

DOI: 10.26820/recimundo/8.(3).julio.2024.371-391

URL: <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/2438>

EDITORIAL: Saberes del Conocimiento

REVISTA: RECIMUNDO

ISSN: 2588-073X

TIPO DE INVESTIGACIÓN: Artículo de investigación

CÓDIGO UNESCO: 31 Ciencias Agrarias

PAGINAS: 371-391



Efecto de la vinaza en el rendimiento azucarero y calidad de caña de azúcar, aplicada con el riego, en el Ingenio Valdez; Milagro

Effect of vinase on sugar yield and sugar cane quality, applied with irrigation, in the Valdez Sugar cane; Milagro

Efeito da vinhaça na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar, aplicada com irrigação, em Ingenio Valdez; Milagro

Miguel Ángel Suárez Valles¹; Marcia Jeannine Garzón Avilés²

RECIBIDO: 20/04/2024 **ACEPTADO:** 11/06/2024 **PUBLICADO:** 10/12/2024

1. Magíster en Ingeniería Agrícola con Mención en Riego y Drenaje; Ingeniero Agropecuario; Universidad Agraria del Ecuador; Guayaquil, Ecuador; miguel.suarez.valles@uagraria.edu.ec;  <https://orcid.org/0009-0002-8332-4897>
2. Máster Universitario en Sistemas Integrados de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales, La Calidad, El Medio Ambiente y la Responsabilidad Social Corporativa; Ingeniera Ambiental; Investigadora Independiente; Guayaquil, Ecuador; m-janninga@hotmail.com;  <https://orcid.org/0000-0002-7266-3634>

CORRESPONDENCIA

Miguel Ángel Suárez Valles

miguel.suarez.valles@uagraria.edu.ec

Guayaquil, Ecuador

RESUMEN

El objetivo general de este artículo fue evaluar cómo la aplicación de vinaza, en combinación con el riego, afecta: El rendimiento del cultivo de caña de azúcar (toneladas por hectárea). La calidad de la caña, considerando parámetros como el contenido de sacarosa (rendimiento azucarero). Se implementaron parcelas experimentales en el Ingenio Valdez, ubicado en Milagro, Ecuador. Diferentes dosis de vinaza fueron aplicadas a través del sistema de riego. Se compararon los resultados con parcelas de control que no recibieron vinaza. La vinaza mejoró significativamente el rendimiento de la caña de azúcar, aumentando tanto la biomasa como el contenido de sacarosa en comparación con las parcelas de control. Las dosis óptimas de vinaza favorecieron la calidad del cultivo sin generar efectos negativos en el suelo o el medio ambiente, siempre que se aplicaran de manera controlada. La aplicación con riego se mostró como una estrategia eficiente para la distribución de la vinaza en el campo. La vinaza, utilizada adecuadamente, puede ser una alternativa sostenible para mejorar la productividad del cultivo de caña de azúcar. Su integración como fertilizante contribuye a la economía circular, al reutilizar subproductos industriales en la agricultura. Se sugiere realizar estudios a largo plazo para evaluar los efectos acumulativos de la vinaza en el suelo. Es importante desarrollar protocolos de aplicación para evitar problemas como la salinización o contaminación de aguas subterráneas.

Palabras clave: Eficiencia de riego en surco, Jugo de caña, Potasio, Saccharum officinarum L., Subproductos de fábrica, Suelo.

ABSTRACT

The general objective of this article was to evaluate how the application of vinasse, in combination with irrigation, affects: The yield of sugarcane cultivation (tons per hectare). The quality of the cane, considering parameters such as sucrose content (sugar yield). Experimental plots were implemented at the Valdez Sugar Mill, located in Milagro, Ecuador. Different doses of vinasse were applied through the irrigation system. The results were compared with control plots that did not receive vinasse. Vinasse significantly improved sugarcane yield, increasing both biomass and sucrose content compared to control plots. The optimal doses of vinasse favored the quality of the crop without generating negative effects on the soil or the environment, as long as they were applied in a controlled manner. Application with irrigation was shown to be an efficient strategy for the distribution of vinasse in the field. Vinasse, used properly, can be a sustainable alternative to improve the productivity of sugarcane cultivation. Its integration as a fertilizer contributes to the circular economy, by reusing industrial byproducts in agriculture. It is suggested that long-term studies be carried out to evaluate the cumulative effects of vinasse on the soil. It is important to develop application protocols to avoid problems such as salinization or contamination of groundwater.

Keywords: Cane juice, Factory by-products, Furrow irrigation efficiency, Potassium, Saccharum officinarum L., Mill by-products, Soil.

RESUMO

El objetivo general de este artículo fue evaluar cómo afecta la aplicación de vinaza, en combinación con el riego: El rendimiento del cultivo de caña de azúcar (toneladas por hectárea). La calidad de la caña, considerando parámetros como el contenido de sacarosa (rendimiento en azúcar). Se implementaron parcelas experimentales en el Ingenio Azucarero Valdez, ubicado en Milagro, Ecuador. Se aplicaron diferentes dosis de vinaza a través del sistema de riego. Los resultados se compararon con parcelas de control que no recibieron vinaza. La vinaza mejoró significativamente el rendimiento de la caña de azúcar, incrementando tanto la biomasa como el contenido de sacarosa en comparación con las parcelas control. Las dosis óptimas de vinaza favorecieron la calidad del cultivo sin generar efectos negativos sobre el suelo o el medio ambiente, siempre que se aplicaran de forma controlada. La aplicación con riego demostró ser una estrategia eficaz para la distribución de la vinaza en el campo. La vinaza, utilizada adecuadamente, puede ser una alternativa sostenible para mejorar la productividad del cultivo de la caña de azúcar. Su integración como fertilizante contribuye a la economía circular, al reutilizar subproductos industriales en la agricultura. Se sugiere realizar estudios a largo plazo para evaluar los efectos acumulativos de la vinaza en el suelo. Es importante desarrollar protocolos de aplicación para evitar problemas como la salinización o la contaminación de las aguas subterráneas.

Palavras-chave: Jugo de caña, Subproductos de fábrica, Eficiencia de riego por surcos, Potasio, Saccharum officinarum L., Subproductos de molienda, Suelo.

Introducción

La demanda mundial de alimentos es constante y exponencial, influyendo directamente en el desarrollo de los procesos agroindustriales para abastecer los mercados nacionales y con miras a lograr participación en exportaciones; el azúcar de caña y los subproductos derivados de su extracción, no son la excepción. En el año 2020, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés), en su documento OCDE-FAO, Perspectivas Agrícolas 2020-2029, ha previsto un aumento del consumo mundial de azúcar en 1.4% al año y estimando llegar a 199 Mt en 2029, además prevé que la mayor parte de los aumentos en la producción tenga lugar en países en desarrollo.

Ecuador es un país productor de caña de azúcar, cultivo de importancia económica debido a la producción de azúcar, alcohol y etanol, además de obtenerse derivados como electricidad (con el excedente de bagazo) y bioplásticos. Sánchez, Vayas, Mayorga y Freire (2020), mencionan que el sector azucarero del Ecuador, de acuerdo con la Federación Nacional de Azucareros FENAZÚCAR, tiene más de 110.000 hectáreas (ha) de caña de azúcar, de las cuales más del 75% se destinan a la producción de azúcar; siendo, Valdez (Milagro), San Carlos (Marcelino Maridueña y Naranjito), Agroazúcar (ex Ingenio La Troncal), Monterrey (Loja) y Del Norte (Imbabura), los principales ingenios azucareros. FENAZUCAR señala que, han existido bajas en las ventas del sector azucarero nacional, debido a rubros como salarios y agroquímicos principalmente, conllevando a altos costos de producción.

El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar CINCAE, considerando la sustitución del fertilizante sintético por la vinaza, ha realizado estudios para cuantificar las ventajas y los perjuicios que su uso puede generar en las propiedades químicas y físicas de los suelos; además, de medir la respuesta de diferentes dosis en la producción

de caña y azúcar. Todavía hay deficiencia de información de la aplicación de la vinaza en conjunto con el agua de riego sobre el comportamiento del cultivo y características del suelo, investigación que permita comprender el efecto de diferentes dosis de vinaza sobre la productividad de la caña de azúcar y en los contenidos nutricionales y características químicas de suelos representativos para recomendar su utilización como fertilizante, sin ocasionar deterioro al suelo y posibles contaminaciones.

Conjugar la política actual de ahorro en costos de producción y la sostenibilidad de la industria de la caña de azúcar, ha llevado al ingenio Valdez a usar los subproductos del proceso agroindustrial para abaratar rubros como la fertilización, surgiendo la necesidad de conocer con carácter investigativo experimental, el comportamiento de la fertilización con vinaza diluida en el agua de riego para determinar si existe injerencia de su composición mineral sobre la producción de caña y rendimiento de azúcar; además, de analizar variaciones en las características físicas y químicas del suelo con el objetivo de que se convierta en aporte para el manejo del cultivo y su uso no cauce perjuicio en la planta y el suelo.

La demanda de alcohol anhidro y etanol, han marcado directa y proporcionalmente la producción de mayores volúmenes de vinaza que por su alto nivel contaminante debe ser manejado idóneamente en pro de evitar perjuicios a los moradores y fauna adyacente, cumpliendo la normativa ambiental y el compromiso social, aunado a la necesidad de satisfacer el mercado con azúcar de caña, ha generado que se busque alternativas de buen uso de la vinaza en el manejo del cultivo de la caña de azúcar, la cual ha sido probada bajo otras condiciones agroecológicas diluida en el agua de riego o de manera concentrada, obteniéndose buenos resultados en productividad y mejoramiento de suelos. Con este antecedente, en Ecuador, el ingenio Valdez ubicado en el cantón Milagro provincia de Guayas, ha

venido aplicando la vinaza con el riego para eliminar la fertilización sintética con potasio, pero sin mayores evaluaciones, por lo cual es necesario evaluar la aplicación de vinaza con el riego sobre el rendimiento azucarero y calidad de la caña, además conocer si el suelo se ve afectado física y/o químicamente producto de esa aplicación. Los resultados podrían constituirse en una herramienta de criterio para solucionar la problemática del uso de la vinaza como fertilizante, su influencia en el suelo y su viabilidad futura en el cultivo de caña de azúcar.

