



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**SISTEMA DE POSTGRADO UNIVERSIDAD AGRARIA**  
**DEL ECUADOR**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA**  
**AGRÍCOLA CON MENCIÓN EN RIEGO Y DRENAJE**

**PROYECTO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO**  
**PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**  
**MAGÍSTER EN INGENIERÍA AGRÍCOLA CON MENCIÓN EN**  
**RIEGO Y DRENAJE**

**EFFECTO DE LA VINAZA EN EL RENDIMIENTO**  
**AZUCARERO Y CALIDAD DE CAÑA DE AZÚCAR,**  
**APLICADA CON EL RIEGO, EN EL INGENIO VALDEZ;**  
**MILAGRO**

**ING. AGROP. MIGUEL ÁNGEL SUÁREZ VALLES**

GUAYAQUIL, ECUADOR

2022

# **SISTEMA DE POSTGRADO UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**

## **CERTIFICACIÓN**

El suscrito, Docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Director **CERTIFICO QUE:** he revisado el Trabajo de Titulación, denominada: **EFFECTO DE LA VINAZA EN EL RENDIMIENTO AZUCARERO Y CALIDAD DE CAÑA DE AZÚCAR, APLICADA CON EL RIEGO, EN EL INGENIO VALDEZ; MILAGRO**, el mismo que ha sido elaborado y presentado por el estudiante, **Ing. Miguel Ángel Suárez Valles**; quien cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador para este tipo de estudios.

Atentamente,

---

**Ing. Fanny Rodríguez Jarama, MSc.**

Guayaquil, 24 de mayo del 2022

**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**SISTEMA DE POSTGRADO UNIVERSIDAD AGRARIA DEL**  
**ECUADOR**

**TEMA**

**EFEECTO DE LA VINAZA EN EL RENDIMIENTO AZUCARERO Y CALIDAD DE  
CAÑA DE AZÚCAR, APLICADA CON EL RIEGO, EN EL INGENIO VALDEZ;  
MILAGRO**

**AUTOR**

**ING. MIGUEL ÁNGEL SUÁREZ VALLES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**APROBADA Y PRESENTADA AL CONSEJO DE POSTGRADO  
COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE**

**MAGÍSTER EN INGENIERÍA AGRÍCOLA CON MENCIÓN EN  
RIEGO Y DRENAJE**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

**Ing. Freddy Gavilánez Luna, PhD.  
PRESIDENTE**

**Ing. Yoansy García O., MSc.  
EXAMINADOR PRINCIPAL**

**Ing. Fanny Rodríguez J., MSc.  
EXAMINADOR PRINCIPAL**

## AGRADECIMIENTO

La fe es motor de inspiración, con ella, los que creemos, podemos proponernos objetivos, hoy con salud y alegría puedo escribir, pensar, vivir y agradecer a Dios, a él todo el reconocimiento por permitirme llegar a la obtención de esta meta.

Agradezco a la Ec. Martha Bucaram Leverone de Jorgge, PhD., al Director y al Coordinador del Sistema de Posgrado (SIPUAE) y autoridades de la Universidad Agraria del Ecuador, por permitirme realizar los estudios de maestría en vuestra prestigiosa institución; a los catedráticos, por brindar sus conocimientos y experiencias laborales en beneficio del aprendizaje de las distintas ciencias impartidas en el trayecto de la maestría.

Agradecimiento sincero a la Ing. Fanny Rodríguez MSc. y docentes, por guiarme en la ejecución de este proyecto de titulación. Al Ing. Raúl Castillo, PhD. Director General del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (CINCAE) por la confianza y apoyo en la consecución del presente trabajo. A mis compañeros y amistades más cercanas, especialmente a los Sres. Bolívar Vera y Patricio Zárate, quienes me ayudaron con las diferentes evaluaciones de campo.

Mi entero sentido de gratitud a mis amados padres y a mi familia, por el apoyo, el esfuerzo y la confianza dispensada en este tiempo de estudios, mención especial a mi esposa Ing. Jeannine Garzón Avilés MSc. que siempre ha estado pendiente e incondicional, a ti amada, mi respeto y eterno agradecimiento.

## **DEDICATORIA**

El trabajo de campo y los resultados, están dedicados a la ciencia y al desarrollo de tecnologías como misión del CINCAE en beneficio de la productividad de los ingenios azucareros y productores de caña.

A mis padres Sra. Martha Valles y Sr. Bolívar Suárez quienes me forjaron como ser humano y apoyaron en la educación, su amor infinito es digno de retribuirse con esfuerzos y metas, en este momento les dedico este nivel académico.

A mis hermanos, amigos, a mi amada esposa y a mis hijas Chelsy y Samantha, ustedes siempre han sido y seguirán siendo motivación para seguir adelante en todo aspecto y momento.

## **RESPONSABILIDAD**

La responsabilidad, derecho de la investigación, resultados, conclusiones y recomendaciones que aparecen en el presente Trabajo de Titulación corresponden exclusivamente al Autor; y, los derechos académicos se otorgan a la Universidad Agraria del Ecuador.

**Ing. Miguel Ángel Suárez Valles**

**C.I. 0923407472**

## RESUMEN

El uso de vinaza se ha generalizado, siendo en el ingenio Valdez un sustituto del fertilizante potásico sintético que se aplica con el agua de riego en los canteros donde el subproducto llega y en dosis que no han sido evaluadas detalladamente sobre la productividad de caña y su afectación en propiedades químicas y físicas del suelo. Por ende, se evaluaron cinco tratamientos de vinaza (0, 30, 60, 90 y 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) en DCA y con prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) para separación de medias, determinando que las dosis entre 60 a 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinaza con el riego, alcanzaron los mayores tonelajes de caña por hectárea (TCH) y que con una dosis máxima (DM) de 87 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ( $r^2 = 0.81$ ), se obtuvo 229.7 sacos de azúcar por hectárea (SAH) como mayor rendimiento azucarero en tercera soca; además, las concentraciones de cenizas conductimétricas y potasio (K) en jugo, fueron las más altas cuando se aplicó 90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Analizando químicamente el suelo, se detectó que, con cuatro años seguidos de aplicaciones de vinaza, las concentraciones de sodio (Na) aumentaron más del doble, mostrando que los tratamientos de 30 y 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> incrementaron la sodicidad, pero sin llegar a porcentajes de sodio intercambiable (PSI) problemáticos; siendo este Na, el que pudo influir sobre el ligero aumento de las arcillas en la textura de dichos tratamientos mas no en las demás propiedades físicas como la densidad aparente y estructura del suelo que no presentaron cambios significativos a la aplicación de vinaza.

**Palabras claves:** *eficiencia de riego en surco, jugo de caña, potasio, Saccharum officinarum L., subproductos de fábrica, suelo.*

## SUMMARY

The use of vinasse has been generalized, being at the Valdez mill a substitute for synthetic potassium fertilizer that is applied with the irrigation water in the beds where the by-product arrives and in doses that have not been evaluated in detail on sugarcane productivity and its effect on the chemical and physical properties of the soil. Therefore, five vinasse treatments (0, 30, 60, 60, 90 and 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) were evaluated in DCA and with Tukey's test ( $p < 0.05$ ) for separation of means, determining that the doses between 60 and 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of vinasse with irrigation, reached the highest tonnages of cane per hectare (TCH) and that with a maximum dose (DM) of 87 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ( $r^2 = 0.81$ ), 229.7 sacks of sugar per hectare (SAH) were obtained as the highest sugar yield in the third ratoon; in addition, the concentrations of conductimetric ash and potassium (K) in juice were the highest when 90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> consecutive years of vinasse applications, sodium (Na) concentrations more than doubled, showing that the 30 and m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> treatments increased sodicity, but without reaching problematic exchangeable sodium percentages (ESP); this Na could influence the slight increase of clays in the texture of these treatments, but not in the other physical properties such as bulk density and soil structure, which did not show significant changes after the application of vinasse.

***Keywords: cane juice, factory by-products, furrow irrigation efficiency, potassium, Saccharum officinarum L., soil.***

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
Caracterización del tema .....	2
Planteamiento de la situación problemática.....	3
Justificación e importancia del estudio.....	3
Delimitación del problema.....	4
Formulación del problema .....	4
Objetivos.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
Hipótesis científica:.....	4
Aporte teórico o conceptual .....	5
Aplicación práctica.....	5
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
1.1. Estado del Arte .....	6
1.2. Bases científicas y teóricas de la temática .....	7
1.3. Fundamentación legal. ....	21
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>25</b>
<b>ASPECTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>25</b>
2.1. Métodos.....	25
2.2. Variables.....	26
2.3. Población y muestra. ....	30
2.4. Técnicas de recolección de datos. ....	30
2.5. Estadística descriptiva e inferencial.....	35
2.6. Diseño experimental.....	36
2.7. Cronograma de actividades.....	37
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>38</b>
<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>46</b>

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>64</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>73</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N°1.</b> Concentraciones químicas de la vinaza pura, aplicada en los riegos de caña planta y tercera soca. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez. ....	34
<b>Tabla N°2.</b> Análisis de la Varianza.....	35
<b>Tabla N°3.</b> 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. ....	38
<b>Tabla N°4.</b> 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. ....	40
<b>Tabla N°5.</b> Cuantificación de nutrientes, materia orgánica (M.O.), pH y conductividad eléctrica (C.E.) del suelo, en caña planta (2017) antes de la aplicación de la vinaza con el riego. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez. ....	41
<b>Tabla N°6.</b> Cuantificación de nutrientes, materia orgánica (M.O.), pH y conductividad eléctrica (C.E.) del suelo, 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. ....	41
<b>Tabla N°7.</b> 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. ....	42
<b>Tabla N°8.</b> Propiedades físicas de suelo antes y después de cuatro años consecutivos de aplicación de cinco dosis de vinaza con el riego. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez....	43
<b>Tabla N°9.</b> Extracción de nutrientes a la cosecha de la variedad EC-02 a diferentes dosis de vinaza. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez.....	44

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Croquis del ensayo sobre el efecto de la vinaza en el rendimiento azucarero y calidad de caña de azúcar, aplicada con el riego. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez. Milagro.....	64
<b>Anexo 2.</b> Guías de despachos físicas (A) y electrónicas (B) receiptadas del ensayo de dosis de vinaza aplicada en el agua de riego sobre la productividad de caña de azúcar en tercera soca al momento de la cosecha. Variedad EC-02, cantero 004-046 del Ingenio Valdez. Milagro .....	65
<b>Anexo 3.</b> Reporte de análisis de calidad de caña del ensayo de dosis de vinaza aplicada en el agua de riego en la productividad de caña de azúcar en tercera soca a los 12 meses. Variedad EC-02, cantero 004-046 del Ingenio Valdez. Milagro...65	
<b>Anexo 4.</b> Análisis químico de la vinaza utilizada en el periodo de tercera soca. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez. ....	66
<b>Anexo 5.</b> Prueba de Shapiro-Wilks para detectar la confiabilidad de los datos dentro de cada variable en estudio y del tratamiento establecido. ....	66
<b>Anexo 6.</b> Prueba de Shapiro-Wilks para los datos transformados (raíz cuadrada) de la variable normaliza % K en jugo y su análisis de varianza para corroboración de significancias y separación de medias. ....	67
<b>Anexo 7.</b> Análisis de Varianza, realizado en Infostat para las variables de productividad y calidad de caña para cinco tratamientos de aplicación de vinaza en el agua de riego en tercera soca. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez.....	67
<b>Anexo 8.</b> Análisis químico y físico de suelos del ensayo sobre diferentes dosis de vinaza aplicadas en el agua de riego para el cultivo de caña de azúcar después de la cosecha de tercera soca. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez. ....	69
<b>Anexo 9.</b> Evaluación de propiedades físicas de suelo después de la cosecha de tercera soca. Densidad aparente por el método del cilindro (A) y estructura de agregados (B). Cantero 004-046 del Ingenio Valdez. Milagro.....	69
<b>Anexo 10.</b> Extracción de nutrientes por hectárea, al momento de la cosecha de la variedad EC-02 a diferentes dosis de vinaza. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez. ....	70

<b>Anexo 11.</b> Datos de Infiltración medida con anillos infiltrómetros en el primer riego poscosecha de tercera soca del ensayo de dosis de vinaza aplicadas con el agua de riego. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Anexo 12.</b> Humedad de suelo antes del riego en el ensayo de dosis de vinaza aplicadas con el agua de riego en el cultivo de caña de azúcar. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez.....	70
<b>Anexo 13.</b> Humedad de suelo 72 horas después del riego en el ensayo de dosis de vinaza aplicada con el agua de riego en cultivo de caña de azúcar. Cantero 004-046, Ingenio Valdez.....	71
<b>Anexo 14.</b> Modelos de regresión para la Infiltración acumulada (mm) y el tiempo de receso del agua en el surco (min) para el ensayo de dosis de vinaza aplicadas en el agua de riego en el cultivo de caña de azúcar. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez. ....	71
<b>Anexo 15.</b> Datos obtenidos en la evaluación de la Lámina infiltrada en el largo del surco del ensayo sobre diferentes dosis de vinaza aplicadas en el agua de riego para el cultivo de caña de azúcar después de la cosecha de tercera soca. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez.....	71
<b>Anexo 16.</b> Eficiencia de Aplicación (EA) del riego en la parcela, para el ensayo sobre diferentes dosis de vinaza aplicada en el cultivo de caña de azúcar. Primer riego por superficie después de la cosecha de tercera soca. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez.....	72

## ÍNDICE DE APÉNDICES

<b>Apéndice 1.</b> Visita y cosecha de ensayo. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez. Milagro .....	73
<b>Apéndice 2.</b> Toma de muestras para humedad de suelo antes del riego y prueba de infiltración básica de suelo con los anillos infiltrómetros. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez. Milagro.....	73

## 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 anual del consumo mundial de azúcar en 1.4% y ha estimado llegar a una producción de 199 Mt en 2029, además menciona que la mayor parte de dichos incrementos, se van a dar en los 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.

En el ingenio Valdez la producción del cultivo de caña de azúcar desde el 2017 ha ido creciendo, pasando de 77.67 a 81.95 toneladas de caña por hectárea (TCH) en el 2019 y obteniéndose más de 3´424 000 sacos de azúcar por año, para el mercado nacional (Memorias de Sostenibilidad, 2019). Paralelamente el ingenio abastece a la Compañía Codana S.A. para producir alcohol, cuya demanda se ha incrementado llegando a tener 34´064 389 litros de alcohol; por tanto, se busca la mayor eficiencia y productividad en el manejo del cultivo para alcanzar los rendimientos y cubrir tanto la cuota alimentaria e industrial. En búsqueda de este

objetivo, se reutiliza subproductos de la destilería de alcohol proveniente de Codana S.A. como es la vinaza, la cual posee nutrientes esenciales para el desarrollo de la caña entre ellos, el potasio, que interviene en la acumulación de azúcares en los tallos y que es el elemento más extraído en el ciclo del cultivo. Producto de la responsabilidad social y ambiental, las vinazas se han venido utilizando diluidas en el agua de riego, tendiente a sustituir los fertilizantes potásicos sintéticos en las áreas del ingenio donde la vinaza llega, en dosis de 30 m<sup>3</sup> que no se ha validado por experimentación científica y desconociendo sus efectos sobre las propiedades físicas y concentraciones químicas de nutrientes en los suelos bajo su influencia.

