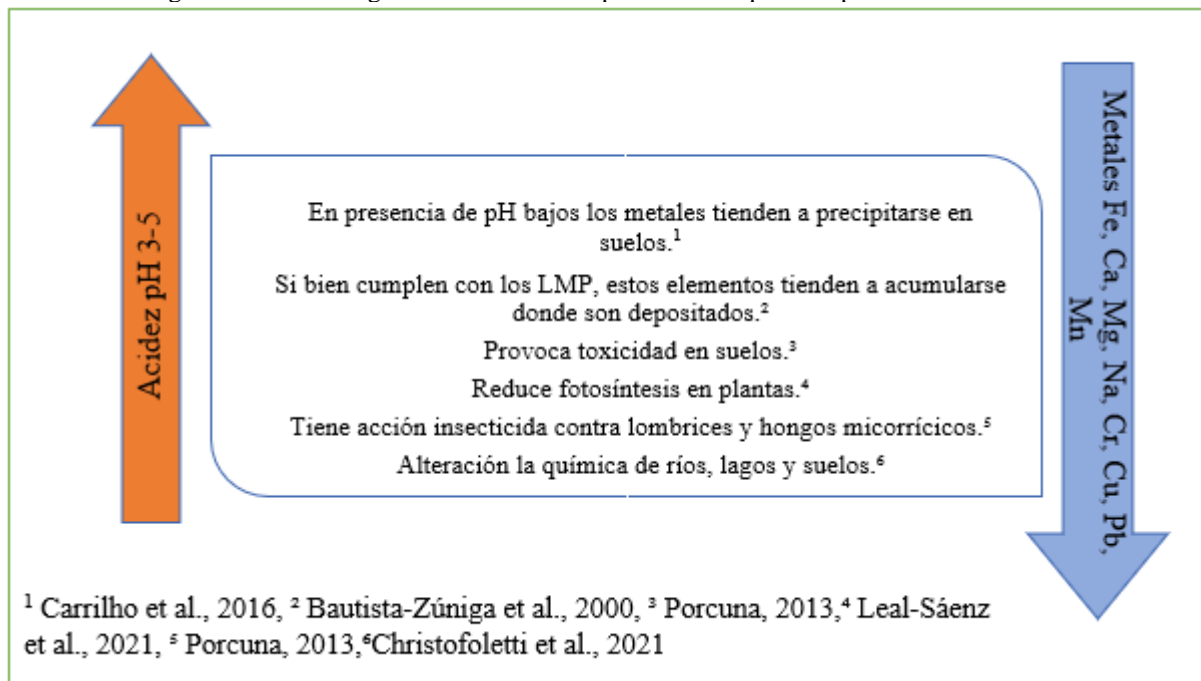
<sup>a</sup> Límites máximos permisibles para metales y cianuros en ríos, arroyos, embalses lagos, lagunas, zonas marinas y suelo

NA= No aplica, valores de referencia no establecidos.

Fuente: Elaboración propia

La figura 1 expone de manera gráfica los efectos negativos de la vinaza en un medio en condiciones de pH bajo y presencia de metales, tomando en cuenta la cantidad que se produce y la acumulación del residuo en aguas y suelos.

Figura 1. Efectos negativos de la relación pH – metales pesados presentes en la vinaza



Fuente: Elaboración propia

El análisis de estos parámetros fisicoquímicos muestra alta variabilidad en el EEM, ya que en 13 de 17 parámetros que se analizaron, hubo diferencias significativas entre las mismas, lo que evidencia la falta de homogenización del proceso para obtener el destilado de sotol tal y como lo expresa Scull et al. (2012). Esto se debe a que el sotol artesanal se elabora de forma no industrializada lo que dificulta extraer muestras uniformes.

#### 4 CONCLUSIONES

Las propiedades fisicoquímicas, fenoles totales y melanoidinas obtenidas en este estudio, sientan precedentes en el aporte del estado de arte de vinazas en general y las vinazas del destilado de sotol en particular.

Con base a los parámetros establecidos en las normas, la vinaza de sotol es un subproducto contaminante con alta presencia de sólidos suspendidos y sedimentables, fenoles y melanoidinas; mencionando aparte, la presencia de metales pesados que aún y cumpliendo con la NOM, debido a la acumulación del residuo en suelos y agua, requiere un estudio más profundo.

La vinaza de sotol, material residual no se debe descargar en aguas y bienes sin tratamiento ya que incumple con la NOM 001 SEMARNAT 2021, debe ser aprovechado mediante su revalorización.

La producción de este residuo es de importancia ambiental, por lo que se requiere un ajuste a los instrumentos normativos, no sólo para atenuar la disposición de la vinaza en agua y suelo, sino para, eventualmente, promover el desarrollo económico, ambiental y social.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecimiento al apoyo otorgado al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo con la beca 815461.