El ingenio Valdez recibe de Codana S.A., cerca de 468 000 m³ de vinaza por año, resultante del proceso de obtención de alcohol, la cual se caracteriza por su alto contenido de potasio (K) y otros nutrientes. La vinaza constituiría una alternativa como enmienda para corregir deficiencias de este elemento en el suelo y su dilución en el agua de riego podría ayudar a incrementar la producción de caña y el rendimiento de azúcar, al afectar positivamente en los contenidos de nutrientes del suelo y mejorar sus propiedades químicas. El departamento de investigación del ingenio al igual que el CINCAE, cuentan con los recursos técnicos, metodológicos y tecnológicos, para evaluar el comportamiento de este recurso reutilizable y su afectación al suelo, aprovechando el sistema de riego durante los ciclos de cultivo. Toda la información que podría obtenerse a partir de este estudio contribuiría con algunos beneficios de tipo ambiental y económico e incentivaría su utilización en cantidades adecuadas, en las demás unidades agroproductivas, tanto del propio ingenio como de los proveedores. El ensayo se realizó en la unidad productiva N° 004-046 (cantero comercial) con coordenadas geográficas Latitud: 2.053948S y Longitud: 79.572687W del ingenio Valdez, ubicado en el cantón Milagro de la Provincia del Guayas, con un periodo de evaluación en campo de junio a noviembre del 2023.

Formulación del problema ¿Cuál será el efecto de la vinaza en el rendimiento azu-

carero y calidad de la caña de azúcar, aplicada con el riego, en el cantero 004-046 del ingenio Valdez?

El objetivo general es Determinar el efecto de la vinaza en el rendimiento azucarero y calidad de la caña de azúcar, aplicada con el riego, en el ingenio Valdez. Como objetivos específicos se tienen Determinar el rendimiento de caña y azúcar como respuesta a la aplicación de vinaza con el riego, en el cantero 004-046 del ingenio Valdez. Valorar la calidad de la caña de azúcar como efecto de la aplicación de la vinaza Evaluar el cambio de las propiedades físicas y concentración de nutrientes en el suelo como respuesta a la aplicación de vinaza.

La hipótesis general es: El uso de vinaza con el riego incrementa la producción de caña y el rendimiento azucarero; además, incide en las concentraciones fisicoquímicas del suelo. El aporte teórico o conceptual con el análisis de la vinaza usada en el riego se pretende tener una base científica que apoye su uso como alternativa para sustituir la fertilización con potasio sintético en una dosis comprobada, que mejore la productividad del cultivo de caña de azúcar sin perjuicio de las propiedades químicas y físicas de los suelos del ingenio Valdez. La aplicación práctica es la publicación de los resultados, se tendrá una recomendación de dosis y manejo de vinaza mezclada con el riego, para canteros con características semejantes de suelo en estudio, que permita mayor producción de caña y azúcar, además de enmendar las deficiencias de potasio en suelos del ingenio Valdez, prevenir daños ambientales y abaratar costos de producción.

Metodología

La investigación se realizó de forma analítica y experimental de campo y laboratorio, para determinar la respuesta de las variables planteadas y por diferenciación estadística concluir sobre el efecto de la aplicación de vinaza con el riego para el cultivo de caña de azúcar. Se hizo muestreos para calidad de caña, cosecha de ensayo y toma

de muestras de suelo en el ensayo establecido desde 2017 y evaluado hasta la actualidad. Las evaluaciones se realizaron en cada unidad experimental en los cinco tratamientos y las seis repeticiones.

Es una investigación cuasi-experimental, al tratar a un testigo y cuatro dosis de vinaza aplicadas con el riego, con tratamientos sin aleatorización en campo. Se evaluarán el rendimiento de caña y azúcar, la calidad de los jugos de caña y los análisis de las características físicas y químicas del suelo. Es de tipo descriptiva, cuantitativa y documental al evaluar y analizar las variables, cuyos

datos se someterán a pruebas estadísticas y valorar los resultados de laboratorio en estados previos y actuales del ensayo. Además, informará sobre las características de la vinaza que se generaron en este nuevo ciclo de producción de caña de azúcar y la eficiencia de aplicación del riego por gravedad en la parcela experimental

Variable independiente; Dosis de vinazas aplicadas. **Variables dependientes;** Producción de caña (TCH). Rendimiento de azúcar (SAH). Análisis de calidad de caña:

Contenido de nutrientes y propiedades físicas del suelo: Extracción de nutrientes:

Tabla 1. Operacionalización de las variables: Matriz de operacionalización de las variables

VARIABLE		DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO DE MEDICIÓN	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	Dosis de vinaza	Los tratamientos de aplicación de vinaza mostraron los resultados sobre la producción de caña, contenido de azúcar y su efecto en las propiedades físicas y químicas del suelo aplicando un diseño DCA	Efecto de la vinaza en las variables productivas de caña de azúcar y su afectación en la fertilidad del suelo	Tiempo de riego por parada (lonada de 27 surcos) Aforo de la descarga de vinaza en la válvula de la bocatoma del vinazoducto	Cuantitativa	Cronómetro Balde y jarra graduados Fórmula para volumen
DEPENDIENTE	Producción de caña	Se evaluó el tonelaje obtenido en cada unidad experimental para determinar la producción de caña por tratamiento aplicado	Cuantificar el tonelaje de caña cosechada en cada unidad experimental para determinar por tratamiento la producción de biomasa de tallos al final del ciclo de cultivo	Peso en toneladas de caña TCH, contenido de sacarosa, rendimiento de azúcar a la cosecha; concentraciones de nutrientes en el suelo y cambio en parámetros físicos	Cuantitativa	Peso en báscula.
	Rendimiento de azúcar	Se calculó la cantidad de sacos de azúcar por tratamiento, usando el % pol caña Fb y el TCH obtenido en cada unidad experimental.	Cuantificar el rendimiento de azúcar en cada unidad experimental para determinar la dosis de vinaza más efectiva.	Sacos de 50 kg de azúcar por hectárea SAH	Cuantitativa	Peso en báscula y % pol caña Fb
	Calidad de caña	Se analizó la calidad de los jugos de caña de cada unidad experimental para determinar el porcentaje de sacarosa por tratamiento, usando el método de la prensa hidráulica.	Determinar la cantidad de sacarosa aparente y sólidos totales disueltos en el jugo de caña de cada tratamiento en estudio al final del ciclo de cultivo	% Pureza, % pol caña Fb, % Az reductores, % de cenizas conductimétricas y % K	Cuantitativa	Análisis químico del jugo y bagazo prensado en laboratorio CINCAE
	Propiedades físicas y contenidos de nutrientes en suelo	Se analizó los suelos de cada tratamiento y se comparará sus parámetros con el análisis anterior de caña planta (primer año de estudio 2017).	Analizar cambios físicos del suelo en cada tratamiento Analizar los parámetros químicos del suelo tras la aplicación de los tratamientos.	Densidad aparente, textura y estructura. Concentración de P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn, C.I.C., C.E. y pH en suelo	Cuantitativa	Análisis físico y químico de suelo en laboratorio CINCAE.
Extracción de nutrientes	Se evaluó al final del ciclo la absorción obtenida por la parte aérea de la caña por tratamiento aplicado	Determinar la cantidad de nutrientes en hojas y tallos por tratamiento al final del ciclo de cultivo.	Contenido de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn, en tejido vegetal	Cuantitativa	Análisis químico de tejido vegetal en laboratorio CINCAE.	

Población.— La población considerada es la total de tallos de la variedad EC-02, encontrados en seis surcos de 104.2 m de largo en promedio (de canal de riego a drenaje) en manejo de cantero comercial. A su vez se considera a las unidades experimentales y su espacio físico que fue de 1000.32 m² (6 surcos a 1.6 m y 104.2 m de largo)..

Muestra.— Dentro de cada unidad experimental se estableció el área útil que consideró a los cuatro surcos centrales de cada parcela, con sus 104.2 m de largo; en ella se tomarán ocho tallos para calidad de caña, tres tallos para extracción de nutrientes y la totalidad de la parcela para peso (TCH). En el aspecto edáfico, una vez cosechado el ensayo, se tomarán diez submuestras para conformar una muestra compuesta de suelo considerando de igual manera el área útil de cada unidad experimental, en dos parcelas de cada tratamiento se determinaron la densidad aparente, textura y estructura. Al inicio del ensayo en 2017 se tomó muestras de suelos en las mismas parcelas consideradas al final, tanto para análisis químico como físico.

Para las variables de producción y rendimiento, la recolección de datos se realizó por medio de muestreos de caña en pre-cosecha, del corte mecanizado de las unidades experimentales y muestreo de suelos de cada tratamiento.

Resultados

Rendimiento de caña y azúcar como respuesta a la aplicación de vinaza con el riego, en el cantero 004-046 del ingenio Valdez

Primeramente, se sometió los datos de todas las variables dentro de los tratamientos en estudio a la prueba de Shapiro-Wilks (Anexo 5), para determinar su distribución normal, detectándose una variable con datos atípicos para la cual se transformó los valores (Anexo 6) y finalmente, se declaró la normalidad de datos. Aceptando esta normalidad, se procedió a realizar el análisis de varianza (Anexo 7) para conocer la estadística y describir el efecto de la vinaza aplicada con el riego en la productividad de caña de azúcar.