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.

### **Caracterización del tema**

Conjugar la agro sostenibilidad con la política actual de ahorro en los costos de producción de la caña de azúcar y su industrialización, ha hecho que el ingenio Valdez empiece 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.

## **Planteamiento de la situación problemática**

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 (CENICAÑA, 2015; Chaves, 1985; Christofolletti, Escher, Correia, Marinho y Fontanetti, 2013).

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.

## **Justificación e importancia del estudio**

El ingenio Valdez recibe de Codana S.A., cerca de 468 000 m<sup>3</sup> 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.

### **Delimitación del problema**

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 2021.

### **Formulación del problema**

¿Cuál será el efecto de la vinaza en el rendimiento azucarero y calidad de la caña de azúcar, aplicada con el riego, en el cantero 004-046 del ingenio Valdez?

### **Objetivos**

#### **Objetivo general**

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.

#### **Objetivos específicos**

1. 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.
2. Valorar la calidad de la caña de azúcar como efecto de la aplicación de la vinaza
3. Evaluar el cambio de las propiedades físicas y concentración de nutrientes en el suelo como respuesta a la aplicación de vinaza.

#### **Hipótesis científica:**

El uso de vinaza con el riego incrementa la producción de caña y el

rendimiento azucarero; además, incide en las concentraciones fisicoquímicas del suelo.

### **Aporte teórico o conceptual**

Con el análisis de la vinaza y la respuesta de la caña de azúcar a su aplicación con el agua de riego, se pretende tener una base científica que apoye su uso como alternativa, en el área de influencia de la vinaza, 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.

### **Aplicación práctica**

Con la publicación de los resultados, se tendrá una recomendación de dosis y manejo de vinaza mezclada con el agua de riego, para canteros con características semejantes al 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.

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Estado del Arte

La vinaza es considerada como un recurso fertilizante o nutricional para los cultivos y su uso es prácticamente global, al enriquecer el suelo con materia orgánica (M.O.), además de macro, micronutrientes y microorganismos (Jiang *et al.* 2012; Fuess y García, 2014; y, Valeiro, Portocarrero, Ullivarri, y Vallejo, 2017) e inclusive se puede emplear en mezcla con bagazo y optimizar la combustión en las calderas (Franck *et al.*, 2016). En muchos países productores de caña de azúcar, se aplica la vinaza en riego por gravedad por su bajo costo (Salazar, 2018) y en fertirrigación gracias a su bajo contenido de sólidos totales y propiedades similares al agua (Aristizábal, 2015), además se le puede añadir polímeros para mejorar su uniformidad de distribución (Grogenski y Justi, 2021); por ejemplo, en Australia, la vinaza se controla y aplica según la máxima recomendación de potasio (K) que es de 120 kg ha<sup>-1</sup> de K al año, establecida por el Bureau Sugarcane Experimental Stations (Calcino *et al.*, 2018), lo cual permite obtener la mayor productividad de los genotipos de caña de azúcar. Por medio de ensayos, se ha detectado que la vinaza puede recomponer suelos, que han ido perdiendo sus aptitudes agrícolas por la intromisión de sales y especialmente sodio (Na) (INIVIT, 2017), puede ser vehículo para nitrógeno (N) amoniacal en dilución (Marín, Salazar, Castro y Escalante, 2016), su acción es eficiente cuando se la combina con un programa de nutrición vegetal (García *et al.*, 2007) y puede reemplazar al muriato de potasio en su totalidad en suelos Inceptisoles (Ángel y Menjívar, 2010); sin embargo, este subproducto puede afectar las condiciones fisicoquímicas de los suelos, manteniendo el pH, aumentando el N y carbono orgánico total pero incrementando la Conductividad Eléctrica (C.E.) en 50 % si se aplica con fertilizantes (Tuesta, 2017). Debido a su composición química la vinaza puede otorgar condiciones no deseables, tales como: ser un medio de cultivo para proliferación de microalgas (Quintero *et al.*, 2019), puede contribuir a infestaciones de picudo *Sphenophorus*

levis (Martins, Tonelli, Bento, Bueno y Leite, 2020), inhibir completamente la germinación de semillas de maíz, tomate y lechuga (Fregolente *et al.*, 2018), sumado a la potencial contaminación del suelo y cuerpos de agua por las altas demandas químicas y bioquímicas de oxígeno (Ferraresi y Niño, 2021) y acrecentar los procesos de compactación de los suelos donde se aplica en dilución 1:1 (González, Buedo, Prado y Álvarez, 2018).

El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE), reporta que, la vinaza es rica en potasio ( $3.59 \text{ kg m}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ) siendo una buena opción para sustituir el fertilizante sintético potásico, además de otros nutrientes necesarios para la producción de caña (CINCAE, 2019); por lo cual CINCAE en 2017, estableció ensayos cooperativos con los ingenios para aplicar vinaza como fuente fertilizante de potasio y estudiar sobre las características fisicoquímicas del suelo la existencia de algún efecto en el tiempo y definir dosis óptimas de aplicación bajo las diferentes condiciones de los ingenios (CINCAE, 2017), encontrando en primera soca (dos años de aplicación de vinaza) y en dos localidades, que aplicaciones entre  $80$  y  $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  diluida en el riego, resultaron en altos tonelajes de caña y azúcar (CINCAE, 2020). Haciéndose necesario con el presente estudio, determinar la dosis de vinaza que maximice la producción de caña y el rendimiento azucarero en el ciclo de tercera soca; además, conocer el efecto de las dosis en las características físicas y químicas del suelo en el cuarto año de aplicación, con lo cual se da continuidad con el proyecto de investigación sobre su uso con el riego por gravedad.

## **1.2. Bases científicas y teóricas de la temática**

### **1.2.1. Cultivo de caña de azúcar. Condiciones agroecológicas.**

El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador CINCAE, manifiesta que, la caña de azúcar es un cultivo de alta importancia en Ecuador, del cual se extrae el azúcar, producto básico y de intensivo consumo. Adicionalmente, puede producirse alcohol como carburante y proporciona el bagazo para cogeneración eléctrica (CINCAE, 2004). La caña de azúcar pertenece al género *Saccharum* de la familia de las gramíneas, con ciclo semiperenne y de tipo fotosintético C4, en cuyos tallos se concentra la sacarosa (Anschau, Flores Marco,

Carballo y Hilbert, 2009).

El clima ideal para el cultivo de caña debe presentar dos estaciones; una caliente y húmeda, para la germinación, macollaje y desarrollo vegetativo, seguida de otra fría y seca, para la madurez y consecuente acumulación de sacarosa en los tallos (Anschau *et al.* 2009). La productividad de la caña de azúcar se aminora en climas donde predomina la humedad, aunque sean zonas ecuatoriales (BNDES, 2008). Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), las temperaturas óptimas para que el cultivo de caña de azúcar se desenvuelva son: para la germinación entre 32 y 38 °C, para el macollamiento 32 °C y para el crecimiento 27 °C (MAG, 2015).

En cuanto a la disponibilidad de agua, su déficit o exceso puede tener efectos positivos y perjudiciales en el cultivo, así la producción biomasa puede afectarse ante la falta de humedad en el suelo; pero, si se suspende el agua al final del ciclo, se afecta el desarrollo de la caña, pero se incrementa en los tallos la concentración de sacarosa. La humedad excesiva impide el normal crecimiento de las raíces, por ende, la absorción de nutrientes fundamentales para el cultivo se ve disminuida (CINCAE, 2004).

SMART, cita que la caña de azúcar, durante la fase de crecimiento requiere de niveles moderados a altos de precipitaciones que varían de 1100 a 1500 mm en total; necesitando de días largos, soleados y calientes (32 a 38 °C) durante la temporada de crecimiento (SMART FERTILIZER, 2020). Sin embargo, Duarte y González, mencionaron que la necesidad hídrica es de 1.200 a 1.500 mm por año, para la caña; siendo esta cantidad distribuida y variable durante el ciclo y etapas fenológicas, requerimiento que dependerá de las condiciones del suelo y el crecimiento de la caña de azúcar (Duarte y González, 2019).

En el manejo agronómico del cultivo de caña en Ecuador, el riego es una labor importante en la costa ecuatoriana para lograr una mayor productividad. En la temporada seca (junio a noviembre) existe déficit de agua aprovechable en la zona de las raíces, por lo que es indispensable regar; así, los ingenios, en especial San Carlos, desde el 2001 utiliza el sistema de balance hídrico (BH), donde consideró su estudio de suelo, el clima y la edad de la caña, para determinar

intervalo entre riegos (programación), consiguiendo en 2008 mayores producciones de caña y ha abaratado costos por el uso de bombas, combustible y mano de obra (CINCAE, 2009). Por su parte en el ingenio Valdez se han implementado diferentes métodos de riego, principalmente por aspersión y por surcos. El promedio de precipitación anual, correspondiente a 40 años de registro es de 1 342 mm, en la estación lluviosa (diciembre a mayo) cae el 99,3% (1 333 mm); en cambio, en la estación seca, únicamente se precipita el 0,7% restante (9 mm) (CIA. AZUCARERA VALDEZ S.A., 2007).

En términos de suelo, la caña de azúcar prefiere suelos francos profundos y bien drenados en un rango de 5.5 a 7.8 de pH (Ramírez, 2008); también, puede crecer en distintos tipos de suelos, como arenosos, arcillosos y suelos ácidos o alcalinos, siendo un suelo franco bien drenado con pH de 6.5 o menor, el ideal (SMART FERTILIZER, 2020).

El ciclo de cultivo es de aproximadamente un año; la siembra de canteros comerciales se realiza en los meses de junio a octubre y la siembra de semilleros en noviembre y diciembre. Las cañas plantas (primer año de cultivo) se cosechan a los 13 meses de cultivo y las socas (caña después del primer corte) a los 12 meses. La zafra o periodo de cosecha en la cuenca baja del río Guayas se da entre junio a diciembre (época seca) debido a las condiciones climáticas, que facilitan el corte de caña mecanizado o manual.

Un cultivo eficiente puede producir 100 a 150 toneladas de caña por hectárea (TCH) por año (Anschau *et al.* 2009); siendo en Ecuador, 76 TCH el promedio de producción en 2019 (SIPA, 2020).

### **1.2.2. Nutrición de la caña de azúcar**

Las plantas absorben los elementos minerales de las proximidades de las raíces y especialmente de la solución del suelo, existiendo 16 elementos nutritivos esenciales para la caña de azúcar: el carbono (C), el hidrógeno (H) y el oxígeno (O) no son minerales y la planta la toma del dióxido de carbono y del agua (Tisdale, Nelson y Beaton, 1985). Los nutrimentos restantes son: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S). Los micronutrimentos son: boro (B), zinc (Zn), cloro (Cl), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y molibdeno

(Mo); estos últimos, aunque son necesarios para el normal desarrollo de la planta, se requieren en cantidades pequeñas (CENICAÑA, 1995).

Los ensayos de CENICAÑA llegaron a la conclusión que, la magnitud de los nutrientes que se va extrayendo durante el ciclo del cultivo es diferente y va a depender de la variedad sembrada, el tipo de suelo, las condiciones de clima y el manejo del cultivo (CENICAÑA, 1995). Al determinarse la cantidad total de nutrientes o consumo que ha extraído el cultivo, se puede estimar la dosis que demanda un material vegetal, de tal manera, se logra la eficiencia de aplicación de los fertilizantes (Mite Cáceres, 2005); si se toma como base los resultados de los análisis de fertilidad del suelo, foliares y características físicas más importantes del suelo.

Fauconnier y Bassereau (1975) citado por (CENICAÑA, 1995), hallaron que los tallos extrajeron: 0.72 kg de N, 0.18 kg de P, 1.22 kg de K, 0.12 kg de Ca, 0.20 kg de Mg y 0.27 kg de S; mientras que, en los cogollos y en las hojas secas la extracción estuvo en 1.15 kg de N, 1.39 kg de P, 1.18 kg de K, 0.68 kg de Ca, 0.32 kg de Mg y 0.16 kg de S por tonelada de caña industrial; mientras que, Martín *et al.*, (1987) en la misma cita, concluyeron que la extracción de nutrimentos por cuatro variedades de caña de azúcar en tres tipos de suelos varió entre 0.44 a 1.15 kg para el N, de 0.11 a 0.30 kg para el P y de 0.77 a 2.19 kg de K por cada tonelada de tallos a la cosecha. En Argentina, la variedad LCP 85-384 extrajo: 100, 15, 283, 19 y 14 kg ha<sup>-1</sup> y 79, 11, 202, 13, y 10 kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca y Mg respectivamente bajo condiciones de riego por goteo y de secano (Romero, y otros, 2018).

La extracción de micronutrientes en caña de primer año es superior a la de las socas, determinando en tres tipos de suelos que, por cada 100 toneladas de tallos, se extrae entre 1486 y 6189 g de Fe, 758 y 1509 g de Mn, 387 y 479 g de Zn, 138 y 271 g de Cu; y, 178 y 238 g de B (Malavolta, 1992).

Calcino *et al.* manifiestan, que la tasa de fertilización óptima para el rendimiento más económico depende de factores como clima, clase de cultivo, presencia de leguminosa previamente cultivada, tipo de suelo, precipitación, manejo de residuos de la caña verde y el riego (Calcino, y otros, 2018). Por ejemplo, en ensayos realizados por el área de investigación de Suelos y Fertilizantes,

determinó que con menos de 2% de M.O. en suelos, el requerimiento de fertilizante nitrogenado es mayor (CINCAE, 2013). Quintero manifiesta que tasas recomendadas de N se explican por las diferencias de la mineralización del N entre tipos de suelos, utilizando el carbono orgánico del suelo como referencia para determinar la tasa de mineralización (Quintero Durán, 1993).

El nitrógeno, es el nutriente más requerido por la caña de azúcar porque estimula el macollamiento de la planta, mejora el crecimiento y peso del tallo; sin embargo, su exceso puede retardar la maduración, reducir la concentración de azúcar y provocar un crecimiento exagerado de los tallos (Anderson y Bowen, 2000). El potasio es uno de los elementos más requerido por la caña de azúcar, influye en el crecimiento, y desarrollo de los tallos, juega un papel fundamental en el transporte de azúcares desde las hojas hacia el tallo (Cuellar y Pérez, 2002).

Lazcano (s.f.) cita que, la caña puede sufrir de deficiencia de potasio aún en suelos que reporten altos contenidos de este elemento. Especialmente en suelos arcillosos con poca estructura, de alta densidad o compactación debida al tráfico de equipo agrícola y con cantidades relativamente altas de calcio y/o alta saturación de sodio. En Guatemala, en suelos del orden Andisol y Entisol, la aplicación de K incrementó significativamente el rendimiento de caña y azúcar en donde su contenido era menor a 120 ppm. El rendimiento de azúcar se incrementó por lo menos en 2.8 t ha<sup>-1</sup> cuando se aplicaron dosis de 140 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> aproximadamente (Pérez y Melgar, 1998).