## **CONFLICTO DE INTERÉS**

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- Ahmed, P. M. (2016). Biorremediación de vinazas de destilerías de alcohol, por microorganismos autóctonos aislados de ambientes contaminados [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Tucumán, Departamento de Bioquímica, Química y Farmacia]. <http://hdl.handle.net/11336/8531>
- APHA. (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. 8<sup>va</sup> Ed. <https://www.apha.org/>
- Balón-Salas, A.M., Ordaz-Díaz, L.A., Domínguez-Calleros, P.A. (2022). Agave duranguensis Vinasse as a Biocide for Forest Pest Control. *Bioresources*, 17(1), 1285-1300. <http://dx.doi.org/10.15376/biores.17.1.1285-1300>
- Bautista-Zúñiga, F., & Durán-De-Bazúa, M. D. C. (1998). Análisis del beneficio y riesgos potenciales de la aplicación al suelo de vinazas crudas y tratadas biológicamente. *Revista Internacional de contaminación Ambiental*, 14(1), 13-19. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/32919>
- Bautista-Zúñiga, F., Durán-de-Bazúa, C., Lozano, R. 2000. Cambios químicos en el suelo por aplicación de materia orgánica soluble tipo vinazas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 16(3), 89-10. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/32547>
- Bolaños-Alfaro, J. D. (2014). Determinación de cationes en agua potable del cantón de Grecia, Costa Rica por absorción atómica. *Revista de Las Sedes Regionales*, 15(30), 95-106. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2215-24582014000100005](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-24582014000100005)
- Borrelli, R. C., Fogliano, V., Monti, S. M., & Ames, J. M. (2002). Characterization of melanoidins from a glucose-glycine model system. *European Food Research and Technology*, 215(3), 210-215. <https://doi.org/10.1007/s00217-002-0531-0>
- Caputo, M. (2020). Estudio de la composición orgánica de la vinaza y metodologías para eliminar sus efectos contaminantes [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de la Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/111902>
- Carrilho, E. N. V. M., Labuto, G., & Kamogawa, M. Y. (2016). Destination of Vinasse, a Residue from Alcohol Industry: Resource Recovery and Prevention of Pollution. *Environmental Materials and Waste*, 21-43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803837-6.00002-0>
- Chandra R., Bharagava, R.N., Rai, V. (2008). Melanoidins as major colourant in sugarcane molasses based distillery effluent and its degradation. *Bioresource Technology*, 99(11), 4648-4660. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.057>
- Christofoletti, C.A., Escher, J.P., Correira, J.E., Marinho, J.F.U., & Fontanetti, C.S. (2021). Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use. *Waste Management*, 33(12), 2752-2761. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.09.005>
- CONADESUCA. (2016). Vinazas: Alternativas De Uso. SAGARPA-INIFAP [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171932/Nota\\_Informativa\\_Septiembre\\_Vinazas.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171932/Nota_Informativa_Septiembre_Vinazas.pdf)
- Díaz-Vázquez, D., Carrillo-Nieves, D., Orozco-Nunelly, D.A., Senés-Guerrero, C., Gradilla-Hernández, M.S. (2021). An integrated approach for the assessment of Environmental Sustainability in Agro-Industrial

Waste Management Practices: The case of the Tequila Industry. *Front. Environ. Sci.* 9 (682093). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.682093>

Damaschi, I. (2018). Determinazione dei polifenoli nei vini : ottimizzazioni di un metodo analítico basato sui transistor elettrochimici organici [Tesi di laurea sperimentale, Università di Bologna].

España-Gamboa, E., Mijangos-Cortes, J., Barahona-Perez, L., Dominguez-Maldonado, J., Hernández-Zarate, G., & Alzate-Gaviria, L. (2011). Vinasses: Characterization and treatments. *Waste Management and Research*, 29(12), 1235–1250. <https://doi.org/10.1177/0734242X10387313>

Estrada-Arriaga, E. B. (2013). Desarrollo de una tecnología de tratamiento para aguas residuales de la industria de bebidas alcohólicas (tequila) (Issue 777). <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1550>

Freitas, P. V., Da Silva, D. R., Beluomini, M. A., Da Silva, J. L., & Stradiotto, N. R. (2018). Determination of Phenolic Acids in Sugarcane Vinasse by HPLC with Pulse Amperometry. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2018/4869487>

Fuess, L.T., Rodrigues I.J., & García, M.L. (2017). Fertirrigation with sugarcane vinasse: Foreseeing potential impacts on soil and waste water resources trough vinasse characterization. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 52(11), 1063-1072. <https://doi.org/10.1080/10934529.2017.1338892>