En la producción de caña (TCH) de los cinco tratamientos propuestos; se detectó diferencia estadística entre sus medias, con la prueba de Tukey al 5% de error, resultando en dos grupos de significación definidos, separando al testigo sin aplicación de vinaza regado únicamente con agua (0 m³ ha⁻¹) y el tratamiento con 30 m³ ha⁻¹ de vinaza que obtuvieron menor producción de caña, de las dosis de 60 a 120 m³ ha⁻¹ que alcanzaron los mayores TCH, pudiéndose notar una diferencia de 16 TCH entre el testigo y el tratamiento de 90 m³ ha⁻¹ de vinaza que numéricamente destaca por su media general en tercera soca, como se aprecia en la tabla a continuación.

Tabla 2. Producción de caña (TCH), concentración de sacarosa a la cosecha (% pol caña) y rendimiento azucarero en sacos de azúcar por hectárea (SAH) de cinco dosis de vinaza aplicadas en el riego, en tercera soca. Variedad EC-02, cantero 004-046 del Ingenio Valdez

Tratamiento (Vinaza m ³ ha ⁻¹)	TCH	% pol caña Fb.	SAH
0	72.5 b	13.3 a	193.2 c
30	75.3 b	13.2 a	199.2 bc
60	87.7 a	13.1 a	229.4 a
90	88.6 a	13.4 a	237.5 a
120	82.5 a	13.4 a	220.0 ab
C.V.	4.8	4.4	5.8

Fuente: Elaborado por: Suárez, 2024

En el reporte de calidad de caña (Anexo 3), se muestra la concentración de sacarosa (% pol caña Fb.) que después de su análisis de varianza, no evidenció diferencia estadística, pero con esta variable se hallaron los rendimientos azucareros, medidos en sacos de azúcar extrapolado a hectárea (SAH) de cada tratamiento (Tabla 3). El análisis estadístico encontró, que entre las dosis de 60 y 90 m³ ha⁻¹ de vinaza se encuentra el mayor rendimiento de SAH; además, si se considera la mayor media general (237.5 SAH) obtenida con la aplicación de 90 m³ ha⁻¹ de

vinaza en el riego, se supera a los tratamientos de 60, 120, 30 y 0 m³ ha⁻¹ de vinaza, con más de 8, 17, 38 y 44 SAH, respectivamente.

Con resultados de la variable SAH para las cinco dosis de vinaza, se realizó la línea de tendencia polinómica y su regresión cuadrática ($r^2=0.81$), determinando que con 87 m³ ha⁻¹ de vinaza, se alcanzó el mayor rendimiento azucarero (229.7 SAH o 11.5 TAH), siendo el punto óptimo de la curva, denominado como dosis máxima (DM) para la aplicación de vinaza con el agua de riego y bajo condiciones de tercera soca.

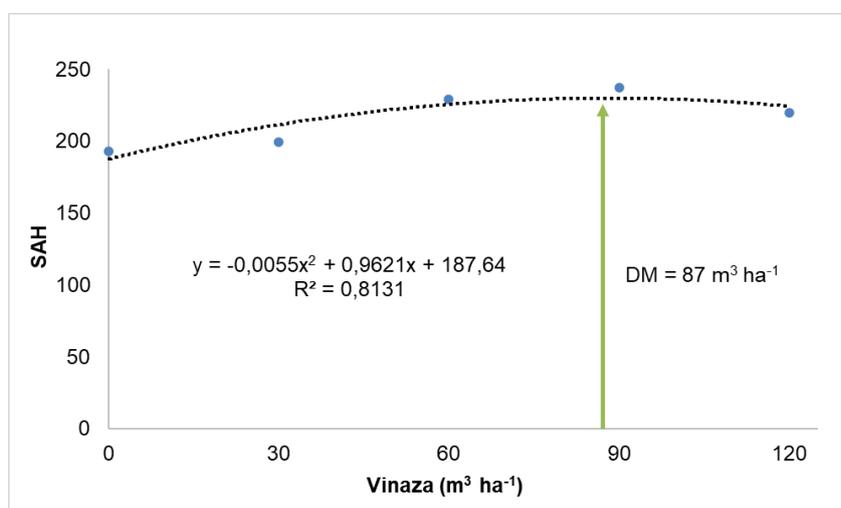


Figura 1. Dosis máxima (DM) de vinaza, determinada por regresión cuadrática para sacos de azúcar por hectárea (SAH). Variedad EC-02, cantero 004-046 del Ingenio Valdez

Fuente: Suárez, 2024

Calidad de la caña de azúcar como efecto de la aplicación de la vinaza

Para valorar la calidad de los jugos se consideraron las variables pureza porcentual del jugo (relación entre grados brix y pol jugo), los contenidos de fibra, azúcares reductores, cenizas conductimétricas y potasio (K),

que son parámetros de consideración, para obtener la mayor cantidad de sacarosa o azúcar de caña. Analizando estadísticamente la pureza del jugo, los porcentajes de fibra y azúcares reductores no existió evidencia estadística significativa entre recibir o no vinaza por medio del riego (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros de calidad de jugo de caña a los 12 meses en cinco tratamientos de vinaza aplicada en el riego. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez

Tratamiento (Vinaza m ³ ha ⁻¹)	% Pureza	% Fibra caña	% Azúcares reductores	% Cenizas	% K jugo
0	93.4 a	13.8 a	0.47 a	0.31 c	0.09 b
30	93.1 a	13.5 a	0.46 a	0.36 bc	0.12 ab
60	92.5 a	12.9 a	0.49 a	0.38 ab	0.11 ab
90	92.4 a	12.8 a	0.41 a	0.44 a	0.13 a
120	93.3 a	13.1 a	0.46 a	0.42 ab	0.11 ab
C.V.	1.1	4.8	19.4	10.4	9.9

Fuente: Elaborado por: Suárez, 2024

Los porcentajes bajos de azúcares reductores (glucosa y fructosa), se relacionan directamente con los altos porcentajes de pureza del jugo y es indicativo de una buena concentración de sacarosa dentro de los sólidos totales (% brix), siendo la pureza y los azúcares reductores buenos parámetros para definir un alto grado de madurez de caña a los 12 meses del ciclo.

En la calidad de caña, los porcentajes de ceniza y potasio (K) en los jugos son constituyentes de los no azúcares en caña, hallándose que las concentraciones tanto de cenizas conductimétricas y K en el jugo en los tratamientos aplicados con vinaza son diferentes estadísticamente al testigo; siendo en ambos casos el tratamiento de 90 m³ ha⁻¹ el que mostró las concentraciones más altas,

denotándose una relación directa entre los contenidos de cenizas y de K en el jugo.

Cambio de las concentraciones de nutrientes y propiedades físicas en el suelo como respuesta a la aplicación de vinaza

En el 2020, antes de la siembra, fertilización comercial y de la aplicación de los tratamientos de vinaza con el agua de riego, se evaluaron los parámetros químicos de suelos, tales como: sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) medidos en acetato de amonio 1N, fósforo (P), y micronutrientes (Zn, Cu, Fe, Mn), analizados con Olsen modificado, Materia Orgánica (M.O.) por digestión húmeda (Walkley-Black); y, finalmente pH y conductividad eléctrica (C.E.) determinados, en relación 1:2,5 de suelo-agua (Tabla 4).

Tabla 4. Cuantificación de nutrientes, materia orgánica (M.O.), pH y conductividad eléctrica (C.E.) en caña planta (2017) antes de la aplicación de la vinaza con el riego. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez

Tratamiento (Vinaza m ³ ha ⁻¹)	Acetato de amonio 1N (cmol kg ⁻¹)					Olsen mod. (ppm)				M.O. (%)	pH	C.E. (uS/cm)
	Na	K	Ca	Mg	P	Zn	Cu	Mn	Fe			
0	0.35	0.44	18.89	7.85	16.30	1.82	11.52	44.80	90.66	2.91	6.76	109.30
30	0.32	0.48	19.81	8.40	13.95	1.46	11.18	39.51	73.46	2.78	6.80	106.57
60	0.33	0.54	21.61	10.20	14.38	1.59	14.70	32.01	72.16	3.05	6.88	128.60
90	0.35	0.54	23.00	11.31	12.80	1.32	15.77	32.48	66.27	3.09	6.88	134.70
120	0.44	0.54	25.57	12.05	6.58	1.00	14.05	25.86	33.10	2.60	6.94	139.37

Fuente: Elaborado por: Suárez, 2024

En el 2024, después de la cosecha de tercera soca y de la aplicación de cuatro años consecutivos de los tratamientos de vinaza con el agua de riego, se tomaron muestras

de suelo para evaluar los mismos parámetros químicos del inicio del ensayo, obteniéndose los valores presentados en la tabla siguiente.

Tabla 5. Cuantificación de nutrientes, materia orgánica (M.O.), pH y conductividad eléctrica (C.E.) después de la cosecha de tercera soca (2021) en cinco tratamientos de aplicación de la vinaza con el riego. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez

Tratamiento (Vinaza m ³ ha ⁻¹)	Acetato de amonio 1N (cmol kg ⁻¹)				Olsen mod. (ppm)				M.O. (%)	pH	C.E. (uS/cm)	
	Na	K	Ca	Mg	P	Zn	Cu	Mn				Fe
0	0.63	0.52	16.96	7.83	9.07	1.13	8.78	60.64	73.10	2.46	6.56	149.10
30	0.96	0.54	18.80	8.67	15.81	1.15	9.03	57.24	68.93	2.50	6.42	158.10
60	0.88	0.68	21.16	11.37	11.18	1.07	11.09	43.99	66.72	2.89	6.41	181.03
90	0.82	0.70	22.18	12.05	6.55	0.81	11.31	31.59	51.03	2.78	6.36	187.47
120	0.92	0.84	23.40	11.95	3.77	0.61	10.73	27.57	32.89	2.23	6.48	178.70

Fuente: Elaborado por: Suárez, 2025

El cambio porcentual de concentraciones nutrimentales (Tabla 7), se determinó comparando el análisis inicial en caña planta y el final de tercera soca. Los elementos Na, K, Mg, Mn y la C.E. sufrieron aumentos de sus concentraciones en suelo. Las concentraciones de Na en suelo aumentaron en más del doble en los tratamientos aplicados con vinaza, inclusive las dosis de 30 y 60 m³ ha⁻¹ de vinaza, superaron en más de 150% su contenido. Los aumentos de K, tuvieron una relación directa con el volumen de vi-

naza añadido, alcanzando 56% adicional con el tratamiento de 120 m³ ha⁻¹ de vinaza, cuya concentración pasó de 0.54 cmol kg⁻¹ a 0.84 cmol kg⁻¹; la media general de K en el suelo fue de 0.53 cmol kg⁻¹ al inicio del ensayo y de 0.69 cmol kg⁻¹ en el último año de evaluación, lo que podría atribuirse a aportes por la aplicación de vinaza. Dentro de los micronutrientes únicamente el Mn presentó un incremento en suelos especialmente en el testigo y en las dosis por debajo de 60 m³ ha⁻¹.