Algunos resultados obtenidos en investigación sobre fertilización con N y K han demostrado que las recomendaciones de estos nutrimentos no dependen solamente de las características del suelo, sino también de la variedad de caña de azúcar y el número de cortes (Quintero Durán, 1993).

De esta manera, el CINCAE realiza investigación en este campo para brindar las recomendaciones de dosificación, fuentes de fertilizantes y uso de subproductos que promuevan la mejora de productividad. En la cuenca baja del río Guayas, los ensayos de fertilización, han determinado que, la variedad Ragnar necesita entre 120 a 150 kg de N por ha en caña planta y soca, respectivamente (CINCAE, 2004). La variedad ECU-01 (liberada en el 2007), en los ingenios Valdez y San Carlos

presentó preliminarmente, la más alta producción de caña a niveles bajos de N (40 y 80 kg ha<sup>-1</sup> en caña planta y soca respectivamente) (CINCAE, 2006 y 2007).

Niveles que han ido variando por las condiciones actuales de manejo agronómico del cultivo de caña de azúcar, la mayor productividad y las nuevas variedades nacionales de caña que se han desarrollado para expresar su mayor potencial de genotipo bajo las condiciones climáticas de la cuenca baja. El Centro de Investigación, ha llegado a obtener los niveles de fertilización para las variedades nacionales en los tipos de suelos representativos de los ingenios, teniendo en cuenta los análisis de suelos, foliares, extracción de nutrientes a la cosecha y la productividad del cultivo, esta metodología refuerza los programas de fertilización a recomendar. La extracción de los nutrientes en la planta está relacionada con la biomasa producida en kg ha<sup>-1</sup> y el contenido de nutriente en un estado fenológico de la planta expresado en porcentaje; así, la extracción promedio de N a la cosecha en las variedades liberadas por CINCAE se encuentra entre 93 hasta 172 kg ha<sup>-1</sup>.

A pesar de la variabilidad de extracción de nutrientes por las variedades liberadas de CINCAE en los diferentes sitios en estudio se categorizó rangos de requerimientos de N según la producción de caña esperada. Es así como, en producciones esperadas de hasta 100 TCH, el requerimiento de N corresponde a 1.10 kg por tonelada de caña (kg TC<sup>-1</sup>), mientras que, en sitios con producciones entre 100 y 120 TCH el requerimiento de N es 1.20 kg TC<sup>-1</sup> y en áreas donde la producción esperada es mayor a 120 TCH el requerimiento de N es 1.30 kg TC<sup>-1</sup>.

El nutriente más absorbido por la caña a la cosecha es el K, por ende, la aplicación de fertilizante potásicos es inevitable para obtener los mayores rendimientos posibles, aunque las respuestas a la aplicación de K son muy variables. Por ejemplo, investigaciones realizadas en Fiji, India, Brasil y Colombia mostraron que hubo poca o ninguna respuesta en la producción de caña cuando se aplica o no K (Filho, 1985; Yan and Cheng, 1991 y Olalla *et al.* 1986) citados por Kwong (2002).

En la actualidad, se ha detectado que, si hay deficiencia de K, mucha del azúcar puede permanecer en envés de las hojas y no ser transportadas,

almacenadas y cosechada en los tallos. Otra ventaja de este elemento es la eficiencia del uso del agua, es decir bajo condiciones de estrés hídrico (sequía) la tasa de transpiración se reduce y se incrementa el potencial de agua en las hojas, longitud de la caña, contenido de sucrosa en el jugo y en la producción de caña (Filho, 1985).

Con estos antecedentes de gran demanda de nutriente potasio por la planta y su importancia en el metabolismo de la caña de azúcar, aunado al inminente uso de subproductos de la industria azucarera y alcoholera, es conveniente estudiar a las vinazas como alternativa de fertilización.

### **1.2.3. Propiedades físico-químicas de los suelos**

Actualmente, los ingenios azucareros situados en la cuenca baja del río Guayas (Valdez, San Carlos y Agroazúcar), cuentan con estudios donde han definido áreas agroecológicas de potencial cañero para optimizar el manejo agronómico de la caña de azúcar a través de mapas de suelos; determinando tres órdenes de suelos predominantes en la zona; Entisol, Inceptisol y Vertisol. De acuerdo con el régimen de temperatura los tres ingenios son isohipertérmico, y según el régimen de humedad corresponden a ústico y ácuico. Su acidez en suelos presenta un pH ligeramente ácido a neutro, bajo en M.O., Ca y Mg entre alto a muy alto, P entre medio a alto, K entre bajo a medio y Zn entre bajo a medio (Arzola N, y otros, 2007) (Spaans, González DF, Hernández CA y Quezada SR, 2007) (CIA. AZUCARERA VALDEZ S.A., 2007).

La Cía. Azucarera Valdez consideró indispensable conocer con precisión los tipos de suelos existentes, distribución espacial, características fisicoquímicas y mineralógicas, y aptitud para el cultivo de caña de azúcar, en el sector de Milagro (13 511 ha) (CIA. AZUCARERA VALDEZ S.A., 2007); por lo cual, se realizó un estudio detallado de los suelos con el interés de asegurar los mejores rendimientos en el marco del uso sustentable de los recursos naturales.

La caña se ha adaptado bien a diferentes condiciones edáficas, mostrando buenas producciones cuando los factores limitantes se tratan adecuadamente, pero el uso de enmiendas, fertilizantes, subproductos tienen en sí un conjunto de componentes que cambian las condiciones de los suelos donde se los aplica,

debido a sus características intrínsecas y a las dosis que se aplican. Es así que, el uso de las vinazas, concentradas o diluidas en el agua de riego en caña de azúcar puede tener su afectación sobre las características físicas, biológicas y químicas del suelo.

En un suelo de textura franco-limosa, pH ligeramente alcalino y contenidos medios de materia orgánica en los primeros 20 cm, el potasio intercambiable, se mantiene bajo con aplicaciones de hasta  $75 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinaza, hasta alcanzar niveles medios de suficiencia, cuando se incorporan  $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinaza, en planta. En soca I y soca II, los valores de potasio permanecen bajos cuando se aplican  $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinaza, pasando a niveles medios de suficiencia, con dosis de  $50$  y  $75 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinaza en soca I y de  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinaza en soca II, hasta alcanzar valores altos, cuando se incorporan  $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinaza en soca I y  $75 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  y  $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinaza en soca II (Gómez, 1995)

En suelos Entic Chromustert de la zona central del valle geográfico del río Cauca, las aplicaciones sucesivas de vinaza, han resultado en aumentos excesivos de potasio intercambiable y en disminuciones de la producción de caña y de la concentración de sacarosa en la primera soca de la variedad MZC 74-275, por lo cual se ha recomendado ser precavido en su dosificación (CENICAÑA, 1995).

En un estudio sobre lixiviación de K en condiciones de invernadero, se determinó que la vinaza tuvo un efecto sobre la fertilidad del suelo ya que estadísticamente se comprobó ( $p < 0.05$ ), tal efecto con los tratamientos sobre: M.O., amonio ( $\text{NH}_4$ ), K, P, Ca, Na, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn; siendo la dosis de  $500 \text{ kg}$  de K  $\text{ha}^{-1}$ , donde se registraron mayores concentraciones (Flores, Gavi, Torres y Hernández, 2012). La escasa lixiviación del potasio intercambiable en el suelo puede provocar, a largo plazo, un exceso de este elemento en la profundidad de 0-20 cm, lo cual ocasiona una serie de problemas, relacionados con la calidad del producto obtenido de la caña de azúcar, un posible incremento de la salinidad y un desbalance nutricional en el suelo (Gómez, 1995).

La estimación de la dosis de vinaza debe basarse en el contenido de potasio del suelo, la cantidad de potasio de la vinaza, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el potasio que extrae el cultivo para garantizar la fertilidad del suelo. Como

referencia, el K debe ocupar el 7% de la CIC en muestras tomadas a 0.40 m de profundidad y con una extracción media de 165 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. La CIC del suelo debe ser determinada con acetato de amonio 1N a pH 7 (CENGICAÑA, 2017).

Armengol, Lorenzo y Fernández probaron dosis de 50 a 250 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinaza, no encontrando cambios significativos en el pH medido en agua y cloruro de potasio; pero, los contenidos de M.O., P y K asimilables aumentaron. El efecto residual producido por la vinaza permitió prescindir de la fertilización mineral durante los cinco años de estudio (Armengol, Lorenzo y Fernández, 2003).

Por su parte, Jiménez concluyó que el uso de la vinaza incrementa significativamente en 27.7% la actividad biológica en el suelo, mientras que, en los últimos seis años de estudio, los tonelajes de caña y azúcar por hectárea (TCH y TAH) resultaron con mayor productividad en el tratamiento con vinaza versus el tratamiento control (Jiménez, 2017).

#### **1.2.4. Calidad de caña medida en los jugos.**

Las condiciones de cultivo, la edad, la tolerancia a enfermedades y el uso o no de madurantes altera la composición de la caña de azúcar, siendo los azúcares, no azúcares y el agua los constituyentes del jugo de caña (Mata, 2017).

Al inicio de la industria azucarera, los grados Brix, % pol jugo y la pureza eran indicadores de la calidad del jugo de caña de azúcar, pero en 1995 Larrahondo, afirmó que “la calidad industrial de la caña de azúcar depende de la cantidad de azúcar recuperable, la que está influenciada por el contenido de sacarosa, el contenido de fibra y la concentración de sólidos solubles diferentes a la sacarosa” (Larrahondo, 1995). La medición de los no azúcares puede ser un factor importante, ya que estos son responsables de una disminución en la recuperación de sacarosa del jugo, es el caso cuando aumenta el contenido de cenizas; asimismo, una clarificación deficiente ocurre cuando existen concentraciones por debajo de 300 ppm de fosfatos (Pérez, Reyes, Suárez y Díaz, 2000). “Los no azúcares son sales de ácidos orgánicos e inorgánicos, ácidos carboxílicos, aminoácidos, proteínas, polisacáridos solubles, almidón, ceras y grasa y otros compuestos minoritarios, tales como flavonoides, polifenoles” (Van der Poel, Schiweck y Schwartz, 1998).

El jugo de caña también posee constituyentes inorgánicos que se presentan como iones solubles en agua, además de moléculas orgánicas sólidas, complejas y suspendidas que se encuentran en el jugo, pero que en la etapa de clarificación son eliminadas; siendo así, el potasio y sodio los cationes más numerosos, junto con los silicatos, sulfatos y fosfatos que son aniones más representativos, su concentración depende generalmente de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, según la irrigación y la fertilización (Van der Poel *et al.*, 1998).

En un estudio que valoró las cenizas y la cosecha de la caña de azúcar, encontró que gran parte provienen de las hojas de la caña, llegando a determinar que el 81% de las cenizas están constituidas por óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), además de óxidos de calcio ( $\text{CaO}$ ), magnesio ( $\text{MgO}$ ) y potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) principalmente (Guzmán, Gutiérrez, Amigó, Mejía y Delvasto, 2011).

#### **1.2.5. Riego por gravedad.**

El sistema de riego por superficie o también llamado riego por surcos o riego por gravedad, se caracteriza porque el agua llega al frente de los surcos y por gravedad el agua se desplaza al final de los mismos producto de la pendiente; durante este tiempo, la infiltración de una lámina de agua de mayor valor se presenta generalmente en la cabecera del campo (CENICAÑA, 2015)

El riego se usa como una herramienta, no solo para dar capacidad de campo al suelo sino también para fertilizar y lograr los objetivos de producción de alimentos con incrementos en la productividad de los cultivos, propendiendo el buen uso de los recursos como el suelo, agua y el clima (Romo, 2019).

El Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) señala que, disolver el fertilizante en el agua de riego es una técnica de aplicación de abonos a los cultivos (SIAR, 2005). Aunque hablar de fertirriego con la vinaza aún es discutible al no ser un fertilizante per se, aunque cuente con elementos nutritivos que necesitan los cultivos para producir.

La Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego manifiesta que, para el desarrollo de las actividades de riego es fundamental conocer la eficiencia de un sistema de riego, definida como, la relación entre la cantidad de agua que utiliza el

cultivo y la cantidad de agua suministrada, dicha agua es captada de alguna fuente natural y es conducida a través de un canal principal y luego derivada por canales de distribución (DGIAR, 2015).

A la parcela el agua es capaz de llegar a través de un sistema de distribución, que puede ser por tuberías o por una red de canales y acequias donde el agua circula por gravedad. En las acequias, es común el uso de compuertas manuales o automáticos para la distribución y para limitar la velocidad de circulación y caudal conducido por gravedad, hacia una red de distribución cuyos ramales de último orden constituyen la red terciaria; el gasto distribuido es entregado a las tomas en cabeza de los canteros (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, s.f.). En el riego por surcos, se suele recomendar la utilización de mangas regadoras o plásticas, sifones, cajas de distribución o el sistema californiano móvil o fijo para evitar la erosión del suelo, tener un buen control del agua y alcanzar alta eficiencia (AGRICULTURERS, 2017).

En el cultivo de la caña de azúcar, se suele regar por surcos seguidos o continuos, siendo el método que mayor consumo de agua tiene y con una baja eficiencia, debido a que en los cauces de las terciarias previo al ingreso en los surcos, se pierde mucha agua, principalmente como consecuencia de la infiltración en el suelo. En esta modalidad de riego el agua se coloca en todos los surcos, por lo general aplicando caudales entre 3 y 6 L  $\text{seg}^{-1}$  (CENICAÑA, 2015). La eficiencia de aplicación de riego (EA) es la cantidad de agua útil para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación con el total del agua que se aplicó (DGIAR, 2015). Para los principales sistemas de riego la eficiencia de aplicación es la siguiente: aspersión baja presión: 0,75-0,80; pivote: 0,80-0,85; avance frontal: 0,70-0,75; riego localizado: 0,85-0,90; gravedad: 0,45-0,50 (Sánchez Alegría, 2021).

#### **1.2.6. La vinaza, descripción y experiencias de uso.**

Las vinazas son productos resultantes provenientes de la producción de alcohol (Goncalves, Nunes, Pellegrino, Clemente y Josefinae, 2013). Este subproducto es obtenido de la fermentación de melazas, mieles y jugo de caña (España Gamboa, y otros, 2011). En Ecuador para el año 2018, la materia prima utilizada para la producción de alcohol proviene de miel B (88-96%) y jugo o melaza

(4-12%). La composición de las vinazas depende de la variedad y el estado de maduración de la caña a la cosecha, el sustrato, el tipo y la eficiencia de fermentación y destilación (García y Rojas, 2006).

Salgado *et al.*, 2006, citado por Quiroz, I. y Pérez, A. 2013, manifestaron que, el abono orgánico es un compuesto producido con materiales de origen animal o vegetal, el cual tiene como finalidad suministrar nutrientes a las plantas (Quiroz y Pérez, 2013). Este principio ha fundamentado la aplicación de cachaza y de vinaza, que son subproductos o residuos de la agroindustria de la caña, con un gran valor orgánico, como enmienda de ciertos parámetros físicos y químicos de suelos en canteros comerciales. Además, una práctica común en el sistema de producción de la caña de azúcar es aplicar la vinaza en mezcla con una fuente nitrogenada, generalmente urea (Muñoz, 2015).