Han, Y., Boateng, A.A., Qi, P.X., Lima, I.M. & Chang, J. (2013). Heavy metal and phenol adsorptive properties of biochars from pyrolyzed switchgrass and woody biomass in correlation with surface properties. *Journal of Environmental Management*, 118(2013), 196-204. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.001>

Hidalgo, K., Bocourt, R., Mora, L., & Albelo, A. (2017). Physical-chemical and microbiological characterization of the concentrated vinasse from alcohol distillery. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 5(4), 459-469. <http://www.cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/747>

Hoarau, J., Caro, Y., Grondin, I., & Petit, T. (2018). Sugarcane vinasse processing: Toward a status shift from waste to valuable resource. A review. *Journal of Water Process Engineering*, 24(May), 11–25. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.05.003>

Leal-Sáenz, A., Waring, K., Álvarez-Zagoya, R., Hernández-Díaz, J., López-Sánchez, C., Martínez-Guerrero, J., & Wehenkel, C. (2021). Assessment and Models of Insect Damage to Cones and Seeds of *Pinus strobiformis* in the Sierra Madre Occidental, México. *Front. Plant Sci*, 12 (628795). <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.628795>

Madrid-Solórzano, J. M., & Soto Nogueira, L. (2021). Análisis del ciclo de inventario para la elaboración de la bebida Sotol. *Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte*, 1–27. <http://cathi.uacj.mx/20.500.11961/19124>

Mattos, D.S., Margarido, L.A.C. & Ceccato-Antonini, S.R. (2018). Influence of sugarcane variety and management on the mineral composition of vinasse from alembic cachaca. *Acta Scientiarum Technology*, 40, e36581-e36581. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v40i1.36581>

Mejía-Rivas, C. A. (2021). Aplicación de mucilago de nopal (*Opuntios ficus-indica*) como coadyuvante para remoción de melanoidinas en efluentes mezcalderos [Tesis de Maestría, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Durango].

Mohamad Said, K.A., Ismail, A.F., Abdul Karim, Z., Abdulla, M.S. & Hafeez, A. (2021). A review of technologies for the phenolic compounds recovery and phenol removal from wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, 151(2021), 257-289.  
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.05.015>

Nitayavardhana, S., Issarapayup, K., Pavasant, P., & Khanal, S. K. (2013). Production of protein-rich fungal biomass in an airlift bioreactor using vinasse as substrate. *Bioresource Technology*, 133, 301–306.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.01.073>

NMX-AA-034-SCFI-2015. (2015) Análisis De Agua - Medición De Sólidos Y Sales Disueltas En Aguas Naturales , Residuales Y Residuales Tratadas – Método De Prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-029-SCFI-2001.pdf>

NMX-AA-051-SCFI-2016. (2016) Análisis de agua. -Medición de metales por absorción atómica en aguas naturales. Método De Prueba (Cancela a La NMX-AA-051-SCFI-2001). Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-051-scfi-2016.pdf>

NMX-AA-093-SCFI-2000. (2000). Determinación de la conductividad electrolítica- Método de Prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. <https://agua.org.mx/biblioteca/nmx-aa-093-scfi-2000-analisis-de-agua-determinacion-de-la-conductividad-electrolitica-metodo-de-prueba/>

NMX-AA-003-1980. (1980). Muestreo de aguas residuales. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-003-1980.pdf>

NMX-AA-028-SCFI-2001. (2001). Análisis De Agua - Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en Aguas Naturales , Residuales Y Residuales Tratadas - Método De Prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. <https://agua.org.mx/biblioteca/nmx-aa-028-scfi-2001-analisis-de-agua-determinacion-de-la-demanda-bioquimica-de-oxigeno-en-aguas-naturales-residuales-dbo5-y-residuales-tratadas-metodo-de-prueba/>

NMX-AA-030-SCFI-2001. (2001). Química de Oxígeno en Aguas Naturales , Residuales Y Residuales Tratadas - Método De Prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. <https://agua.org.mx/biblioteca/nmx-aa-030-scfi-2001-analisis-de-agua-determinacion-de-la-demanda-quimica-de-oxigeno-en-aguas-naturales-residuales-y-residuales-tratadas-metodo-de-prueba/>

NMX-AA-073-SCFI-2001. Análisis de agua-determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas -método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. <https://agua.org.mx/biblioteca/nmx-aa-073-scfi-2001-analisis-de-agua-determinacion-de-cloruros-totales-en-aguas-naturales-residuales-y-residuales-tratadas-metodo-de-prueba/>