Tabla 6. Porcentaje de cambio de los parámetros analizados en suelos entre caña planta y tercera soca en cinco tratamientos de vinaza aplicada en el riego. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez

Tratamiento (Vinaza m ³ ha ⁻¹)	Porcentaje de cambio (%)											
	Na	K	Ca	Mg	P	Zn	Cu	Mn	Fe	M.O.	pH	C.E. (uS/cm)
0	80	18	-10	0	-44	-38	-24	35	-19	-15	-3	36
30	198	12	-5	3	13	-21	-19	45	-6	-10	-6	48
60	165	26	-2	11	-22	-33	-25	37	-8	-5	-7	41
90	132	30	-4	7	-49	-39	-28	-3	-23	-10	-8	39
120	109	56	-8	-1	-43	-39	-24	7	-1	-14	-7	28

Fuente: Elaborado por: Suárez, 2025

Los nutrientes, Ca, P, Zn, Cu, Fe, la M.O. y el pH del suelo, después de las aplicaciones de vinaza con el agua de riego por gravedad, disminuyeron su concentración indistintamente de los tratamientos aplicados, lo cual sería propio de la extracción de la caña de azúcar durante sus años de cultivo. El Ca disminuyó entre el 2 y el 10%, el P tuvo una merma considerable en el testigo y en las dosis más altas de vinaza, por su parte, la M.O. en el suelo se redujo de un 5 a 15% en el ensayo, teniendo su mayor pérdida en el tratamiento donde no se aplicó vinaza con el agua de riego, siendo la reducción de 2.91 a 2.46%; otra disminución se dio en el pH de los suelos aplicados con vinaza pasando de 6.8 a 6.4 en promedio

de caña planta y tercera soca; finalmente, la C.E. creció en términos generales del ensayo de 123.7 a 170.9 uS/cm lo que indica mayor contenido de sales, pero no lo ubica como un suelo con problemas de salinidad, en los primeros 25 cm de profundidad del suelo.

La comparación de las propiedades físicas de suelo, consideró la densidad aparente, la observación de la estructura (Anexo 8) y la determinación de la textura (Anexo 7), entre el inicio de caña planta y el final de tercera soca, con un total de cuatro años de aplicaciones de vinazas. Las características físicas halladas a 25 cm de profundidad se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Porcentaje de cambio de los parámetros analizados en suelos entre caña planta y tercera soca en cinco tratamientos de vinaza aplicada en el riego. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez

Tratamiento (Vinaza m ³ ha ⁻¹)	Densidad aparente inicial (g cm ⁻³)	Densidad aparente final (g cm ⁻³)	Estructura inicial	Estructura final	Textura inicial	Textura final
0	1,39	1,35	Moderada, clase mediana de tipo migajosa y granular	Moderada, clase mediana de tipo migajosa y granular	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso
30	1,36	1,38	Moderada, clase mediana a grueso de tipo migajosa y granular con apariciones de bloques subangulares	Moderada, clase mediana a grueso de tipo migajosa y granular con apariciones de bloques subangulares	Arcillo limoso	Franco Arcilloso
60	1,34	1,36				
90	1,36	1,37				
120	1,33	1,35				

Fuente: Elaborado por: Suárez, 2021

La densidad aparente en promedio general del ensayo fue de 1.36 g cm⁻³ tanto al inicio y al final del experimento, es decir en el periodo temprano de caña planta y posterior a la cosecha de tercera soca. Analizando los tratamientos de forma individual, el testigo que solamente se regó con agua y sin vinaza presentó una densidad más baja después de cuatro años, con diferencia de

0.04 g cm⁻³ mientras que, los aplicados con vinaza indistintamente de las dosis, tuvieron una mayor densidad con diferencia de 0.01 y 0.02 g cm⁻³.

La estructura medida visualmente y al tacto presentó características iguales en el primer horizonte de suelo comparando los dos momentos evaluados, la presencia de blo-

ques subangulares es propia de la textura más pesada de los suelos hacia el final del ensayo donde se pasó de tener un porcentaje promedio de arcilla de 29% (texturas francas) a 45% (texturas arcillosas); además, no hubo cambios en la textura analizada en laboratorio para el tratamiento sin aplicación de vinaza (testigo), pero en las dosis de 30 y 60 m³ ha⁻¹ se aprecia un mayor predominio de las arcillas pasando de 26 a 31% y 41 a 43% respectivamente, haciendo cambiar la clase textural de Franco a Franco arcilloso y de Arcillo limoso a Arcilloso en el transcurso de los cuatro años de aplicaciones de vinaza en el agua de riego.

Extracción de nutrientes a la cosecha

Dos semanas antes de la cosecha, se procedió a tomar las muestras para determinar la cantidad de macro y micro nutrientes absorbidos por el tallo y las hojas de la caña en su ciclo de tercera soca, los cálculos se basaron en la materia seca y el análisis de laboratorio del tejido vegetal considerado, la presentación de la información, se puede dar por tonelada de caña (TC) producida (Tabla 9), con fines de recomendación de fertilización en los cultivos y también se puede reportar para la cantidad de materia vegetal cosechada por hectárea (Anexo 9).

Tabla 8. Extracción de nutrientes a la cosecha de la variedad EC-02 a diferentes dosis de vinaza. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez

Tratamiento (Vinaza m ³ ha ⁻¹)	Macronutrientes (kg/TC)					Micronutrientes (g/TC)			
	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn
0	0.92	0.22	1.22	0.69	0.40	6.2	1.4	38.4	7.2
30	0.95	0.25	1.77	0.61	0.32	6.5	1.4	47.8	6.0
60	0.96	0.21	2.05	0.50	0.32	5.2	1.2	33.8	5.2
90	0.99	0.20	2.00	0.88	0.39	6.0	1.4	55.5	7.0
120	0.86	0.20	2.03	0.79	0.42	6.2	1.6	79.7	10.5

Fuente: Elaborado por: Suárez, 2024

La cuantificación de N y K muestra mayores concentraciones con los tratamientos aplicados con vinaza; la extracción de K se incrementó más de 60%, considerando el testigo versus los tratamientos con vinaza, superaron los 2 kg TC⁻¹ de K a la cosecha con las dosis superiores a 60 m³ ha⁻¹ en el ciclo de tercera soca. Nótese que la extracción de K es prácticamente el doble que la de N, ratificando la necesidad del K para la producción de caña y azúcar.

Adicionalmente, después de la cosecha del ensayo (Apéndice 1) y con la finalidad de conocer la dinámica del riego in situ, se procedió a determinar la Eficiencia de Aplicación del riego en los surcos, valiéndose del primer riego postcosecha que se dio en el cantero 004-046.

Eficiencia de aplicación del riego en las parcelas

Para determinar la Eficiencia de Aplicación (EA) del riego en los surcos, se registraron datos de infiltración por el método de los anillos infiltrómetros (Anexo 10 y Apéndice 2) en tres surcos del ensayo, la humedad antes y después del riego (72 h) a tres profundidades (0 a 25 cm, 25 a 50 cm y 50 a 75 cm) (Anexo 11 y 12); y, el avance y receso del agua cada 10 m para hallar el tiempo de contacto; además, con los modelos de regresión (Anexo 13) se calculó la lámina infiltrada en milímetros (mm) (Anexo 14) y se la ajustó de acuerdo a la lámina total aplicada (Lta) de 159.5 mm para cada tramo del surco. Cabe mencionar, que el riego fue sifoneado al ingreso de los surcos con un

caudal promedio de 3.76 L seg^{-1} y sin salida al final del mismo.

Conociendo la lámina total de almacenamiento de $155,9 \text{ mm}$ producto de la humedad en capacidad de campo (H_{cc}), humedad antes del riego (H_a) y la densidad aparente promedio de 1.32 g cm^{-3} y considerando una profundidad de raíces de 750 mm , se obtuvo una EA de 97.8% (Anexo 15), considerada como Buena (Gavilánez, 2019), ya que las pérdidas por percolación fueron de 2.2% , valores altos de eficiencia debido a que el agua en este primer riego, permaneció en la profundidad contemplada y a que el surco no tuvo salida al drenaje debido al tape con suelo. La Uniformidad de Distribución (UD) fue calculada con el 25% de los datos menores de las láminas infiltradas y ajustadas, resultando en una UD de 52.7% , siendo un valor propio del sistema de riego por superficie o gravedad ya que al final del surco se acumula el agua, pero tiene poco tiempo de permanencia y al principio del surco es donde hay mayor tiempo de efecto del riego per se y donde se humedece mejor en profundidad y anchura debido al tiempo del riego.