La vinaza procedente de la melaza, puede aportar hasta con el doble de nutrientes que la vinaza obtenida directamente de jugo de caña, naturalmente estas no contienen un alto valor de P y N, es por eso que se complementan las vinazas con 60 kg ha<sup>-1</sup> de N y la tendencia es a incrementar el nivel de K, Fe y P (Subiros y Molina, 1992), así como el pH (Bautista, Durán de Bazua y Lozano, 2000). Sin embargo, existe un riesgo de aumento de sales que pueden llevar a una contaminación por Zn y Mn en suelos acrisoles y fluvisoles, donde la dosis no es acorde y cuando la vinaza usada ha salido recientemente de la destilería (Bautista *et al.*, 2000).

Hay evidencia muy relevante del uso de la vinaza en agricultura y los trabajos de investigación que se han realizado en múltiples países, especialmente en Brasil, han concluido que la vinaza incrementa la productividad del cultivo de caña de azúcar y que bajo condiciones racionales de manejo puede sustituir parcial o totalmente la fertilización mineral, mostrando que su uso se constituye en una gran ventaja (COPERSUCAR, 1986) y aumenta la concentración de potasio intercambiable en el suelo de forma significativa hasta los 100 cm de profundidad lo que se atribuye a una intensa lixiviación de este elemento en el suelo (Nunes, Leal y Velloso, 1981).

Un proceso significativo en la producción intensiva de los cultivos extensivos

como la caña de azúcar tiende a deprimir la fertilidad del propia del suelo e influye principalmente el contenido de M.O. y por ende en la disponibilidad de N en el suelo (Ribón, Salgado, Palma y Lagunes, 2003). Por su parte, Goncalves, *et al.* (2013), no encontraron afectación en la densidad aparente de suelo a diferentes profundidades y con aplicaciones de 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinaza; pero, hay probabilidad de que las continuas aplicaciones de grandes volúmenes provoquen cambios en algunas propiedades físicas del suelo.

### **1.2.7. Investigaciones previas**

#### **Actualidad de la vinaza en Valdez.**

Según la información de la Unidad de Negocio Agroindustrial del ingenio Valdez, Codana S.A. pasó de producir 18'133 049 litros de alcohol en 2015 (Memorias de Sostenibilidad, 2017) a 34'064 389 litros en 2019 (Memorias de Sostenibilidad, 2019), incrementando el volumen de vinaza, teniendo como referencia que por cada litro de alcohol se pueden llegar a obtener de 10 a 15 L de vinaza (Quinde y Pernía, 2017). Considerando el gran volumen de este residuo, generado por la transformación de la caña en alcohol (Correia, Christofolletti, Marcato, Marinho y Fontanetti, 2017), los ingenios lo han estado utilizando para fertirrigar sus unidades productivas sembradas con caña de azúcar (Muñoz, 2015).

CINCAE, reporta que la vinaza contribuye con 3.59 kg m<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O y es de considerarla como alternativa para sustituir los fertilizantes sintéticos con base potásica, además de incluir otros nutrientes que precisa la caña para producir (CINCAE, 2019). Pero, tiene un potencial elevado de contaminación por sus altas demandas biológicas de oxígeno (6 000 – 25 000 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>) y químicas (15 000 – 65 000 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>) debido al gran contenido de materia orgánica (Salazar, 2018).

En la cuenca baja del río Guayas, los volúmenes aplicados de vinazas son considerados como cautelosos. Los niveles de aplicación se encuentran entre 30 y 120 m<sup>3</sup> por hectárea para evitar mermas en el rendimiento de azúcar, efectos perjudiciales en el suelo y contaminación de aguas.

El CINCAE en el 2017, decidió establecer dos ensayos del uso de vinaza con el agua de riego, uno ubicado en el ingenio Agroazúcar y el segundo en Valdez,

con el objetivo de determinar el efecto que tiene la vinaza sobre la producción y rendimiento de la caña de azúcar, así como su efecto en los cambios químicos y físicos que pueden producirse en los primeros 25 cm de profundidad del suelo. El ensayo en el ingenio Valdez, se estableció en el cantero 004-046, perteneciente a un suelo Fluventic haplustept de textura franco arcilloso y con contenido de 1.65% de M.O. y sembrado con la variedad EC-02, donde se evaluó cinco dosis de vinaza (0, 30, 60, 90 y 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), la cual se aplicó diluida con el agua de riego y los niveles de 60, 90 y 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinaza se fraccionaron en dos, tres y cuatro partes (riegos), respectivamente; a una frecuencia de 25 a 30 días (CINCAE, 2019).

Los resultados en el segundo año de evaluación indican que, no existe un efecto negativo en la productividad de caña de azúcar, considerando los dos tipos de suelo de los ensayos establecidos por CINCAE; además, si se aplica hasta 90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, se alcanzan altas TCH y TAH, como también un alto porcentaje de sacarosa o azúcar de caña (% pol caña Fb.). En el análisis de varianza, se establecieron diferencias estadísticas para TAH y % pol caña Fb., con incrementos de 36 y 16%, respectivamente, comparando el tratamiento de 90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y el testigo (CINCAE, 2020).

Durante el tercer año de evaluación, con la aplicación de vinaza en dos localidades, se observó que este subproducto no muestra ningún efecto negativo sobre la productividad de la caña de azúcar. Aplicaciones de vinaza entre 80 y 90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> resultaron en altos tonelajes de caña y azúcar, así como mayor concentración del % pol caña. Al aplicar una ecuación cuadrática, basados en las dosis crecientes de aplicación de vinaza, se determina una dosis máxima de 82 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para el ingenio Valdez (CINCAE, 2021, pp. 49).

En parámetros de calidad de caña y en la extracción de nutrientes por la planta, se encontró que después de dos años continuos de aplicación de vinaza:

Las concentraciones de K y ceniza en el jugo incrementaron con las dosis crecientes de vinaza; sin embargo, estas diferencias no fueron significativas. El K es el nutriente que más extrae la caña de azúcar, siendo más altas con aplicaciones superiores de 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinaza, extrayendo entre 150 a 200 kg ha<sup>-1</sup> de potasio. Con relación al N, P, Ca y Mg no hay diferencias significativas entre niveles de vinaza aplicados (CINCAE, 2020, pp. 37).

En el suelo, la aplicación consecutiva de vinaza, hizo que el Na intercambiable aumente de 0.75 a 0.89 cmol (+) kg<sup>-1</sup>, a pesar de esto, el porcentaje

de sodio intercambiable (PSI) se mantuvo bajo, declarando que el suelo no presenta problemas de sodicidad. Además, CINCAE (2020) halló que:

Aplicaciones de vinaza sobre los  $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  se deben evitar porque incrementa los valores de Na, K, Ca y Mg, ya que pueden llegar a alterar las condiciones químicas y físicas del suelo. Por ejemplo, concentraciones altas de Na y K promueven la dispersión de las arcillas del suelo, reduciendo el espacio poroso y permeabilidad del suelo. Sin embargo, la conductividad es baja por lo que no hay acumulación de sales (CINCAE, 2020, pp. 38).

Mientras que, en la segunda soca, con tres años de aplicaciones de vinaza, se encontró que:

Las distintas dosis de vinaza aplicadas en el ingenio Valdez disminuyeron la concentración en el suelo de K, Ca y MO, en 18, 8 y 1.2% respectivamente. El Na fue el catión que más se incrementó (110%) pasando de  $0.36$  a  $0.75 \text{ cmol kg}^{-1}$ . Los niveles de Mg se incrementaron 28% sobre el contenido en suelo a la siembra, esto provocó un desbalance del Ca, pasando de 2.2, antes de la aplicación a  $1.6 \text{ cmol kg}^{-1}$ . Esta disminución trae una deficiencia de Ca y consecuentemente produce una baja concentración de K; provocando que la relación de las bases  $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K}$  se incrementen considerablemente hasta 80 en relación al valor inicial de 63 en caña planta, siendo todavía muy alto al valor adecuado que debe ser menor a 40 (CINCAE, 2021, pp. 49).

Finalmente, CINCAE (2021) manifiesta que, la concentración de cationes y su relación en el suelo, es el resultado de la composición química de la vinaza; para lo cual recomienda, caracterizarla químicamente y que se le dé un manejo adecuado en dosis y frecuencias para que no provoque desbalance en el suelo, para lo cual se necesita de continuos monitoreos del suelo y aprovechar las cualidades del subproducto e incrementar la productividad (CINCAE, 2021).

Considerando los hallazgos, se dio continuidad al ensayo en su cuarto año de estudio y cuyos datos sirvieron para la presente tesis de maestría.

### **1.3. Fundamentación legal.**

De acuerdo con la Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria, (LORSA, 2010), en el que indica dentro del contexto de la soberanía alimentaria se expone lo siguiente:

Artículo 3. Deberes del Estado.- Para el ejercicio de la soberanía alimentaria, además de las responsabilidades establecidas en el Art. 281 de la Constitución el Estado, deberá: a) Fomentar la producción sostenible y sustentable de alimentos, reorientando el modelo de desarrollo agroalimentario, que en el enfoque multisectorial de esta ley hace referencia a los recursos alimentarios provenientes de la agricultura, actividad pecuaria, pesca, acuicultura y de la recolección de productos de medios ecológicos naturales.

En referencia a la Constitución de la República del Ecuador que se encuentra vigente desde la fecha de emisión en el año 2008, determina dentro su Artículo 13 lo siguiente sobre la seguridad alimentaria:

Art. 13. Que las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales (Constitución de la República del Ecuador, 2008)

Además, la Constitución de la República del Ecuador (2008), publicada en el Registro Oficial N° 449 del lunes 20 de octubre del 2008; incluye las disposiciones del Estado sobre el tema ambiental.

## Título II: Derechos

Capítulo segundo: Derechos del buen vivir. Sección segunda: ambiente sano

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Título VII: Régimen del buen vivir. Capítulo segundo: Biodiversidad y recursos naturales.

Sección primera: naturaleza y ambiente

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales: El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.

#### Capítulo X A - De los delitos contra el medio ambiente

Art. 437 B. El que infringiera las normas sobre protección ambiental, vertiendo residuos de cualquier naturaleza, por encima de los límites fijados de conformidad con la ley, si tal acción causare o pudiese causar perjuicio o alteraciones a la flora, la fauna, el potencial genético, los recursos hidrobiológicos o la biodiversidad, será reprimido con prisión de uno a tres años, si el hecho no constituyera un delito más severamente reprimido.

La Ley de Prevención y Control de la Contaminación: prohíbe emitir contaminantes que puedan alterar el aire, agua y suelo y afectar la salud humana, la fauna y la flora.

Entre las actividades prohibidas están la quema a cielo abierto de basuras y residuos y descargar aguas residuales que contengan contaminantes.

Igualmente, se indica que se limitará, regulará o prohibirá el empleo de sustancias que puedan causar contaminación como plaguicidas, herbicidas, fertilizantes, desfoliadores y detergentes.

Por su parte, en la reforma del texto de la legislación del medio ambiente y de acuerdo al Decreto Ejecutivo 3516, publicado en el Registro Oficial Suplemento 2, del 2003, describe:

3.9 Calidad ambiental del suelo: Conjunto de características cualitativas y/o cuantitativas que le permiten al suelo funcionar dentro de los límites del ecosistema del cual forma parte y con el que interactúa, y que posibilita su utilización para un propósito específico en una escala amplia de tiempo.

3.10 Caracterización del suelo: Determinación de las características físicas, químicas y biológicas del suelo, que definen su calidad ambiental.

3.13 Conservación del suelo: Uso y manejo óptimo del recurso suelo para mantener un conjunto de características que le posibiliten funcionar dentro de los límites del ecosistema del cual forma parte.

3.14 Contaminante del suelo: Sustancia que, en cualquier estado físico o formas, que al incorporarse o interactuar en el suelo, altere o modifique su composición natural y degrade su calidad ambiental.

3.25 Fertilizante: Producto de origen químico y/u orgánico que sirve

para aportar nutrientes al suelo, a fin de mejorar su productividad.

3.48 Suelo Agrícola: Es la capa superficial de la corteza terrestre que sirve de sostén y alimento para las plantas, animales y el hombre, también se conoce como la actividad primaria, la producción de alimentos, usando los suelos para crecimientos de cultivos y producción de ganado. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora nativa.

3.53 Suelo contaminado: Todo aquel cuyas características físicas, químicas y biológicas naturales, han sido alteradas debido a actividades antropogénicas y representa un riesgo para la salud humana o el ambiente.

#### 4.1 Normas de aplicación general

Para la prevención y control de la contaminación del suelo, se establecen los siguientes criterios:

Utilizar sistemas de agricultura, que no degraden, generen contaminación o desequilibren el ecosistema del área geográfica en que se desenvuelven, esto incluye el uso racional y técnico de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas.

En aquellos suelos que presenten contaminación deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperarlos, restaurarlos o restablecerlos a sus condiciones anteriores.

4.2.4 De la salinización de suelos Las organizaciones públicas y privadas que utilicen o aprovechen aguas salinas o salobres deben adoptar las medidas técnicas necesarias a fin de evitar la salinización y cualquier tipo de contaminación o degradación total o parcial de las características o cualidades físicas, químicas o biológicas de las tierras con aptitud agrícola, pecuaria, forestal o de reserva natural.

#### 4.3 DE LAS ACTIVIDADES QUE DEGRADAN LA CALIDAD DEL SUELO

Las personas naturales o jurídicas públicas o privadas dedicadas a la comercialización, almacenamiento y/o producción de químicos, hidroelectricidad, exploración y explotación hidrocarburífera, minera, florícola, pecuaria, agrícola y otras, tomarán todas las medidas pertinentes a fin de que el uso de su materia prima, insumos y/o descargas provenientes de sus sistemas de producción, comercialización y/o tratamiento, no causen daños físicos, químicos o biológicos a los suelos. (Reforma Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, 2015).

## **CAPÍTULO 2**

### **ASPECTOS METODOLÓGICOS**

#### **2.1. Métodos**

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.

El área del estudio detallado de suelos con fines agrícolas de la Cía. Azucarera Valdez, cubre una superficie total de 14 289.58 ha en la zona baja de la cuenca del río Guayas y está conformada por dos partes geográficamente separadas. La primera, denominada sector Milagro, es la más grande, con una superficie de 13 511.10 ha, comprende los terrenos contiguos a las instalaciones industriales del Ingenio Valdez, inmediatamente al norte de la ciudad de Milagro, entre las coordenadas 9´783 000 y 9´761 500 N; y, 646 000 y 662 000 E. En la parte mayor del área de estudio (sector Milagro), se diferenciaron tres rangos de altitud: bajo (< 5 msnm generalmente inundables); medio (5 a 9 msnm) y alto (> 9 msnm). Las haciendas La Mina y Santa Ana son terrenos altos, sobre la cota 20, por lo tanto, no son inundables, sino excepcionalmente.

##### **2.1.1. Modalidad y tipo de Investigación.**

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.

## **2.2. Variables**

### **2.2.1. Variable independiente**

Dosis de vinazas aplicadas.