NMX-AA-051-SCFI-2016. Análisis de agua. Medición de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. <https://agua.org.mx/biblioteca/nmx-aa-051-scfi-2001-analisis-de-agua-determinacion-de-metales-por-absorcion-atomica-en-aguas-naturales-potables-residuales-y-residuales-tratadas-metodo-de-prueba/>



NOM-001-SEMARNAT-2021. (2021). Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Diario Oficial de la Federación. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0)

NOM-064-ECOL-1994. (1994). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la destilería. Diario Oficial de la Federación. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4865774&fecha=05/01/1995#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4865774&fecha=05/01/1995#gsc.tab=0)

Olhagaray-Rivera, E., Esparza-Chávez, G., & Vega-Sotelo, F. (2004). Producción y comercialización de licores de Sotol (*Dasyliirion cedrosanum Trel*) en Durango, México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 29(95), 83–89. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/878>

Ordaz-Díaz, L. A., Rivera-Ceniceros, O., Rodríguez-Rosales, M.D., Valle-Cervantes, S., Madrid-del Palacio, M., Kopa, K., & Bailón-Salas, A.M. (2019). La Vinaza del Mezcal , un producto que de contaminante puede ser un fertilizante. Eek´ Revista Del COZCYT.

Pérez-Hernández, L. M., Chávez-Quiroz, K., Medina-Juárez, L. Á., & Gámez Meza, N. (2013). Compuestos fenólicos, melanoidinas y actividad antioxidante del café verde y procesado de especies *Coffea arabica* y *Coffea canephora*. BIOTecnia, 15(1), 51. <https://doi.org/10.18633/bt.v15i1.136>

Porcuna, J. L. (2013). Manejo de Plagas y Enfermedades en Producción Ecológica. SEAE, Sociedad Española de Agricultura Ecológica, 50.

Prasad R.K., Srivastava S.N. (2009). Electrochemical degradation of distillery spent wash using catalytic anode: Factorial design of experiments. Chemical Engineering Journal, 146, 22-29. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.05.008>

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. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i5.1313>

Retes-Pruneda, J. L. (2014). Biorremediación de vinazas de la industria tequilera y mezcalera mediante tratamiento fisicoquímico y biológico. [Tesis de Doctorado , Departamento de Ingeniería Bioquímica, Universidad Autónoma de Aguascalientes]. <http://hdl.handle.net/11317/1089>

Ríos-Saucedo, J. C., Hernández-Solis, J. J., Jáquez-Velasquez, L. E., Hernández-López, L. J., Domínguez-Martínez, P. A., & Santana-Espinoza, S. (2020). Concentración de Grados Brix en poblaciones naturales de Sotol (*Dasyliirion spp.*) en Durango, México. Ciencia e Innovación, 3(2).

Robles-González, V., Galíndez-Mayer, J., Rinderknecht-Seijas, N., & Poggi-Varaldo, H. M. (2012). Treatment of mezcal vinasses: A review. Journal of Biotechnology, 157(4), 524–546. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2011.09.006>

Salomon, K. R., & Silva Lora, E. E. (2009). Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. Biomass and Bioenergy, 33(9), 1101–1107. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.03.001>

Scull, I., Savón, L., Gutiérrez, O., Valiño, E., Orta, I., Mora, P. O., Orta, H., Ramos, Y., Molidena, A., Coto, G. & Noda, A. 2012. Physic - chemical composition of concentrated vinasse for their assessment in

animal diets. Cuban Journal of Agricultural Science, 46(4), 385–389, <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=193027579008>

Sousa, R. M. O. F., Amaral, C., Fernandes, J. M. C., Fraga, I., Semitela, S., Braga, F., Coimbra, A. M., Dias, A. A., Bezerra, R. M., & Sampaio, A. (2019). Hazardous impact of vinasse from distilled winemaking by-products in terrestrial plants and aquatic organisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 183, 109493. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109493>

Tagliazucchi, D., Elena, V., & Angela, C. (2010). Effect of Dietary Melanoidins on Lipid Peroxidation during Simulated Gastric Digestion: Their Possible Role in the Prevention of Oxidative Damage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(4), 2513–2519. <https://doi.org/10.1021/jf903701h>

Von Sperling, M. (2007). Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal. In *Biological Wastewater Treatment Series 6(0)*. <https://doi.org/10.2166/9781780402086>

WHO. (2006). Safe use of wastewater , excreta and greywater guidelines. Volume 2: wastewater use in agriculture. World Health Organization, II, 204. [http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546832\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546832_eng.pdf)

Zúñiga-Cerón, V., & Gandini-Ayerbe, M. A. (2013). Caracterización ambiental de las vinazas de residuos de caña de azúcar resultantes de la producción de etanol. *Dyna*, 80(177), 124–131. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49625661016>