Discusión

La aplicación de vinaza con el agua de riego a razón de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en cada uno e intervalos aproximados de 25 días entre los riegos, tuvo una relación directa con la productividad de caña de azúcar en tercera soca, hasta la dosis de $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, dosis con la cual se alcanzó 16 TCH más que el testigo sin vinaza en suelo Inceptisol, resultado similar (16.6 TCH) conseguido por Pérez et al. en 2011, citado por Melgar et al. al aplicar $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinaza (Melgar, Meneses, Orozco, Pérez y Espinosa, 2014); parecido incremento se obtuvo en suelos Andisoles de la zona cañera de Guatemala, con 11 TCH al aplicar $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinaza diluida (CENGICANA, 2017), análoga producción encontró, Silva et al. en suelos arenosos con 10.5 TCH en primera soca aplicando vinaza pura (Silva, Bono y Pereira, 2014);

mientras que, Armengol et al., en suelo vertisol y con $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ obtuvo 119, 130 y 94 TCH, en caña planta, primera soca y quinto año de cultivo, superando al testigo y demás dosis evaluadas (Armengol, Lorenzo y Fernández, 2003). La dosis de $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinaza en este cuarto año de aplicación consecutiva, tuvo una merma en el TCH y el rendimiento azucarero.

El rendimiento azucarero con la dosis máxima (DM) hallada de $87 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinaza fue de 229.7 SAH (11.5 TAH), siendo la diferencia de 1.8 TAH con respecto al testigo, lo que representó un 18.9% de mayor productividad en tercera soca. En Venezuela, se alcanzaron incrementos de 30 y 43% en primera y segunda soca respectivamente, al incorporar $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinaza (Gómez, 1995); mientras que, en Colombia, evaluando seis cortes en un suelo del orden Inceptisol, fertirrigado con vinaza se logró en promedio, 3.0 TAH más que con el tratamiento sin aplicación de vinaza (Jiménez, 2017). Las dosis recomendadas por CINCAE (2020 y 2021) para caña de primera y segunda soca, estuvieron entre 80 a $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, ubicando a la DM de $87 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para tercera soca dentro de este rango, con lo cual se aduce una tendencia para el uso de la vinaza aplicada con el agua de riego.

En calidad de caña, se presentaron contenidos de cenizas conductimétricas y K en jugo superiores a 0.38% y 0.11% cuando se aplicó entre 60 y $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinaza, lo que representa porcentualmente entre los tratamientos con vinaza y el testigo, una diferencia de 31 y 29% más de cenizas y K, respectivamente. Situación parecida a los hallazgos en socas anteriores, donde aplicaciones sobre los $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinaza incrementaron 54% los contenidos de K y 45% las cenizas en el jugo versus el testigo (CINCAE, 2019). En Argentina, en un estudio de las cuatro variedades de caña más comerciales, se detectó que las cenizas conductimétricas estuvieron entre 2.28 y $4.59\% \text{ m/m Brix}$, los cuales fueron considerados adecuados al ser menores a los en-

contrados en fábrica (Zossi et al., 2010); en esta investigación, haciendo la relación con el Brix del jugo, los porcentajes serían de 1.86% en promedio de los tratamientos con vinaza, indicando bajos contenidos de cenizas, acorde también a lo citado por Rein (2007), que indicó que en el jugo de caña, las concentraciones de cenizas conductimétricas totales deben promediar el 4%, en referencia a la materia seca. En Guatemala, las aplicaciones de $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en forma diluida y por siete años consecutivos, subieron moderadamente el K en el jugo sin llegar a los límites perjudiciales (Pérez, Alfaro, Hernández y Barrios, 2013). En Brasil se reportó que con altas aplicaciones de vinaza se retrasa la maduración de la caña, se reduce el %pol caña y aumenta el contenido de K y cenizas en el jugo de caña, lo que ocasiona problemas en el proceso de fabricación del azúcar (Silva et al., 1976 y Filho et al., 1995; citados por Melgar, Meneses, Orozco, Pérez y Espinosa, 2014), lo que repercute en términos de azúcar ensacado (Chaves, 1985).

Se presentaron cambios en los parámetros químicos del suelo tras cuatro años consecutivos de aplicación de vinaza con el riego. El pH en los tratamientos con vinaza se acidificó levemente comparado al pH de caña planta, teniendo una reducción de 6 a 8%; igualmente, ocurrió con la M.O. que mermó su contenido entre 5 a 14%; resultados comparables para pH, pero contrarios para M.O. en el ensayo que realizó Armengol et al. en un suelo vertisol, donde los cambios no fueron significativos en pH en agua y cloruro de potasio; sin embargo, las concentraciones de M.O., P y K asimilables aumentaron (Armengol et al., 2003), pudiéndose explicar por el origen de la vinaza aplicada, cuyo aporte es del doble de nutrientes y M.O. si provino de melaza y no del jugo de caña (Subiros y Molina, 1992). Mientras que, Jiménez (2017) encontró aumentos de pH al incorporar vinaza al suelo, resultados semejantes a los obtenidos por Gasca, Menjivar y Torrente, (2011) y Brito, Rolim y Pedrosa (2009) que concluyeron

que el pH sube ante la disminución del potencial redox, por el consumo de protones y la actividad microbiana para descomponer la M.O.; además, el aumento del pH se dio con dosis de 350 y $700 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en suelos Nitosol, Argisol y Espodosol (Brito, Rolim y Pedrosa, 2005).

El K y Na determinados por acetato de amonio, se incrementaron por el uso de la vinaza, teniendo una relación directa entre el aumento del K en el suelo y las dosis crecientes de vinaza, mientras que el Na subió dos a tres veces más con las dosis evaluadas. En investigaciones similares, el K se concentró 25 veces más por aplicaciones de $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, durante seis años consecutivos, en los primeros 25 cm de profundidad, detectándose a su vez, que el K se movió en el perfil de suelo, pero no más allá de los 75 cm con dosis altas de vinaza (Pérez et al., 2011, citado por Melgar et al., 2014); por su parte, Silva et al. (2014) demostró que independientemente del rebrote de caña de azúcar, la aplicación hasta $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinaza diluida con el agua de riego, proporcionó aumentos significativos del K en suelo arenoso de 0 a 40 cm de profundidad. Jiménez (2017), tuvo resultados similares supliendo las necesidades de K en los primeros 20 cm de suelo al aplicar vinaza, incluso encontró una posible lixiviación del elemento después de la cosecha; finalmente, Técnicaña (2009) halló que el uso de vinaza tiende a estabilizar los contenidos de K intercambiable e incrementó el TCH; además, hay acumulación de Mg en el suelo (Silva et al., 2019 citado por Grogenski et al., 2021), como también se presentó en el presente trabajo con las dosis de vinaza hasta los $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Con respecto al aumento de Na, fue mayor con las dosis de 30 y $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ aminorando ese incremento en las dosis de 90 y $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, dichos incrementos no se reflejaron en el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), lo cual pudo estar influenciado por lo descrito por Gasca et al. (2011), que la vinaza tiene poder electrolítico gracias a las

elevadas concentraciones de K y Ca, que desplazan el Na del complejo de cambio, lo cual disminuye los riesgos en el suelo por sodicidad, de ahí nace la recomendación del uso de vinaza como enmienda en suelos afectados por Na; similar resultado, en un suelo con cinco años de aplicación de vinaza en el cual Jiménez (2017) concluyó que la vinaza no cambia en el suelo sus propiedades químicas en términos de PSI (me-g/100g) a una profundidad de 0 a 20 cm e inclusive al igual que el K, el Na también sufre lixiviación profunda. Dosis superiores a 300 m³ ha⁻¹ de vinaza, han disminuido exponencialmente el desarrollo de las plantas, la excesiva aplicación de vinaza en el macollamiento, provoca lixiviación de nutrientes, aumenta la salinización, conllevando a un desequilibrio catiónico (Maradiaga, Pêgo, Alves y Bernardes, 2017). Por lo tanto, se ha recomendado que la fertilización debe ser parcelada y controlada (Silva, Griebeler y Borges, 2007).

El Mn fue el único micronutriente que aumentó su concentración, esto debido a que participa en la descomposición de la M.O. al actuar como aceptor de electrones, como lo describen Bautista, Durán y Lozano (2000).

La densidad aparente del suelo estuvo prácticamente sin afectarse después de cuatro años de aplicaciones de vinaza, dato semejante y sin diferencias significativas a diferentes profundidades se encontró, al aplicar 200 m³ ha⁻¹ de vinaza (Goncalves, Nunes, Pellegrino, Clemente y Josefinae, 2013). Con cinco años de aplicación de vinaza, tampoco se encontró diferencias en densidad del suelo (Jiménez, 2017), ésta no afectación de la densidad global (Carmargo et al. 1988, citado por Técnicaña, 2009), se debe a los contenidos de carbono orgánico que impacta sobre la densidad especialmente en la capa superficial (Zolin, Paulino, Bertonha, Freitas y Folegatti, 2011). Después de 3 años consecutivos de vinaza en canteros, Jiang et al. (2012), citado por Christofolletti et al., (2013) notaron una menor densidad aparente del suelo, mientras

que se incrementó la porosidad total y capilar al arar la capa de suelo. Sin embargo, es probable que los cambios sobre algunas propiedades físicas del suelo se observen a largo plazo (Quiroz y Pérez, 2013).

La estructura del suelo permaneció inalterable y la textura en las dosis de 30 y 60 m³ ha⁻¹ presentó un ligero dominio de las arcillas pasando de franco a franco arcilloso y de arcillo limoso a arcilloso, correspondientemente, lo cual se puede atribuir a la dispersión de las arcillas que se provoca por los niveles aumentados de Na en la capa superficial (Shainberg, Rhoades, Suárez y Prather, 1981), adicionalmente se ha argumentando que la vinaza suma la capacidad de retención de humedad y mejora la estructura del suelo, durante los primeros 30 días debido a la incesante proliferación de la microbiota y su actividad, la cual decrece gradualmente (Chaves, 1985). Andrioli en 1986, citado por Christofolletti, Escher, Correia, Marinho y Fontanetti, (2013) no observó cambios físicos en el suelo tras aplicar 1 200 m³ ha⁻¹ de vinaza en un latosol cultivado con caña de azúcar, resultados producto al no aumento de la M.O.