### **2.2.2. Variables dependientes**

**Producción de caña (TCH):** La producción de caña se tomó a la cosecha (12 meses de edad aproximadamente), siendo la caña cortada de forma mecanizada con la participación directa del ingenio, registrándose los números de guías de despacho para obtener los pesos en báscula de cada camión que egresó de cada unidad experimental, luego se extrapola el peso a hectárea.

**Rendimiento de azúcar (SAH):** La producción de azúcar por hectárea se determinó en base a la producción de caña (TCH) y el % pol caña Fb. obtenido en el análisis de laboratorio de calidad de caña, de cada unidad experimental. Se expresó en sacos de azúcar por hectárea (SAH).

**Análisis de calidad de caña:** Se realizó un muestreo de precosecha quince días antes del corte de la caña; las muestras tuvieron un total de ocho tallos seguidos, colectados del área útil de cada unidad experimental. Estos tallos se llevaron al laboratorio de química de CINCAE para determinar los parámetros relacionados con la calidad de jugos tales como: % de pol (es la concentración de azúcar) en caña, % de fibra, % brix. Además, se midió en el jugo el contenido de azúcares reductores, K y cenizas conductimétricas.

**Contenido de nutrientes y propiedades físicas del suelo:** Al inicio del ensayo, de cada unidad experimental se tomó una muestra compuesta por 10 submuestras de suelos de 0-25 cm de profundidad (parte intermedia lateral de la

línea de cultivo). En el análisis de suelo se cuantificaron los contenidos de macronutrientes (P, K, Ca, Mg, S) y micro nutrientes (Zn, Cu, Mn, Fe, B); además, se determinó pH, materia orgánica (M.O.), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la conductividad eléctrica (C.E). Después de la cosecha, el muestreo se realizó a los siete días postcorte y se cuantificó los nutrientes en un análisis completo para determinar diferencias.

Dentro de los parámetros físicos del suelo en estudio, al inicio del ensayo en 2017 y al final de tercera soca en 2021, en las mismas parcelas (dos parcelas por tratamiento) se determinó en laboratorio la densidad aparente por el método del cilindro y la textura; la estructura de suelo, se evaluó de manera visual y al tacto.

El conjunto de información sobre los parámetros físicos y químicos de los suelos se comparó directamente dentro del tratamiento, determinándose la variación, aportes nutricionales o desbalances por el uso de dosis de vinaza.

**Extracción de nutrientes:** Previo a la cosecha se determinó la extracción del cultivo en kilogramos por hectárea y por tonelada de caña cosechada para los macronutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$  y  $\text{kg TC}^{-1}$ ) y para los micronutrientes se expresó en gramos por hectárea y por tonelada de caña cosechada ( $\text{g ha}^{-1}$  y  $\text{g TC}^{-1}$ ) considerando las partes aéreas de la caña (tallos, hojas y cogollos). Todos los cálculos se hicieron en base a materia seca (Berstch, 2003). Esta variable se midió tomando tres plantas, de las cuales se separó los tallos (incluido cogollo) y las hojas; de este material se obtuvo dos submuestras, la primera se secó en una estufa a  $60^{\circ}\text{C}$  hasta peso constante para determinar el contenido de nutrientes, y la segunda se secó a  $105^{\circ}\text{C}$  para determinar materia seca. Las muestras se analizaron por tratamiento (juntando las repeticiones).

**223. Operacionalización de las variables:** Matriz de operacionalización de las variables.

VARIABLE		DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO DE MEDICIÓN	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
DEPENDIENTE	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
	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.
DEPENDIENTE	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.

### **2.3. Población y muestra.**

**2.3.1. 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 m<sup>2</sup> (6 surcos a 1.6 m y 104.2 m de largo). En el Anexo 1, se aprecia el croquis de campo, con las parcelas consideradas en las distintas evaluaciones planteadas.

**2.3.2. 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.

### **2.4. Técnicas de recolección de datos.**

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

**2.4.1. Producción de caña:** A la cosecha, se supervisó el corte mecanizado de cada unidad experimental, recibiendo las guías de despacho físicas y electrónicas (Anexo 2) con las cuales, en báscula de fábrica se obtuvo el peso en kilogramos netos de caña que correspondió a cada camión. Con este dato y empleando el área cosechada en m<sup>2</sup> se procedió al cálculo del tonelaje de caña en la parcela y se extrapola a hectárea para obtener la expresión toneladas de caña por hectárea (TCH) para luego organizarlos por tratamiento y teniendo un área evaluada representativa para la variable (Calvo, 2019).

**2.4.2. Rendimiento de azúcar:** Conjuntamente con los datos de producción de

caña en toneladas (TCH) registrados en campo y el valor de sacarosa (% pol caña Fb.) del análisis de calidad de los jugos (Anexo 3), realizado en laboratorio CINCAE, se procede a calcular por multiplicación el rendimiento en toneladas de azúcar por hectárea (TAH) (Palma, Calero y Cortes, 2009), el cual se traduce a rendimiento azucarero en sacos de azúcar de 50 kg por hectárea (SAH) si el valor de TAH se multiplica por 20.

**2.4.3. Calidad de caña:** Para la evaluación de caña, se muestrearon ocho tallos seguidos de cada parcela experimental, cortados desde la base del tallo incluyendo el cogollo y llevándolos sin hojas para el análisis de calidad de caña, donde se muele los tallos mecánicamente con una picadora de cuchillas de acero, siendo luego este bagazo de caña prensado hidráulicamente extrayendo jugo y fibra. El jugo se procesa y clarifica para determinar los porcentajes de pureza, brix en jugo y sacarosa (% pol), este último es el que provee la estimación del rendimiento azucarero; mientras que, la fibra se pesa y se seca en estufa, para determinar la humedad. Se usan equipos como el refractómetro para determinar los sólidos solubles en medio líquido y el polarímetro cuya luz polarizada determina el % pol (sacarosa aparente) en el jugo de caña (CENICAÑA, 2015). Además, se analizó los porcentajes de azúcares reductores (AR caña), cenizas conductimétricas y K en jugo.

**2.4.4. Contenidos de nutrientes y propiedades físicas de suelo:** Para determinar la fertilidad química del suelo, las muestras fueron tomadas a una profundidad de 0 a 25 centímetros (cm) con un barreno tipo tubo hueco, etiquetado e inmediatamente llevado al laboratorio Químico de CINCAE para su análisis. Cada muestra estuvo compuesta por diez submuestras, tomadas al costado de la línea de cultivo a unos 15 cm de la base de la cepa. Se evitó la toma de ceniza, hojarasca o cualquier residuo de cosecha, además de espacios sin cepas de caña.

Químicamente el suelo se analizó por las diferentes metodologías de laboratorio como son: Materia Orgánica (M.O.) por digestión húmeda (Walkley-Black) y determinación en espectroscopía Uv/Vis por colorimetría; pH y C.E. por determinación del método potenciométrico y conductímetro, respectivamente y con relación suelo-agua de 1:2,5. Fósforo por extracción usando Olsen modificado y determinación en espectroscopía Uv/Vis por colorimetría. Na, K, Ca y Mg por

extracción con acetato de amonio, 1N, pH 7 y determinación por espectroscopía de Absorción Atómica. Los cationes asimilables (K, Ca, Mg) y micronutrientes (Zn, Cu, Fe, Mn) por extracción con Olsen Modificado y determinados por espectroscopía de Absorción Atómica (McKean, 1993) (Azcárate, y otros, 2017). Conociendo las concentraciones de los parámetros, se comparó entre el análisis inicial y final para determinar diferencias de un periodo a otro.

Para las propiedades físicas de suelo, las variables consideradas fueron densidad aparente por el método del cilindro, la estructura visual y al tacto; y, la textura de suelos por la metodología del densímetro Bouyoucos, siendo determinada en la muestra compuesta para análisis químico antes mencionada.

La densidad aparente se tomó por el método del cilindro a una profundidad de 7 cm de la superficie, cavando al costado de la línea de la caña a 15 cm de la cepa; la muestra se secó a 105 °C hasta peso constante para determinar la densidad por el peso de suelo seco y el volumen del cilindro (Agostini, Monterubbianesi, Studdert y Maurette, 2014).

La estructura se determinó por tacto y observando la forma y la clase de los agregados o terrones (Andrades, Moliner y Masaguer, 2015); Pérez J., utilizó la metodología de la USDA (1999), la cual consiste en visualizar la muestra de suelo in situ y reconocer el tipo de estructura determinándola como granulares y migajosas, bloques o bloques sub-angulares, prismáticas y columnares; y, la estructura laminar (Pérez J. , 2018).

Tanto para la química y física de suelos, la comparación se realizó considerando como primera muestra a aquellas tomadas después de la siembra de la caña de azúcar, antes del primer riego y fertilización, versus la muestra posterior a la cosecha de tercera soca, realizado 7 días después del corte.

**2.4.5. Extracción de nutrientes:** Para esta variable se consideraron tres repeticiones por cada tratamiento. La toma de muestras fue realizada en conjunto con el muestreo de calidad de caña; la muestra se obtuvo cortando tres tallos al azar y recolectando las hojas de esos tres tallos para análisis químico de tejido vegetal y cuantificar los nutrientes extraídos a la cosecha. De los tallos y hojas se extrajo dos submuestras una para determinar humedad (secada a 105 °C) y otra

para determinar nutrientes (secada a 65 °C), luego contando con el peso fresco de los tres tallos y el conjunto de hojas, más el peso fresco y seco de las submuestras y los nutrientes en hojas y tallos determinados en laboratorio, se calculó cada elemento en kilogramos para los macronutrientes y en gramos para los micronutrientes. La extrapolación del contenido de nutrientes se muestra en hectárea (ha) y por tonelaje de caña (TC)

Como datos adicionales e informativos del estudio, se midió la eficiencia del riego por gravedad en las unidades experimentales, es decir la eficiencia de aplicación en el surco; y, además se analizó químicamente la vinaza, para hacer una caracterización de la misma.

**2.4.6. Eficiencia de riego:** La eficiencia de riego está compuesta por la eficiencia de conducción (Efc) en el canal principal, eficiencia de distribución (Efd) en los canales laterales y la eficiencia de aplicación (Efa) a nivel de parcela, el producto de estas tres eficiencias determina la eficiencia de riego de un sistema (DGIAR, 2015).

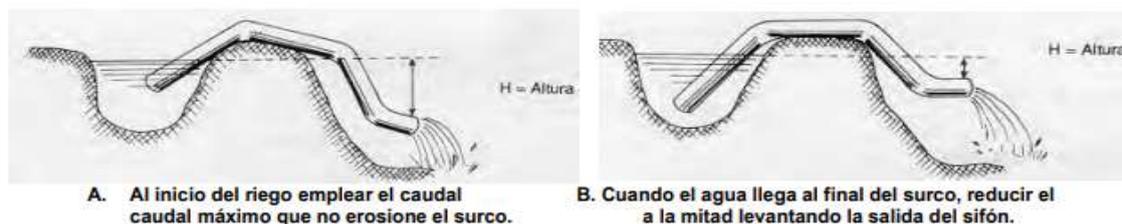
Para la eficiencia de aplicación del sistema de riego por gravedad, se debe considerar las pérdidas, como son la percolación y evaporación, además conocer el caudal aplicado neto y estimar el agua aprovechable por el cultivo basados en la profundidad radicular y la textura de suelo.

Generalmente la eficiencia se mide en porcentaje o litros de agua útil en el suelo por cada 100 litros aplicados y su valor se ve afectado por la superficie de la parcela, generando una relación de proporcionalidad. La metodología para medir la eficiencia de aplicación (EA) en el ensayo, fue la evaluación del riego por surco sin salida al final, con base en las condiciones semejantes de riego del ingenio Valdez, se consideró el área de cada surco, el caudal de ingreso con el sifón, la infiltración acumulada, el avance, el receso y la humedad agotada por el cultivo, que generaron modelos de regresión matemática y a su vez con su uso se obtuvo las láminas y patrones de infiltración, finalmente se determinó la uniformidad de distribución del agua en el surco y la eficiencia de aplicación del riego en el surco (Gavilánez, 2019)

En el ingenio Valdez el riego es por gravedad y en surcos, en los cuales la entrada del agua se realiza por sifones y generalmente no se abren los tapes con

suelo al drenaje, ya que el agua al alcanzar el final, es el indicativo de retirar el sifón de ese surco.

**Figura 1. Riego por gravedad con entrada del agua por sifones plásticos**



Fuente: Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego (DGIAR), 2015.

**2.4.7. Caracterización química de la vinaza:** Se tomó muestras de vinaza desde 2017 en caña planta, hasta el periodo de tercera soca (2020 – 2021). Las muestras se llevaron en envases limpios, cerrados y llenos al laboratorio de CINCAE, para su análisis químico y fueron tomadas en volúmenes de 2 a 3 litros en la válvula de descarga del cantero antes de mezclarse con el agua de riego, para realizar una comparación entre las mismas en los diferentes periodos de evaluación, de tal manera se generó una caracterización de la vinaza por sus contenidos elementales (Tabla 1 y Anexo 4).

**Tabla N°1. Concentraciones químicas de la vinaza pura, aplicada en los riegos de caña planta y tercera soca. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez.**

Parámetro	Vinaza en caña planta	Vinaza en tercera soca
pH	4.65	7.35
C.E. (us/cm)	11640	12780
M.O. (%)	1.20	1.30
C (%)	0.70	0.76
C/N	18.70	14.76
N (%)	0.04	0.05
P (%)	0.004	0.007
K (%)	0.33	0.33
Ca (%)	0.09	0.07
Mg (%)	0.03	0.03
Na (ppm)	130.0	138.0
Zn (ppm)	ND	0.82
Cu (ppm)	0.13	0.19
Fe (ppm)	26.79	126.30
Mn (ppm)	1.30	2.12

ND = No detectable.

Elaborado por: Suárez, 2021

Anualmente, se realizaron muestreos de la vinaza aplicada en los tratamientos propuestos, considerando a la vinaza de caña planta y de tercera soca, para su caracterización química, basada en los análisis de laboratorio, ya que, en las socas intermedias, la variación de las concentraciones elementales de la vinaza fue mínima. La tabla 1 muestra los parámetros de pH, C.E., M.O., C, relación C/N, N, P, K, Ca, Mg, Na y micronutrientes (Zn, Cu, Mn, Fe).

Comparando los valores presentados en la tabla 1, se estableció que el pH de la vinaza en 2017 fue ácido y ligeramente alcalino en 2021, propio del manejo ambiental con carbonatos e hidróxidos que últimamente se ha aplicado para evitar malos olores. El carbono y propiamente la materia orgánica son similares en ambos periodos, la relación C/N se afecta por la concentración de N; el P en la vinaza es muy bajo y los aportes fueron centesimales para el Ca y Mg. Los micronutrientes, mostraron aumentos en su concentración especialmente de Fe, entre la vinaza usada inicialmente y la de tercera soca. Finalmente, la concentración de K fue igual en los periodos comparados y correspondió al valor más alto de los nutrientes con los que aporta la vinaza; mientras que, el Na tuvo semejanza entre los dos periodos considerados y es el elemento de mayor cuidado, debido a que puede afectar las propiedades físicas y químicas de los suelos irrigados con vinaza.