La variedad EC-02 en suelo inceptisol de textura franco a arcilloso, extrajo 2 kg TC⁻¹ de K con dosis de 60 a 120 m³ ha⁻¹ de vinaza y prácticamente 1.0 kg TC⁻¹ de N, extracción semejante de 0.97 y 2.27 kg TC⁻¹ de N y K respectivamente, determinada en condición de secano en Overo Pozo, Tucumán (Romero, et al., 2020) y parecida a lo obtenido por Leite et al. de 2.7 kg TC⁻¹ de K, en suelos tropicales altamente meteorizados de la región sureste de Brasil; además determinó que la caña de alto rendimiento depende de un mayor contenido de nutrientes disponibles, siendo la relación de N:K de 0,5:1 (Leite, Ciampitti, Mariano, Vieira y Trivelin, 2016), proporción semejante a los encontrada en Tucumán, Argentina con la variedad LCP 85-384 bajo riego por goteo y secano (Romero, et al., 2018), corroborando la relación alcanzada en la presente investigación entre N y K extraído por tonelada de caña producida en tercera soca.

Conclusiones

Incremento en la producción y calidad de la caña: La aplicación de $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinaza aumentó la producción de caña en un 22% comparado con parcelas sin vinaza. El rendimiento máximo fue de 229.7 sacos de azúcar por hectárea (11.5 toneladas de azúcar por hectárea) con una dosis de $87 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Efectos sobre el suelo: Incrementos significativos en el potasio (K) del suelo, pasando de $0.53 \text{ cmol kg}^{-1}$ (2017) a $0.69 \text{ cmol kg}^{-1}$ después de cuatro años. La dosis más alta ($120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) incrementó un 56% los niveles de K. Aumentos del sodio (Na) en el suelo, aunque sin alcanzar niveles problemáticos. Las propiedades físicas, como densidad aparente y textura, no presentaron cambios significativos, salvo una ligera tendencia hacia texturas más arcillosas. Impacto en la calidad del jugo de caña: Contenidos de cenizas conductimétricas y potasio en el jugo aumentaron con dosis superiores a $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, pero se mantuvieron dentro de niveles aceptables para la fabricación de azúcar. Eficiencia de riego: El riego por gravedad mostró una eficiencia del 97.8% con bajas pérdidas por percolación (2.2%), garantizando una aplicación uniforme de la vinaza. En conclusión, el uso de vinaza aplicado con riego mejora significativamente el rendimiento y la calidad del cultivo, pero requiere un manejo cuidadoso para evitar impactos negativos en el suelo.

Recomendaciones

Limitar la aplicación de vinaza a $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ año⁻¹ en suelos inceptisoles de textura franco a arcillosa. Monitorear los niveles de K y Na en el suelo para evitar desbalances o problemas de sodio intercambiable. Evaluar la lixiviación de cationes en capas profundas y controlar los cambios en pH y conductividad eléctrica (C.E.) del suelo. Continuar experimentando con vinaza pura o diluida para identificar efectos en propiedades físicas del suelo a largo plazo.

Bibliografía

- Agostini, M., Monterubbianesi, G., Studdert, G., & Maurette, S. (01 de diciembre de 2014). Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. Obtenido de Asociación Argentina Ciencia del Suelo: https://www.researchgate.net/publication/317535604_Un_metodo_simple_y_practico_para_la_determinacion_de_densidad_aparente
- AGRICULTURERS. (22 de junio de 2017). Red de Especialistas en Agricultura. Obtenido de <https://agriculturers.com/riego-por-surcos/>
- Anderson, D. L., & Bowen, J. E. (2000). Nutrición de caña de azúcar. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Quito, Ecuador, 40.
- Andrades, M., Moliner, A., & Masaguer, A. (2015). Prácticas de Edafología. Métodos didácticos para análisis de suelos. Obtenido de Agricultura y Alimentación. Universidad De La Rioja: <https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/mod/resource/view.php?id=25618>
- Ángel, S. D., & Menjívar, F. J. (septiembre de 2010). Cambios en fracciones de fósforo en Inceptisoles y Mollisoles por aplicaciones de vinaza y/o cloruro de potasio. Obtenido de Acta Agronómica: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122010000300011
- Anschau, R. A., Flores Marco, N., Carballo, S. M., & Hilbert, J. (2009). Evaluación del potencial de producción de biocombustibles en Argentina. Obtenido de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-egal_caa.pdf
- Aristizábal, A. C. (diciembre de 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. Obtenido de Ingenierías USBMed: <http://revistas.usbbog.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/1729>
- Armengol, J., Lorenzo, R., & Fernández, N. (2003). Utilización de la vinaza como enmienda orgánica y su influencia en las propiedades químicas de vertisoles y en los rendimientos de la caña de azúcar. Obtenido de Cultivos Tropicales, vol. 24, no. 3, p. 67-71: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193218163010>
- Arzola N, Marín R, Cervera G, Arcia J, Vinas Y, Zuaznabar R, . . . Cuesta M. (2007). Informe del estudio detallado de suelos con fines agrícolas. Ingenio ECUDOS. La Troncal.

- Azcárate, P., Baglioni, M., Brambilla, C., Brambilla, E., Fernández, R., Kloster, N., . . . Pérez, M. (junio de 2017). Métodos de análisis e implementación de calidad en el laboratorio de Suelos. Obtenido de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA.: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/68416/CONICET_Digital_Nro.dce-6dd46-c299-430c-b97b-7b2efba859d4_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Bautista, Z. F., Durán de Bazua, M. C., & Lozano, R. (2000). Cambios químicos en el suelo por aplicación de materia orgánica soluble tipo vinazas. Obtenido de Rev. Int. Contaminación Ambiental 16:89-101: www.redalyc.org/pdf/370/37016301.pdf
- BNDES. (2008). Banco de Desarrollo del Brasil. Bioetanol de caña de azúcar: energía para el desarrollo. Obtenido de <http://biblioteca.olade.org/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=12062>
- Bonet Pérez, C., Moreno Guerra, H., Guerrero Posada, P., Vidal González, R., Rodríguez Correa, D., Fernández, E., . . . Puente Borrero, F. R. (29 de julio de 2019). Eficiencia de conducción de sistemas de riego en empresas arroceras. Obtenido de Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Cuba: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586262756002/html/>
- Brito, F., Rolim, M., & Pedrosa, E. (2005). Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. Obtenido de Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, p.52-56: http://www.agriambi.com.br/revista/suplemento/index_arquivos/PDF/052.pdf?script=sci_pd
- Brito, F., Rolim, M., & Pedrosa, E. (2009). Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de três solos da zona da mata canavieira de Pernambuco. Obtenido de Revista Brasileira de Ciências Agrárias. Brazilian Journal of Agricultural Sciences, América do Norte: <http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=386>
- Calcino, D. S. (2018). Australian Sugarcane Nutrition Manual. Sugar Research Australia, SRA., 122.
- Calcino, D., Schroeder, B., Panitz, J., Hurney, A., Skocaj, D., Wood, A., & Salter, B. (2018). Australian Sugarcane Nutrition Manual. Sugar Research Australia, SRA., 122.
- Calvo, A. (05 de diciembre de 2019). Rendimiento de cultivos por hectárea: cómo calcularlo. Obtenido de Agroptima Blog: <https://www.agroptima.com/es/blog/rendimiento-cultivos-hectarea-calculat/>
- CENGICAÑA. (abril de 2017). Guía de Buenas Prácticas Agrícolas en Caña de Azúcar. 84p. Obtenido de Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar: www.cengicana.org
- CENICAÑA. (1995). Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Obtenido de El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Fertilización y Nutrición: http://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seriodos/libro_el_cultivo_cana/libro_p3-394.pdf
- CENICAÑA. (26 de marzo de 2015). Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Obtenido de Laboratorio de análisis de caña: <https://www.cenicana.org/laboratorio-de-analisis-de-cana/>
- CENICAÑA. (06 de Abril de 2015). Riego por Surcos. Obtenido de Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia: <https://www.cenicana.org/riego-por-surcos/>
- Chaves, M. (1985). Las vinazas en la fertilización de la caña de azúcar. Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). Obtenido de DIECA. Boletín Informativo No. 21. Año 3: <https://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/DqDQYGzVaebhGH-FZdcowQNQdzEwHspVj>
- Christofolletti, C. A., Escher, J. P., Correia, J. E., Marinho, J. F., & Fontanetti, C. S. (diciembre de 2013). Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use. Obtenido de Waste Management, 33(12), 2752–2761: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X1300408X?via%3Dihub>
- CIA. AZUCARERA VALDEZ S.A. (2007). Estudio detallado de suelos con fines agrícolas. Milagro.
- CINCAE. (2004). Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE) Informe anual de actividades técnicas del área de Edafología. Guayaquil.
- CINCAE. (Octubre de 2004). Fisiología, floración y mejoramiento genético de la caña de azúcar en Ecuador. Publicación técnica N°3. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Publiasesores.
- CINCAE. (2006). Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE). Informe anual de actividades técnicas del área de Suelos y Fertilizantes. Guayaquil.
- CINCAE. (2007). Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE). Informe anual de actividades técnicas del área de Suelos y Fertilizantes. Guayaquil.
- CINCAE. (Diciembre de 2009). Carta Informativa