## 2.5. Estadística descriptiva e inferencial.

En la caracterización de la vinaza y propiedades físico-químicas de suelo se utilizó descriptores estadísticos de estimación puntual (medias) y de intervalo. En el caso de las variables dependientes, se aplicó el análisis de varianza para detectar diferencias significativas entre los tratamientos, junto con el test de Tukey para la comparación de medias. Estos análisis se realizaron al 5% de error tipo I ( $p < 0.05$ ), utilizando el software estadístico Infostat (2018). El modelo de análisis de varianza, según el diseño experimental planteado, se detalla en la tabla a continuación.

**Tabla N°2. Análisis de la Varianza**

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>
Total (tr-1)	29
Tratamientos (t-1)	4
Error t(r-1)	<b>25</b>

Elaborado por: Suárez, 2021

## **2.6. Diseño experimental.**

Para llevar a cabo este ensayo se utilizó un diseño de comparación de grupos no aleatorizados, en donde las variables de producción y rendimiento se sometieron a análisis estadístico en DCA dado el perfil cuasi-experimental del ensayo; y, las propiedades físico-químicas de suelo se evaluaron midiendo el antes y después al tener un carácter longitudinal.

Las unidades experimentales en donde se aplicaron los tratamientos de dosis de vinaza, tuvieron seis surcos de ancho separados entre ellos a 1.6 m y un largo de surco de 102.6 a 105.8 m, es decir cada parcela tuvo entre 984.96 m<sup>2</sup> a 1015.68 m<sup>2</sup>. Por manejo del riego y cosecha mecanizada comercial del cantero donde se ubicó el ensayo, se realizaron bloques de aplicación de vinaza que contaron con 54 surcos cada uno y dentro de ellos se ubican nueve franjas de seis surcos cada uno de las cuales se seleccionaron seis, convirtiéndolas en unidades experimentales, dentro de las cuales se tomaron las muestras para evaluar las variables de calidad de caña y extracción de nutrientes.

### **2.6.1. Tratamientos.**

Los tratamientos que se establecieron en la investigación fueron 5, conformados por un testigo sin aplicación de vinaza (0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), únicamente irrigado con agua; y, cuatro dosis de vinazas (30, 60, 90 y 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) diluidas en el agua de riego, con seis repeticiones, para un total de 30 observaciones experimentales (Anexo 1).

Desde la cosecha de segunda soca el 29 de octubre del 2020, se hicieron los riegos correspondientes, tratando de ajustar en algo más de dos meses los 4 riegos para alcanzar a aplicar los tratamientos antes de la época lluviosa, por lo cual se consideró la disponibilidad de la bomba y tener una frecuencia entre los 20 a 25 días.

En el primer riego poscosecha, se lo realizó únicamente con agua en el tratamiento 0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinaza (testigo) se tomó el tiempo en el que se riega toda la superficie del tratamiento para aforar una aplicación de vinaza de 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en el área del segundo tratamiento y para el restante de tratamientos, en el segundo

riego, el testigo y el tratamiento de 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> solo se irrigó con agua sin mezclar con vinaza, y se registró el tiempo para aforar una nueva dosis de 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y completar el tercer tratamiento de 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y aplicarse a los demás tratamientos aun incompletos; en el tercer riego y cuarto riego se realiza la misma actividad, en los que ya han completado su dosis solo se regó con agua y se contabilizó el tiempo de riego para ajustar el aforo de vinaza en la válvula de descarga y aplicar a los tratamientos faltantes.

**Cuadro N°1. Detalle de los tratamientos aplicados.**

Tratamiento	Dosis	Días de aplicación	Fechas de riego				Observaciones
Testigo	0	1	3/11/2020	*	*	*	Solo agua de riego
30 m <sup>3</sup> de Vinaza	30 m <sup>3</sup> de Vinaza	1	3/11/2020	*	*	*	Vinaza diluida en agua de riego
60 m <sup>3</sup> de Vinaza	30 m <sup>3</sup> de Vinaza	1 y 20	3/11/2020	23/11/2020	*	*	Vinaza diluida en agua de riego
90 m <sup>3</sup> de Vinaza	30 m <sup>3</sup> de Vinaza	1, 20 y 45	3/11/2020	23/11/2020	18/12/2020	*	Vinaza diluida en agua de riego
120 m <sup>3</sup> de Vinaza	30 m <sup>3</sup> de Vinaza	1, 20, 45 y 65	3/11/2020	23/11/2020	18/12/2020	7/1/2021	Vinaza diluida en agua de riego

Elaborado por: Suárez, 2021

## 2.7. Cronograma de actividades.

**Cuadro N°2. Detalle de las actividades realizadas en el ciclo de la caña de azúcar y del trabajo de titulación.**

Actividades	2020			2021												
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Cosecha de Segunda soca																
Muestreo de suelos																
Aplicación de Tratamientos																
Fertilización nitrogenada																
Manejo del cultivo																
Deshierbas																
Registro de Datos																
Extracción de nutrientes																
Análisis porcentual de caña																
Cosecha																
Muestreo de suelos desp. Cosecha																
Tabulación de datos y análisis estadísticos																
Elaboración de Tesis	2021									2022						
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Determinación de tema																
Elaboración de anteproyecto																
Designación de tutor de tesis																
Elaboración de proyecto de titulación																
Revisiones																
Entrega de Tesis Fin de Master																

Elaborado por: Suárez, 2021

## RESULTADOS

### 1. 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 ( $0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) y el tratamiento con  $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinaza que obtuvieron menor producción de caña, de las dosis de 60 a  $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  que alcanzaron los mayores TCH, pudiéndose notar una diferencia de 16 TCH entre el testigo y el tratamiento de  $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinaza que numéricamente destaca por su media general en tercera soca, como se aprecia en la tabla a continuación.

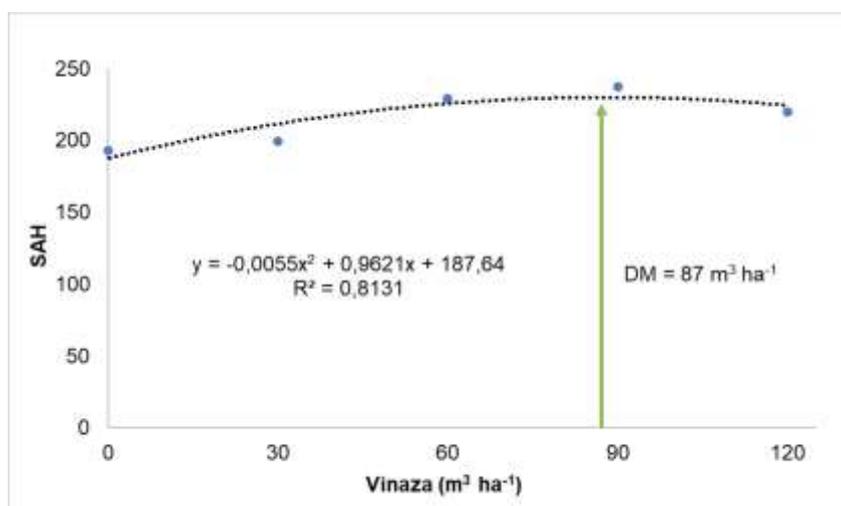
**Tabla N°3. Producción de caña (TCH), concentración de sacarosa a la cosecha (% pol caña) y rendimiento azucarero en sacos de azúcar por hectárea (SAH) de cinco dosis de vinaza aplicadas en el riego, en tercera soca. Variedad EC-02, cantero 004-046 del Ingenio Valdez.**

Tratamiento (Vinaza $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ )	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

Elaborado por: Suárez, 2022

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 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> 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 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinaza en el riego, se supera a los tratamientos de 60, 120, 30 y 0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> 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 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> 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.



**Gráfico N°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. Elaborado por: Suárez, 2022**

## **2. 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 4).

**Tabla N°4. 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 <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	% 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

Elaborado por: Suárez, 2022

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 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> el que mostró las concentraciones más altas, denotándose una relación directa entre los contenidos de cenizas y de K en el jugo.

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

En el 2017, 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 5).

**Tabla N°5. Cuantificación de nutrientes, materia orgánica (M.O.), pH y conductividad eléctrica (C.E.) del suelo, en caña planta (2017) antes de la aplicación de la vinaza con el riego. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez.**

Tratamiento (Vinaza m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Acetato de amonio 1N (cmol kg <sup>-1</sup> )				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

Elaborado por: Suárez, 2022

En el 2021, 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 N°6. Cuantificación de nutrientes, materia orgánica (M.O.), pH y conductividad eléctrica (C.E.) del suelo, 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 <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Acetato de amonio 1N (cmol kg <sup>-1</sup> )				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

Elaborado por: Suárez, 2022

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 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinaza, superaron en más de 150% su contenido. Los aumentos de K, tuvieron una relación directa con el volumen de vinaza añadido, alcanzando 56% adicional con el tratamiento de 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinaza, cuya concentración pasó de 0.54 cmol kg<sup>-1</sup> a 0.84 cmol kg<sup>-1</sup>; la media general de K en el suelo fue de 0.53 cmol kg<sup>-1</sup> al inicio del ensayo (2017) y de 0.69 cmol kg<sup>-1</sup> en el último año de evaluación (2021), lo que podría atribuirse a aportes por la aplicación de vinaza.

**Tabla N°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 <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Porcentaje de cambio (%)											C.E. (uS/cm)
	Na	K	Ca	Mg	P	Zn	Cu	Mn	Fe	M.O	pH	
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

Elaborado por: Suárez, 2022

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.

Dentro de los micronutrientes únicamente el Mn presentó un incremento en suelos especialmente en el testigo y en las dosis por debajo de 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

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 8.

**Tabla N°8. Propiedades físicas de suelo antes y después de cuatro años consecutivos de aplicación de cinco dosis de vinaza con el riego. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez.**

Tratamiento (Vinaza m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Densidad aparente inicial (g cm <sup>-3</sup> )	Densidad aparente final (g cm <sup>-3</sup> )	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	Arcilloso
60	1,34	1,36			Arcilloso	Arcilloso
90	1,36	1,37			Arcilloso	Arcilloso
120	1,33	1,35			Arcilloso	Arcilloso

**Elaborado por: Suárez, 2022**

La densidad aparente en promedio general del ensayo fue de 1.36 g cm<sup>-3</sup> 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<sup>-3</sup> mientras que, los aplicados con vinaza indistintamente de las dosis, tuvieron una mayor densidad con diferencia de 0.01 y 0.02 g cm<sup>-3</sup>.

La estructura medida visualmente y al tacto presentó características iguales en el primer horizonte de suelo comparando los dos momentos evaluados, la presencia de bloques 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 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> 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.

#### 4. 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 N°9. 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 <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Macronutrientes (kg TC <sup>-1</sup> )					Micronutrientes (g TC <sup>-1</sup> )			
	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

Elaborado por: Suárez, 2022

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<sup>-1</sup> de K a la cosecha con las dosis superiores a 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> 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.

#### 5. 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 (L<sub>ta</sub>) 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<sup>-1</sup> y sin salida al final del mismo.

Conociendo la lámina total de almacenamiento de 155, 9 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<sup>-3</sup> 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 por 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 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> 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% m/m Brix, los cuales fueron considerados adecuados al ser menores a los encontrados 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 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> 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 rédox, 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 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> 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 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, 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 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> 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 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Con respecto al aumento de Na, fue mayor con las dosis de 30 y 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> aminorando ese incremento en las dosis de 90 y 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, 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 (meg/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 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> 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  $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  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 (Camargo *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  $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  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  $1\ 200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  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<sup>-1</sup> de K con dosis de 60 a 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinaza y prácticamente 1.0 kg TC<sup>-1</sup> de N, extracción semejante de 0.97 y 2.27 kg TC<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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 la 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 Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES:

La aplicación de  $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinaza con el agua de riego incrementó la producción de caña (TCH) en 22%, comparado al tratamiento sin uso de vinaza, en tercera soca.

La dosis máxima (DM) de vinaza por regresión cuadrática fue de  $87 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ; dosis que obtiene el mayor rendimiento azucarero de 229.7 sacos de azúcar por hectárea (SAH), lo que se traduce en 11.5 toneladas de azúcar por hectárea (TAH).

El contenido promedio de cenizas conductimétricas totales de los tratamientos con vinaza fue de 1.86% con relación a los °Brix del jugo, valor considerado como bajo y que no ocasionaría problemas en el proceso de fabricación del azúcar.

El uso de vinaza con el riego, tuvo una relación directa con el aumento de K en suelo, siendo la media general inicial en 2017 de  $0.53 \text{ cmol kg}^{-1}$  y alcanzando los  $0.69 \text{ cmol kg}^{-1}$  después de cuatro años de aplicaciones, inclusive aplicando  $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinaza, se incrementó 56% la concentración de K en suelo.

Con cuatro años seguidos de aplicaciones de vinaza con el riego, las concentraciones de Na en suelo aumentaron en más del doble, mostrando que las dosis de 30 y  $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  es donde más se incrementó la concentración, pero sin llegar a porcentajes de sodio intercambiable (PSI) problemáticos.

Las propiedades físicas de densidad aparente y estructura del suelo no presentaron cambios tras cuatro años de aplicación de vinaza; en laboratorio, se detectó mayor contenido de arcilla para la textura de las dosis de 30 y  $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , lo cual se puede atribuir a su dispersión, provocada por los niveles aumentados de Na en los primeros 25 cm de profundidad.

La extracción de K por la caña de azúcar a la cosecha, fue de  $2 \text{ kg TC}^{-1}$  en las dosis superiores a  $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ; e indistintamente de las dosis de vinaza, se extrajo  $1 \text{ kg TC}^{-1}$  de N, indicando que en dichas dosis se alcanzaría la nutrición óptima del

cultivo pues se consigue los mayores TCH y SAH, en tercera soca.

La eficiencia de aplicación (EA) en el primer riego poscosecha, por gravedad, sifoneado y en surcos sin salida al drenaje (tape) fue de 97.8%, con pérdidas por percolación de 2.2% y una uniformidad de distribución (UD) en la parcela de 52.7%, con lo cual se asevera que la cantidad de vinaza aplicada en la práctica, fue un valor real de su uso en las condiciones ensayadas.

### **RECOMENDACIONES:**

En Valdez, no sobrepasar aplicaciones de  $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  de vinaza diluida con el agua de riego en suelo Inceptisol de textura franco a arcillosa.

Monitorear los incrementos de K intercambiable del suelo al elevar las dosis de aplicación de vinaza en el riego, para analizar los posibles desbalances de las bases en el suelo.

Cuantificar el Na en el complejo de cambio del suelo y detectar aumentos del PSI para decidir sobre periodos de reposo de aplicaciones de vinaza.

Analizar la lixiviación de los cationes intercambiables en los horizontes más profundos para comprobar la efectividad de la vinaza como enmienda; además, monitorear el pH y la C.E. del suelo debido a los cambios presentados después de años sucesivos de aplicación de vinaza con el agua de riego.

Medir la EA del riego por gravedad aplicado con sifones y en surcos con y sin salida al drenaje en los siguientes riegos poscosecha, considerando la escarificación y demás labores culturales.

Continuar con las experimentaciones del uso de dosis de vinaza pura o con el agua de riego para determinar cambios sobre las propiedades físicas del suelo.

Caracterizar químicamente la vinaza usada como en la presente investigación, la cual fue considerada como un fluido ácido con alta concentración de K, elevada C.E., con contenidos mínimos de P, Ca y Mg; Na superior a 100 ppm y presencia variable de micronutrientes especialmente Zn y Fe.

## 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](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](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](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\\_Nr](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/68416/CONICET_Digital_Nr)

- o.dce6dd46-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](http://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](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-calcularlo/>
- 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](http://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\\_seriados/libro\\_el\\_cultivo\\_cana/libro\\_p3-394.pdf](http://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seriados/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/DqDQYGzVaebhGHFZdcowQnQdzEwHspVj>
- Christofoletti, 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 N°2. 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](http://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](http://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](http://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](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/c8h0vm0000ad5gkeat/t/gt\\_01.pdf](https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gkeat/t/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](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 nutrimentales 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](http://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](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 hidrotérmica 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](http://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.I.], v 60, n. 1:  
[http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/21155](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](http://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](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., & Justi, 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](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 puzolánicade 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%20construcci%C3%B3n%2061%20%282011%29%20213-225.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- INIVIT. (2017). *Instituto de Investigaciones de Viandas 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](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). *Codigestión 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](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-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\\_analisis\\_de\\_suelos\\_y\\_tejido\\_vegetal\\_Una\\_guadalupeana\\_tecnica\\_y\\_practica\\_de\\_metodologia.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_de_analisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_guadalupeana_tecnica_y_practica_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](https://issuu.com/fundacionnobis/docs/memoria_sostenibilidad_agroindustri)
- Memorias de Sostenibilidad. (2019). *Unidad de Negocio Agroindustrial*. Obtenido de <https://www.azucaravaldez.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](http://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](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](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. Cengicana. 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>

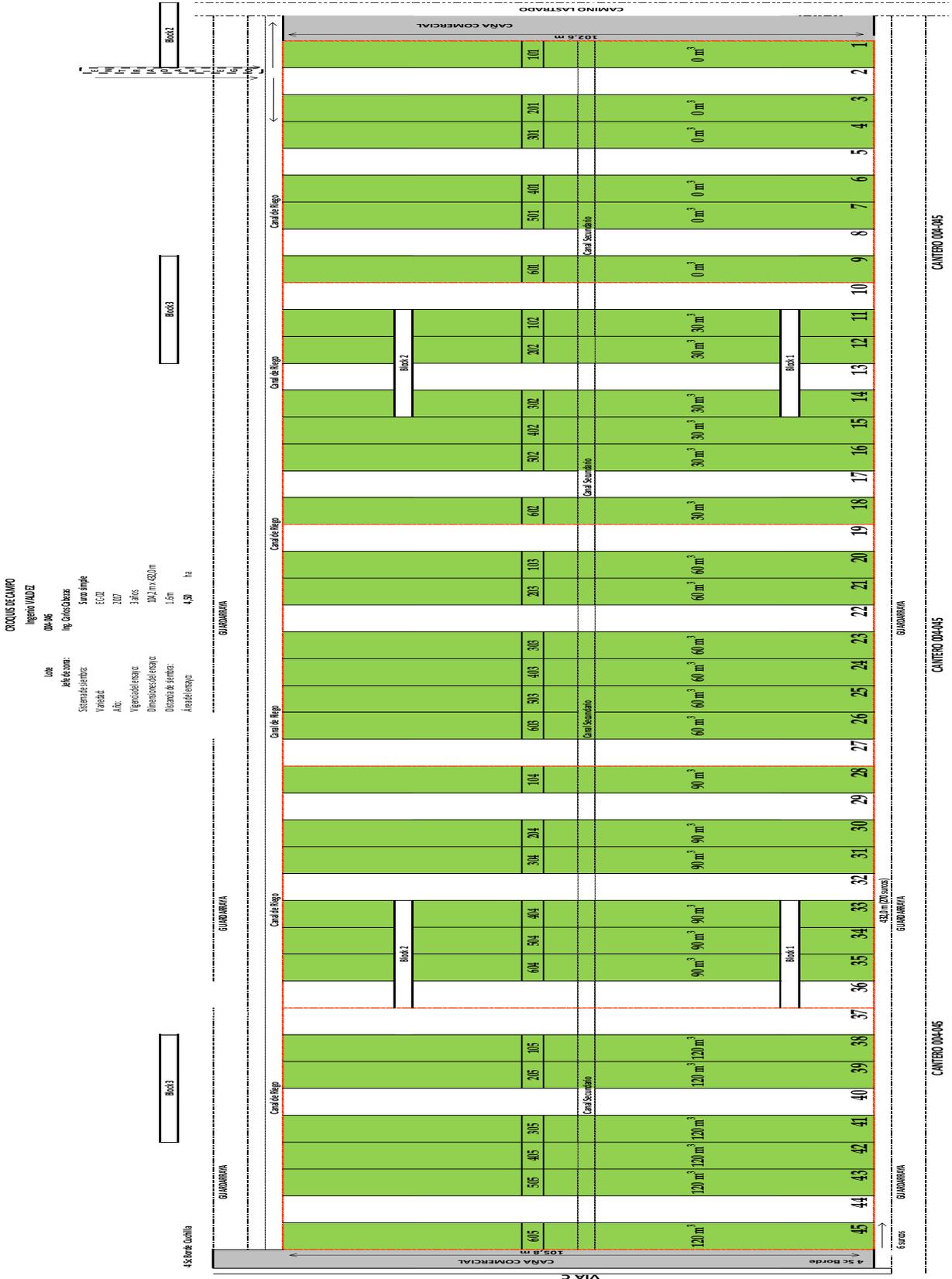
- Quinde, W., & Pernía, B. (2017). *Efecto de la vinaza de caña de azúcar sobre la sobrevivencia y crecimiento de Litopenaeus vannamei (Boone, 1931) y prevalencia de Vibrio parahaemolyticus*. Obtenido de Universidad de Guayaquil. Guayaquil – Ecuador. Pp. 2:  
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/49086>
- 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](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., & Zorro, 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](http://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](http://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 seco.* Obtenido de Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. IPNI: <http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/beagle?OpenAgent&d=D9C14188463787C503258312007345E2&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 dispersión and hydraulic conductivity of sodic soils.* Obtenido de Soil Sci. Soc. Am. J. 45, 287-291: <https://acsess.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/YSZnrzRVh39DRYz4KmpWSFg/?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/vxTJ6yw3YP7bsCx7qC3Qcdj/?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*

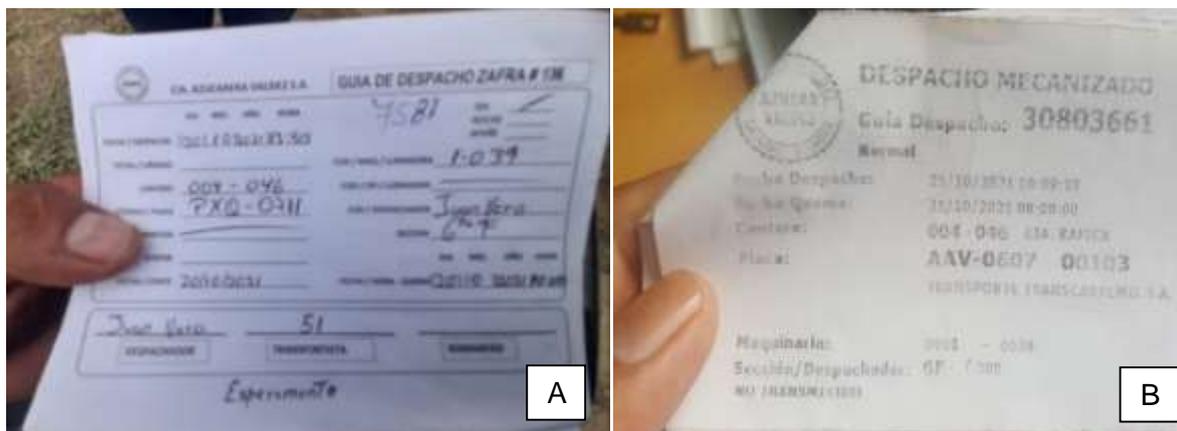
- Levantamiento de suelos del Ingenio San Carlos. p. 5-130. Marcelino Maridueña.*
- Subiros, J., & Molina, E. (1992). *Efecto de la aplicación de vinazas en la producción de caña de azúcar y en las características químicas de un Inceptisol de Guanacaste, Costa Rica.* Obtenido de Agron. Costarric. 16(1):55 - 60: [www.mag.go.cr/rev\\_agr/v16n01\\_055.pdf](http://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/revistatecnica/docs/tec\\_no28\\_2012](https://issuu.com/revistatecnica/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., & Folegatti, 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/HXR7PRsyhnR9RLCShRRyGrJ/?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](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1851-30182010000100003)

# ANEXOS

Anexo 1. Croquis del ensayo sobre el efecto de la vinaza en el rendimiento azucarero y calidad de caña de azúcar, aplicada con el riego. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez. Milagro.



**Anexo 2. Guías de despachos físicas (A) y electrónicas (B) receiptadas del ensayo de dosis de vinaza aplicada en el agua de riego sobre la productividad de caña de azúcar en tercera soca al momento de la cosecha. Variedad EC-02, cantero 004-046 del Ingenio Valdez. Milagro**



**Anexo 3. Reporte de análisis de calidad de caña del ensayo de dosis de vinaza aplicada en el agua de riego en la productividad de caña de azúcar en tercera soca a los 12 meses. Variedad EC-02, cantero 004-046 del Ingenio Valdez. Milagro**



CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DEL ECUADOR  
 LABORATORIO DE QUÍMICA  
 Reporte de análisis de CALIDAD DE CAÑA  
 Método de la Prensa

Área: SUELOS Y FERTILIZANTES

Fecha recepción muestra: 13-oct-21  
 Fecha entrega de resultados: 24-nov-21

REPORTE | 18

Identificación de la muestra: Respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones de vinaza y potasio en caña planta y socas en suelos representativos. Variedad EC-02, S<sub>3</sub>.

Nº	Ident. Muestra	PBH	PBS	Brix jugo	Pol jugo	Pureza	Fibra Caña	Pol caña	Brix caña	Humedad caña	Pol caña Fb.	KAzTC Fb.	AR Jugo	AR caña	Cenizas conduc.	K
1180	1	144,86	81,47	21,02	19,62	93,34	12,92	16,35	18,30	68,78	13,08	130,81	0,58	0,48	0,39	0,14
1181	2	144,78	87,03	21,93	20,70	94,39	14,16	16,88	18,82	67,01	13,50	135,02	0,38	0,31	0,28	0,07
1182	3	150,54	87,10	21,15	19,76	93,43	14,02	16,15	18,19	67,80	12,92	129,22	0,74	0,60	0,27	0,09
1183	4	151,41	87,43	22,83	21,10	92,42	13,70	17,34	19,70	66,60	13,88	138,76	0,57	0,47	0,28	0,07
1184	5	148,20	86,06	21,72	20,23	93,14	13,76	16,61	18,73	67,51	13,29	132,89	0,66	0,54	0,31	0,09
1185	6	157,14	90,22	21,90	20,49	93,56	14,29	16,67	18,77	66,94	13,33	133,35	0,50	0,41	0,32	0,09
1186	7	149,36	87,84	21,85	20,36	93,18	14,13	16,61	18,76	67,11	13,29	132,88	0,53	0,43	0,36	0,12
1187	8	147,06	87,88	21,73	20,55	94,57	14,29	16,72	18,62	67,09	13,37	133,74	0,57	0,46	0,28	0,09
1188	9	150,87	85,72	20,86	19,38	92,91	13,71	15,93	18,00	68,29	12,74	127,43	0,63	0,52	0,34	0,10
1189	10	131,68	76,79	21,38	19,80	92,61	12,37	16,66	18,73	68,89	13,33	133,27	0,47	0,40	0,47	0,17
1190	11	142,55	80,84	21,33	19,68	92,26	12,82	16,43	18,60	68,58	13,14	131,43	0,68	0,57	0,36	0,10
1191	12	151,20	85,84	21,99	20,49	93,18	13,48	16,91	19,03	67,49	13,53	135,26	0,44	0,36	0,36	0,11
1192	13	149,69	85,51	20,32	18,60	91,54	13,83	15,26	17,51	68,66	12,20	122,04	0,67	0,55	0,38	0,12
1193	14	148,06	83,47	19,90	18,21	91,51	13,48	15,03	17,22	69,30	12,02	120,21	0,73	0,60	0,36	0,10
1194	15	159,75	85,96	21,51	19,90	92,52	13,15	16,52	18,68	68,17	13,21	132,14	0,66	0,55	0,38	0,09
1195	16	137,23	77,89	21,51	19,90	92,52	12,33	16,76	18,86	68,82	13,41	134,05	0,54	0,45	0,40	0,12
1196	17	143,70	77,36	22,17	20,75	93,61	11,69	17,67	19,58	68,73	14,13	141,34	0,46	0,39	0,37	0,10
1197	18	143,25	82,09	21,78	20,35	93,43	13,01	16,93	18,95	68,04	13,55	135,45	0,46	0,38	0,39	0,12
1198	19	140,72	82,42	20,74	18,97	91,47	13,43	15,67	17,95	68,61	12,53	125,34	0,59	0,49	0,41	0,15
1199	20	143,02	78,00	21,51	20,06	93,26	12,04	16,98	18,92	69,04	13,58	135,81	0,53	0,45	0,46	0,12
1200	21	140,55	79,73	20,41	18,46	90,45	12,83	15,41	17,79	69,38	12,33	123,27	0,64	0,53	0,51	0,15
1201	22	148,13	85,81	22,91	20,76	90,62	13,46	17,14	19,83	66,72	13,71	137,11	0,37	0,31	0,40	0,12
1202	23	143,48	81,63	22,29	20,97	94,08	12,78	17,52	19,44	67,78	14,02	140,15	0,46	0,38	0,43	0,12
1203	24	132,95	77,50	22,38	21,09	94,24	12,30	17,77	19,63	68,07	14,21	142,13	0,37	0,31	0,43	0,11
1204	25	138,30	77,82	20,78	19,18	92,30	12,39	16,13	18,21	69,40	12,91	129,06	0,63	0,53	0,42	0,11
1205	26	141,60	81,14	20,92	19,45	92,97	13,03	16,18	18,19	68,78	12,94	129,42	0,61	0,51	0,38	0,10
1206	27	146,53	84,23	22,10	20,82	94,21	13,31	17,23	19,16	67,53	13,79	137,86	0,49	0,41	0,43	0,12
1207	28	138,41	80,46	22,44	21,09	93,98	12,74	17,63	19,58	67,68	14,11	141,05	0,39	0,33	0,43	0,10
1208	29	140,88	82,62	21,20	19,74	93,11	13,39	16,32	18,36	68,25	13,05	130,53	0,60	0,50	0,41	0,13
1209	30	151,24	86,43	21,31	19,88	93,29	13,78	16,32	18,37	67,85	13,36	133,60	0,57	0,47	0,42	0,12

## Anexo 4. Análisis químico de la vinaza utilizada en el periodo de tercera soca. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUÍMICA  
Reporte de análisis de subproductos

Área: SUELOS Y FERTILIZANTES

Fecha recepción muestra: 07 de julio de 2020

Fecha entrega resultados: 16 de julio de 2020

RESPONSABLE: Ing. Miguel Suárez

INGENIO: Valdez

SECTOR/LOTE: 004-046

VARIEDAD EC-02

REPORTE N°: Spc20 - Investigación

Realizado: Ing. Tanya Guillen

Aprobado: Dr. Bolívar Aucatoma MSc.