- Nº2. Año 11. Obtenido de Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador: <https://cincae.org/wp-content/uploads/2013/04/A%C3%B1o-11-No.-2.pdf>
- CINCAE. (2013). Informe anual 2012. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador. Guayaquil, Ecuador. 57 p.
- CINCAE. (2017). Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador. CINCAE. Obtenido de Carta Informativa N° 19. Los primeros 20 años del CINCAE: <http://cincae.org/wp-content/uploads/2013/04/Año-19.pdf>
- CINCAE. (2019). Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador. CINCAE. Obtenido de Informe Anual 2018.: <http://cincae.org/wp-content/uploads/2013/04/Informe-Anual-2018.pdf>
- CINCAE. (31 de julio de 2019). Informe anual 2018. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador. Obtenido de Respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones de vinaza y potasio y su efecto en las propiedades químicas de suelos representativos: www.cincae.org
- CINCAE. (22 de mayo de 2020). Informe Anual 2019. Obtenido de Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador: <http://cincae.org/wp-content/uploads/2013/04/Informe-Anual-2019.pdf>
- CINCAE. (25 de mayo de 2021). Informe anual 2020. Obtenido de Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador: www.cincae.org
- Constitución de la República del Ecuador. (20 de octubre de 2008). Registro Oficial 449. Obtenido de <https://observatoriop10.cepal.org/es/instrumentos/constitucion-ecuador#:~:text=Derecho%20a%20un%20ambiente%20sano,el%20buen%20vivir%2C%20sumak%20kawsay>.
- COPERSUCAR. (1986). Efeitos da aplicação da vinhaça como fertilizante em cana de açúcar. Obtenido de Boletim Técnico Copersucar. Vol. 7: 9-14: www.scielo.br/pdf/aesalq/v45/29.pdf
- Correia, J. E., Christofolletti, C. A., Marcato, A. C., Marinho, J. F., & Fontanetti, C. S. (2017). Histopathological analysis of tilapia gills (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) exposed to sugarcane vinasse. Obtenido de *Ecotoxicology and Environmental Safety*: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.10.004>
- Cuellar, I. D., & Pérez, H. (2002). Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba. La Habana, Cuba. 128.
- DGIAR. (2015). Manual del Cálculo de Eficiencia para Sistemas de Riego. Obtenido de Dirección General De Infraestructura Agraria y Riego: https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf
- Duarte Álvarez, Ó. J., & González Villalba, J. D. (2019). Guía Técnica Cultivo de Caña de Azúcar. Obtenido de Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción: https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0v-m0000ad5gkeatt/gt_01.pdf
- 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 & Research*, 29, 1235-1250. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/49762337_Vinasses_Characterization_and_treatments
- Ferraresi, d. A., & Niño, C. (diciembre de 2021). Vinasse: current concepts, challenges and opportunities for the sustainability. Obtenido de *ECORFAN Journal-Republic of Nicaragua*: <https://www.ecorfan.org>
- Filho, J. (01 de Enero de 1985). Potassium Nutrition of Sugarcane First published. Obtenido de <https://doi.org/10.2134/1985.potassium.c44>
- Flores, P. F., Gavi, R. F., Torres, B. E., & Hernández, A. E. (2012). Lixiviación de potasio y contenidos nutricionales en suelo y alfalfa en respuesta a dosis de vinaza. Obtenido de *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3:833-846: www.scielo.org.mx/scielo.php?script=s
- Franck, C. F., Golato, M., Feijóo, F., Morales, D., Paz, D., & Octaviano, M. (junio de 2016). Combustión de vinaza con materiales celulósicos en calderas bagaceras de ingenios de la provincia de Tucumán (R. Argentina). Obtenido de *Revista industrial y agrícola de Tucumán*: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30182016000100002&lng=es&nrm=iso
- Franquesa, M. (27 de mayo de 2016). Todo lo que debes saber sobre la eficiencia del riego. Obtenido de *Agroptima Blog*: <https://www.agroptima.com/es/blog/eficiencia-del-riego/>
- Fregolente, L., Azevedo, T., de Castro, M., Almeida, C., Moreira, A., & Pastor Ferreira, O. &. (29 de marzo de 2018). Evaluación de la toxicidad del agua de proceso de la carbonización hidrotermal de subproductos de la industria de la caña de azúcar. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-1771-2>: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1771-2>

- García, A., & Rojas, C. (2006). Posibilidades de uso de la vinaza en la agricultura, de acuerdo con su modo de acción en los suelos. Obtenido de Nota Técnica Técnicaña. p. 3 - 13: www.tecnicana.org/pdf/2006/tec_v10_no17_2006_p3-13.pdf
- García, G., Cárdenas, K., Sanabria, M., Castillo, L., Zérega, I., & Rodríguez, D. (2007). Efecto de la fertilización con vinaza sobre el contenido relativo de clorofila y la morfoanatomía foliar de tres variedades de caña de azúcar. Obtenido de Revista de la Facultad de Agronomía; Vol 24,: <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/26698>
- Gasca, C., Menjivar, J., & Torrente, T. (junio de 2011). Cambios en el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y la relación de absorción de sodio (RAS) de un suelo y su influencia en la actividad y biomasa microbiana. Obtenido de Acta Agronómica, [S.l.], v 60, n. 1: http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/21155
- Gavilánez, F. (2019). La hidráulica del ingeniero agrícola (Primera ed.). Babahoyo, Los Ríos, Ecuador: CIDEPRO Editorial. Obtenido de <https://orcid.org/0000-0002-7861-514X>
- Gómez, J. (1995). Efecto de la vinaza sobre el contenido de potasio intercambiable en un suelo representativo del área cañera del valle del río Turbio. Obtenido de Universidad Centro Occidental "Lisandro Alvarado" (UCLA), Decanato de Agronomía, Departamento de Suelos. Apartado 400, Barquisimeto: www.venesuelos.org.ve/index.php/venesuelos/article/view/31
- Goncalves, O. B., Nunes, C. J., Pellegrino, C. C., Clemente, C. C., & Josefinae, F. B. (2013). Soil greenhouse fluxes from vinasse application in Brazilian sugar cane areas. 14:77-84. Obtenido de https://www.researchgate.net/Soil_greenhouse
- González, J., Buedo, S., Prado, F., & Álvarez, S. (diciembre de 2018). Efecto de la vinaza sobre el crecimiento y productividad de la soja (*Glycine max*) en condiciones semicontroladas. Obtenido de Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/BSAB/article/view/21982>
- Grogenski, M. L., & Justí, A. (13 de septiembre de 2021). Efecto de un aditivo reductor de fricción sobre la uniformidad del riego por goteo con vinaza de caña de azúcar. Obtenido de Agronomía Colombiana: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-99652021000100090&lng=es&nrm=is
- Guzmán, A., Gutiérrez, C., Amigó, V., Mejía, R., & Delvasto, S. (junio de 2011). Valoración puzolánica de la hoja de la caña de azúcar. Obtenido de Materiales de Construcción, 61, 213-225: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/28320/Materiales%20de%20construccion%20C3%B3n%2061%20%282011%29%20213-225.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- INIVIT. (2017). Instituto de Investigaciones de Vianzas Tropicales. Vinaza. Obtenido de <http://www.inivit.cu/>
- Jiménez, O. R. (2017). Evaluación del efecto de aplicación de vinazas sobre las propiedades físico químicas y actividad biológica en un suelo de orden Inceptisol cultivado con caña de azúcar en la vereda La Primavera. Obtenido de Universidad de Manizales. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente: <https://ridum.umanizales.edu.co/>
- Kwong, K. (2002). The Effects of Potassium on Growth, Development, Yield and Quality of Sugarcane. Obtenido de Sugar Industry Research Institute, Réduit, Mauritius pp. 430-444: <https://www.ipipotash.org>
- Larrahondo, J. E. (1995). Calidad de la caña de azúcar. Obtenido de Cenicaña, Cali, Colombia: <http://nutriciondebovinos.com.ar>
- Lazcano, I. (s.f.). El Potasio... Esencial para un buen rendimiento en la caña de azúcar. Obtenido de Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS): <http://www.ipni.net/ppiweb/mexnca.nsf>
- Leite, J., Ciampitti, I., Mariano, E., Vieira, M., & Trivelin, P. (2016). Nutrient partitioning and stoichiometry in unburnt sugarcane ratoon at varying yield levels. Obtenido de Frontiers in Plant Science. Vol. 7. Article 466: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.00466/full>
- LORSA. (27 de diciembre de 2010). Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria. Obtenido de <https://www.soberaniaalimentaria.gob.ec/pacha/wp-content/uploads/2011/04/LORSA.pdf>
- MAG. (2015). Caña de azúcar. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Ganadería: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/tec-cana.pdf>
- Malavolta, E. (1992). Micronutrientes en la fertilización de la caña de azúcar. Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Obtenido de Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS): <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/53807/16775977.PDF?sequence=1&isAllowed=y>

- Maradiaga, W., Pêgo, A., Alves, J., & Bernardes, R. (30 de agosto de 2017). Efectos de la aplicación de vinaza y litotamio sobre el crecimiento inicial de la caña de azúcar (*Saccharum sp. cv. RB 86-7515*) con riego y sin riego. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122018000200252&lng=es&nrm=iso&tlng=en: <https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.66082>
- Marín, B. J., Salazar, L., Castro, L., & Escalante, H. (01 de julio de 2016). Co-digestión anaerobia de vinaza y gallinaza de jaula: alternativa para el manejo de residuos agrícolas colombianos. Obtenido de Revista Colombiana de Biotecnología: <https://revistas.unal.edu.co>
- Martins, L., Tonelli, M., Bento, J., Bueno, C. J., & Leite, L. (octubre de 2020). Atracción del picudo de la caña de azúcar, *Sphenophorus levis*, a la vinaza y su composición volátil. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/341524160_Attraction_of_the_sugarcane_billbug_Sphenophorus_levis_to_vinasse_and_its_volatile_composition: DOI:10.1007/s00049-020-00310-8
- Mata, B. A. (noviembre de 2017). Eliminación de cenizas y disminución de generación de cloruros en el azúcar líquido. Obtenido de LAICA. Costa Rica: <https://www.atamexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/11/21-ELABORACION-C3%93N-2016.pdf>
- McKean, S. (agosto de 1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. Obtenido de Laboratorio de servicios analíticos. Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_de_an%C3%A1lisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_gu%C3%ADa_de_t%C3%B3rica_y_pr%C3%A1ctica_de_metodologia.pdf
- Melgar, M., Meneses, A., Orozco, H., Pérez, O., & Espinosa, R. (2014). El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala. Obtenido de CENGICAÑA. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar : <https://cengicana.org>
- Memorias de Sostenibilidad. (2017). Unidad de Negocio Agroindustrial. Obtenido de https://issuu.com/fundacionnobis/docs/memoria_sostenibilidad_agroindustri
- Memorias de Sostenibilidad. (2019). Unidad de Negocio Agroindustrial. Obtenido de <https://www.azucarervaldez.com>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s.f.). Fertirrigación. Obtenido de <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/fertirrigacion.as>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s.f.). Riego por Gravedad. Obtenido de <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/riego-gravedad.aspx>
- Mite Cáceres, J. R. (Noviembre de 2005). Curva de Absorción de Nutrientes del Cultivo de Caña de Azúcar en el Valle de Cantarranas. Obtenido de Zamorano. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5238/1/CPA-2005-T057.pdf>
- Muñoz, F. (2015). Efectos de la fertilización con vinaza en mezcla con fuentes nitrogenadas. Obtenido de Carta Informativa Año 3 / Número 1 / Julio de 2015: www.cenicana.org/.../618-efectos-de-la-fertilizacion-con-vinaza-en-mezcla-con-fuentes
- Nunes, M., Leal, J., & Velloso, A. (1981). Efeito da vinhaça na lixiviação de nutrientes do solo. Potássio e Magnésio. Obtenido de <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/>
- Palma, A., Calero, L., & Cortes, E. (26 de enero de 2009). Producción de caña y azúcar en el valle del río Cauca, tercer trimestre del 2008. Obtenido de Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia: https://www.cenicana.org/pdf_privado/no_clasificacion/6270_.pdf
- Pérez, J. (2018). Caracterización física e hidrológica de los suelos forestales en el Ejido Atopixco Municipio de Zacualtipán, Hgo. Obtenido de Universidad Veracruzana: https://www.uv.mx/pozarica/mca/files/2019/05/G05_JOSUE-FABIAN-PEREZ-HERNANDEZ.pdf
- Pérez, O., & Melgar, M. (1998). Respuesta de la caña de azúcar a la fertilización con potasio en plantilla en suelos Andisoles, Entisoles y Molisoles de la región cañera de Guatemala. Obtenido de <http://www.ipni.net/ppiweb/mexnca.nsf>
- Pérez, O., Alfaro, M., Hernández, F., & Barrios. (2013). Comparación de la resina de intercambio iónico con Mehlich 1 y Olsen modificado para determinar la disponibilidad de P en suelos cultivados con caña de azúcar en Guatemala. Obtenido de Memoria de presentación de resultados de investigación, Zafra 2012-2013. Cengicaña. Guatemala, p. 276-286: <https://cengicana.org/files>

- Pérez, Reyes, Suárez, & Díaz. (2000). Evaluación de calidades de caña de azúcar atendiendo a la calidad de los jugos. Obtenido de Centro Azúcar 3: 21-25.: <http://www.scielo.org.ar/img/revistas/riat/v87n1/html/v87n1a03.htm>
- Poel, V. d., Schiweck, & Schwartz. (1998). Sugar technology. Beet and cane sugar manufacture. Obtenido de Bartens, Berlin, Germany: <https://www.feedipedia.org/node/6822>
- Quinde, W., & Pernía, B. (2017). Efecto de la vinaza de caña de azúcar sobre la sobrevivencia y crecimiento de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) y prevalencia de *Vibrio parahaemolyticus*. Obtenido de Universidad de Guayaquil. Guayaquil – Ecuador. Pp. 2: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/49086>
- Quintero Durán, R. (1993). Interpretación de análisis de suelo y recomendaciones de fertilizantes para la caña de azúcar. Obtenido de Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Serie Técnica N° 14: https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_14/st_14.pdf
- Quintero, V., García, J., Contreras, J., Barajas, A., Barajas, C., Lavecchia, R., & Zuurro, A. (24 de julio de 2019). Vinasse as a Sustainable Medium for the Production of *Chlorella vulgaris*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/8/1526#cite>: <https://doi.org/10.3390/w11081526>
- Quiroz, I., & Pérez, A. (2013). Vinaza y compost de cachaza: Efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. Obtenido de Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 5 p. 1069-1075: www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid
- Ramírez, M. Á. (2008). Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: Una alternativa para la generación de empleos e ingresos. Módulo V: Caña de azúcar. Obtenido de Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo SNV: <https://docplayer.es/19233810-Cultivos-para-la-produccion-sostenible-de-biocombustibles-una-alternativa-para-la-generacion-de-empleos-e-ingresos-modulo-v-cana-de-azucar.html>
- Reforma Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente. (04 de noviembre de 2015). Libro VI, Decreto Ejecutivo 3516, Registro Oficial Suplemento 2, 31/03/2003. Obtenido de Acuerdo Ministerial 97 Registro Oficial Edición Especial 387: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- Rein, P. (2007). Cane sugar engineering. Obtenido de The Sugar & Sweetener Publisher. Bartens, Berlin: <https://www.bartens.com/book/cane-sugar-engineering/>
- Ribón, C. M., Salgado, G. S., Palma, L. D., & Lagunes, E. L. (2003). Propiedades químicas y físicas de un vertisol cultivado con caña de azúcar. Obtenido de Interciencia 28:154-159: www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378
- Romero, J., Madrid, F., Navarro, Y., Quinteros, H., Sanzano, A., & Romero, E. (2020). Requerimiento y extracción de nutrientes de una variedad de caña de azúcar bajo riego por goteo y en secano en Tucumán-Argentina. Obtenido de Revista Industrial y Agrícola de Tucumán: <http://www.scielo.org.ar/pdf/riat/v97n1/v97n1a02.pdf>
- Romero, J., Sanzano, A., Romero, E., Madrid, F., Navarro Di Marco, Y., Miranda, R., . . . Dellmans, R. (agosto de 2018). Extracción y balance de macronutrientes en caña de azúcar con riego por goteo y en secano. Obtenido de Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. IPNI: <http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/beagle?OpenAgent&d=D9C-14188463787C503258312007345E2&f=Art 2.pdf>
- Romo, P. M. (2019). Importancia del Fertirriego en la Tecnificación de Cultivos. . Obtenido de Serie Agua y Riego, Núm. 33. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 12 p: <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/importancia-del-fertirriego-en-la-tecnificacion-de-cultivos>
- Salazar, M. (2018). Vinaza proveniente de la caña de azúcar: más que un subproducto del alcohol. Carta Informativa N° 20. Obtenido de Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador. CINCAE: <http://cincae.org/wp-content/uploads/2013/04/Año-20.pdf>
- Sánchez Alegría, S. (2021). El concepto de demanda de agua de riego. Obtenido de Universidad Nacional De San Martín: <https://www.coursehero.com/file/81186620/El-concepto-de-demanda-de-agua-de-riegodocx/>
- Shainberg, I., Rhoades, J., Suárez, D., & Prather, R. (1981). Effect of mineral weathering on clay dispersion and hydraulic conductivity of sodic soils. Obtenido de Soil Sci. Soc. Am. J. 45, 287-291: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1981.03615995004500020012x>
- SIAR. (Junio de 2005). Fertirrigación. Hoja Informativa N°11. Obtenido de Servicio Integral de Asesoramiento al Regante. Universidad de Castilla-La Mancha: <http://crea.uclm.es/siar/publicaciones/files/HOJA11.pdf>
- Silva, A., Bono, J., & Pereira, F. (2014). Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. Obtenido de Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/YSZnrzR-Vh39DRYz4KmpWSFg/?lang=pt>

- Silva, M., Griebeler, N. P., & Borges, L. C. (2007). Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. Obtenido de Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 11(1), 108–114: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/vxTJ6yw3YP7bs-Cx7qC3Qcdj/?lang=pt>
- SIPA. (Agosto de 2020). Sistema de Información Pública Agropecuaria. Productividad Agrícola de Ecuador Año 2019. Obtenido de Informe del Índice de Productividad Agrícola. IPA: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/informe-del-ipa/informe-ipa-2019>
- SMART FERTILIZER. (12 de Febrero de 2020). Guía para el cultivo de la caña de azúcar. Obtenido de Smart Fertilizer: <https://www.smart-fertilizer.com/es/articulos/guide-to-growing-sugarcane/>
- Spaans, E., González DF, Hernández CA, & Quezada SR. (2007). Informe del Levantamiento de suelos del Ingenio San Carlos. p. 5-130. Marcelino Maridueña.
- Subiros, J., & Molina, E. (1992). Efecto de la aplicación de vinazas en la producción de caña de azúcar y en las características químicas de un Inceptisol de Guanacaste, Costa Rica. Obtenido de Agron. Costarric. 16(1):55 - 60: www.mag.go.cr/rev_agr/v16n01_055.pdf
- Tecnicaña. (2009). Memorias Seminario Internacional de Fertilización y Nutrición de la Caña de Azúcar. Obtenido de Asocaña: https://issuu.com/revistatecnicana/docs/tec_no28_2012
- Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (1985). Soil fertility and fertilizers. Obtenido de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19851998321>
- Tuesta, D. (febrero de 2017). Efecto de la aplicación de vinazas de la industria del tequila en el cultivo del maíz y en la asociación planta-hongos micorrízicos arbusculares (HMA) . Obtenido de Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. : <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx>
- Zolin, C., Paulino, J., Bertonha, A., Freitas, P., & Follegatti, M. (2011). Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. I. Características do solo. Obtenido de Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 15 (1): 22–28: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/HXR7PRsyhnR9RLCS-hRRyGrJ/?lang=pt>
- Zossi, C. S. (2010). Influencia de Compuestos azúcares y no azúcares en la calidad industrial de la caña de azúcar en Tucuman. Obtenido de SciELO - Scientific Electronic Library Online: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1851-30182010000100003

CITAR ESTE ARTICULO:

Suárez Valles, M. Ángel ., & Garzón Avilés, M. J. . (2024). Efecto de la vinaza en el rendimiento azucarero y calidad de caña de azúcar, aplicada con el riego, en el Ingenio Valdez; Milagro. RECIMUNDO, 8(3), 371–391. [https://doi.org/10.26820/recimundo/8.\(3\).julio.2024.371-391](https://doi.org/10.26820/recimundo/8.(3).julio.2024.371-391)