ENSAYO: Efecto de la vinaza en el rendimiento azucarero y calidad de caña de azúcar, aplicada con el riego, en el ingenio Valdez. Tercera Soca. Primer riego.

N°	Identificación	MACROELEMENTOS							MICROELEMENTOS					%		C/N	pH	uS/cm
		%: g/100gr							ppm					M,O	C			
		N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Zn	Cu	Fe	Mn	Na					
1	Vinaza pura	0,05	0,007	0,33	0,072	0,027	0,184	0,101	0,8	0,2	126	2	138	1,30	0,76	14,76	7,35	12780

Metodologías para análisis Foliar:

Macro y microelementos (K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe y Mn) Digestión ácida en Microondas/Determinación en Espectrofotómetro AA

Fósforo: Digestión ácida en Microondas/Determinación en Espectrofotómetro UV-visible.

Nitrógeno: Método Kjeldahl. Determinación por Titulación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Azufre: Digestión ácida nítrico-perclórica. Determinación por espectroscopia U/MS (Turbidimetría)

Boro: Calcinación / Determinación por espectroscopia U/MS (colorimetría)

## Anexo 5. Prueba de Shapiro-Wilks para detectar la confiabilidad de los datos dentro de cada variable en estudio y del tratamiento establecido.

Shapiro-Wilks (modificado)

m3	Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
0	TCH	6	72,46	5,21	0,82	0,1084
0	Pol caña Fb.	6	13,33	0,34	0,97	0,8913
0	SAH	6	193,22	14,46	0,87	0,2645
0	Pureza	6	93,38	0,64	0,97	0,9005
0	Fibra Caña	6	13,81	0,49	0,89	0,3785
0	AR caña	6	0,47	0,10	0,98	0,9532
0	Cenizas conduc.	6	0,31	0,04	0,84	0,1626
0	K	6	0,09	0,03	0,79	0,0603
30	TCH	6	75,28	2,43	0,83	0,1344
30	Pol caña Fb.	6	13,23	0,27	0,90	0,4664
30	SAH	6	199,22	7,66	0,87	0,2822
30	Pureza	6	93,12	0,79	0,90	0,4125
30	Fibra Caña	6	13,47	0,75	0,92	0,5910
30	AR caña	6	0,46	0,08	0,96	0,8525
30	Cenizas conduc.	6	0,36	0,06	0,89	0,3920
30	K	6	0,12	0,03	0,82	0,1100
60	TCH	6	87,69	1,45	0,83	0,1286
60	Pol caña Fb.	6	13,09	0,82	0,90	0,4606
60	SAH	6	229,35	10,80	0,92	0,5544
60	Pureza	6	92,52	0,89	0,86	0,2268
60	Fibra Caña	6	12,92	0,78	0,95	0,7630
60	AR caña	6	0,49	0,09	0,86	0,2388
60	Cenizas conduc.	6	0,38	0,01	0,98	0,9443
60	K	6	0,11	0,01	0,78	0,0460
90	TCH	6	88,62	1,95	0,85	0,1785
90	Pol caña Fb.	6	13,40	0,78	0,85	0,2034
90	SAH	6	237,47	14,74	0,90	0,4161
90	Pureza	6	92,35	1,72	0,83	0,1210
90	Fibra Caña	6	12,81	0,58	0,89	0,4085
90	AR caña	6	0,41	0,09	0,88	0,3155
90	Cenizas conduc.	6	0,44	0,04	0,90	0,4250
90	K	6	0,13	0,02	0,77	0,0351
120	TCH	6	82,47	6,21	0,84	0,1614
120	Pol caña Fb.	6	13,36	0,49	0,86	0,2320
120	SAH	6	220,03	13,10	0,88	0,3340
120	Pureza	6	93,31	0,70	0,95	0,7765
120	Fibra Caña	6	13,11	0,50	0,98	0,9540
120	AR caña	6	0,46	0,08	0,88	0,3475
120	Cenizas conduc.	6	0,42	0,02	0,82	0,1042
120	K	6	0,11	0,01	0,89	0,3528

**Anexo 6. Prueba de Shapiro-Wilks para los datos transformados (raíz cuadrada) de la variable normaliza % K en jugo y su análisis de varianza para corroboración de significancias y separación de medias.**

**Shapiro-Wilks (modificado)**

m3	Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
0,00	% K jugo Raíz	6	0,30	0,05	0,87	0,2697
30,00	% K jugo Raíz	6	0,34	0,04	0,84	0,1718
60,00	% K jugo Raíz	6	0,33	0,03	0,85	0,1944
90,00	% K jugo Raíz	6	0,36	0,02	0,89	0,3986
120,00	% K jugo Raíz	6	0,34	0,02	0,94	0,7028

**% K jugo Raíz**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% K jugo Raíz	30	0,29	0,18	9,94

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	4	2,8E-03	2,59	0,0609
m3	0,01	4	2,8E-03	2,59	0,0609
Error	0,03	25	1,1E-03		
Total	0,04	29			

**Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,05583**

Error: 0,0011 gl: 25

m3	Medias	n	E.E.
90,00	0,36	6	0,01 A
30,00	0,34	6	0,01 A B
120,00	0,34	6	0,01 A B
60,00	0,33	6	0,01 A B
0,00	0,30	6	0,01 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

**Anexo 7. Análisis de Varianza, realizado en Infostat para las variables de productividad y calidad de caña para cinco tratamientos de aplicación de vinaza en el agua de riego en tercera soca. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez.**

**TCH**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
TCH	30	0,76	0,73	4,84

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1261,76	4	315,44	20,34	<0,0001
m3	1261,76	4	315,44	20,34	<0,0001
Error	387,68	25	15,51		
Total	1649,44	29			

**Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=6,67712**

Error: 15,5071 gl: 25

m3	Medias	n	E.E.
0	72,46	6	1,61 B
30	75,28	6	1,61 B
60	87,69	6	1,61 A
90	88,62	6	1,61 A
120	82,47	6	1,61 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

**% Pol caña Fb.**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Pol caña Fb.	30	0,04	0,00	4,41

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,37	4	0,09	0,27	0,8927
m3	0,37	4	0,09	0,27	0,8927
Error	8,57	25	0,34		
Total	8,95	29			

**Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,99305**

Error: 0,3430 gl: 25

m3	Medias	n	E.E.
0	13,33	6	0,24 A
30	13,23	6	0,24 A
60	13,09	6	0,24 A
90	13,4	6	0,24 A
120	13,36	6	0,24 A

---

SAH

---

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SAH	30	0,69	0,64	5,76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8735,8	4	2183,95	14,12	<0,0001
m3	8735,8	4	2183,95	14,12	<0,0001
Error	3866,82	25	154,67		
Total	12602,61	29			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=21,08779

Error: 154,6727 gl: 25

m3	Medias	n	E.E.			
0	193,22	6	5,08			C
30	199,22	6	5,08		B	C
60	229,35	6	5,08 A			
90	237,47	6	5,08 A			
120	220,03	6	5,08 A		B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

---

% Fibra Caña

---

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Fibra Caña	30	0,29	0,18	4,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,1	4	1,03	2,58	0,0622
m3	4,1	4	1,03	2,58	0,0622
Error	9,96	25	0,4		
Total	14,06	29			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,07000

Error: 0,3982 gl: 25

m3	Medias	n	E.E.	
0	13,81	6	0,26 A	
30	13,47	6	0,26 A	
60	12,92	6	0,26 A	
90	12,81	6	0,26 A	
120	13,11	6	0,26 A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

---

% Cenizas conductimétricas

---

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Cenizas conduc.	30	0,61	0,55	10,44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,06	4	0,02	9,77	0,0001
m3	0,06	4	0,02	9,77	0,0001
Error	0,04	25	1,60E-03		
Total	0,1	29			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06741

Error: 0,0016 gl: 25

m3	Medias	n	E.E.			
0	0,31	6	0,02			C
30	0,36	6	0,02		B	C
60	0,38	6	0,02 A		B	
90	0,44	6	0,02 A			
120	0,42	6	0,02 A		B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

---

% Pureza

---

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Pureza	30	0,17	0,03	1,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5,29	4	1,32	1,25	0,3147
m3	5,29	4	1,32	1,25	0,3147
Error	26,39	25	1,06		
Total	31,68	29			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,74215

Error: 1,0557 gl: 25

m3	Medias	n	E.E.	
0	93,38	6	0,42 A	
30	93,12	6	0,42 A	
60	92,52	6	0,42 A	
90	92,35	6	0,42 A	
120	93,31	6	0,42 A	

---

% AR caña

---

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
AR caña	30	0,09	0	19,4

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	4	4,60E-03	0,59	0,6755
m3	0,02	4	4,60E-03	0,59	0,6755
Error	0,2	25	0,01		
Total	0,21	29			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,15010

Error: 0,0078 gl: 25

m3	Medias	n	E.E.	
0	0,47	6	0,04 A	
30	0,46	6	0,04 A	
60	0,49	6	0,04 A	
90	0,41	6	0,04 A	
120	0,46	6	0,04 A	

---

% K en jugo

---

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
K	30	0,29	0,17	18,44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,20E-03	4	1,10E-03	2,5	0,0681
m3	4,20E-03	4	1,10E-03	2,5	0,0681
Error	0,01	25	4,20E-04		
Total	0,01	29			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,03480

Error: 0,0004 gl: 25

m3	Medias	n	E.E.			
0	0,09	6	0,01			B
30	0,12	6	0,01 A			B
60	0,11	6	0,01 A			B
90	0,13	6	0,01 A			
120	0,11	6	0,01 A			B

## Anexo 8. Análisis químico y físico de suelos del ensayo sobre diferentes dosis de vinaza aplicadas en el agua de riego para el cultivo de caña de azúcar después de la cosecha de tercera soca. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez.



### CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DEL ECUADOR LABORATORIO QUÍMICO Reporte de Análisis de Suelo

Área: Suelos y Fertilizantes

Fecha recepción muestra: 29 de octubre de 2021

Fecha de emisión de informe: 24 de febrero de 2022

RESPONSABLE: Ing. Miguel Ángel Suárez

REPORTE N°: 22-03

Realizado: Tcnlga. Karina Fajardo.

Aprobado: Dr. Bolívar Aucatoma MSc.

Determinaciones Analíticas	Método de extracción y lectura	Unidad de expresión	008	009	010	011	012	013	014	015	016	017	018	019	020	021	022	
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 10	Muestra 11	Muestra 12	Muestra 13	Muestra 14	Muestra 15	
pH	Agua (1:2.5) Potenciometro	-	6,56	6,34	6,28	6,47	6,38	6,41	6,40	6,50	6,34	6,40	6,36	6,32	6,46	6,48	6,51	
C.E.	Agua (1:2.5) Conductímetro	us/cm	180	186	149	138	171	166	186	182	175	201	175	186	174	174	188	
Materia Orgánica	Walkley-Black Espectrofotómetro UVIS	%	2,64	2,68	2,07	1,58	2,81	3,11	3,06	2,72	2,88	2,67	2,85	2,82	2,55	2,22	1,91	
Sodio (Na)	Acetato de Amonio Espectrofotómetro absorción atómica	cmol Kg <sup>-1</sup>	0,80	0,63	0,80	0,88	0,89	1,10	1,01	0,81	0,82	0,86	0,87	0,74	0,77	0,87	1,12	
Potasio (K)		cmol Kg <sup>-1</sup>	0,53	0,54	0,48	0,41	0,54	0,66	0,63	0,66	0,75	0,71	0,72	0,68	0,73	0,83	0,96	
Calcio (Ca)		cmol Kg <sup>-1</sup>	17,3	16,8	16,8	17,6	18,7	20,1	20,8	20,6	22,1	21,7	22,4	22,5	24,1	22,9	23,2	
Magnesio (Mg)		cmol Kg <sup>-1</sup>	8,20	7,9	7,4	7,3	9,0	9,7	10,9	11,5	11,7	12,0	11,9	12,3	12,9	11,2	11,7	
ΣBases		cmol Kg <sup>-1</sup>	26,8	25,9	25,4	26,2	29,2	31,5	33,3	33,5	35,4	35,2	35,8	36,2	38,5	35,8	37,0	
Azufre (S)	Fosfato de Calcio Espectrofotómetro UVIS	mg/kg	20,6	18,5	15,9	13,5	18,0	18,8	59,8	20,8	18,3	19,4	16,6	16,8	15,4	15,2	13,1	
Fósforo (P)	Olsen Modificado Espectrofotómetro UVIS	mg/kg	12,24	7,53	7,44	18,0	15,2	14,3	10,3	13,2	10,0	8,57	5,38	5,70	5,14	2,15	4,03	
Potasio (K)	Olsen Modificado Espectrofotómetro de absorción atómica	meq/100gr	0,19	0,16	0,16	0,15	0,22	0,20	0,22	0,20	0,19	0,22	0,21	0,20	0,28	0,26	0,30	
Calcio (Ca)		meq/100gr	14,7	14,3	13,9	13,9	16,1	15,7	15,4	15,4	15,9	16,2	17,1	16,0	16,0	15,9	16,5	
Magnesio (Mg)		meq/100gr	4,84	4,36	4,60	4,58	5,23	5,34	5,75	6,54	6,79	7,11	7,22	7,33	7,71	7,23	7,61	
Relación Ca/Mg		-	3,04	3,27	3,01	3,04	3,07	2,94	2,67	2,36	2,34	2,27	2,37	2,18	2,07	2,19	2,17	
Zinc (Zn)		mg/kg	1,29	1,13	0,97	1,03	1,24	1,18	1,15	1,04	1,04	0,93	0,71	0,80	0,69	0,55	0,60	
Cobre (Cu)		mg/kg	9,39	8,61	8,33	6,74	9,84	10,5	11,8	11,0	10,5	11,2	10,8	12,0	12,7	10,9	8,62	
Manganeso (Mn)		mg/kg	58,1	62,4	61,4	62,2	58,8	50,7	53,6	40,1	38,3	38,5	29,3	27,0	24,7	28,3	29,7	
Hierro (Fe)		mg/kg	73,5	77,0	68,8	73,1	67,1	66,6	68,6	74,0	57,6	61,8	43,9	47,4	42,9	35,3	20,5	
Arena	Hexametáfosfato de sodio	%	24	31	29	35	27	24	22	22	20	18	16	15	16	16		
Limo		%	44	40	43	45	39	38	37	35	36	37	36	38	36	37	40	
Arcilla		%	32	29	28	20	34	38	41	43	44	43	46	46	49	47	44	
Clase Textural			Franco-Arcilloso	Franco-Arcilloso	Franco-Arcilloso	Franco	Franco-Arcilloso	Franco-Arcilloso	Arcilla	Arcilla	Arcilla	Arcilla	Arcilla	Arcilla	Arcilla	Arcilla	Arcillo-Limoso	

Los resultados están reportados en base seca del suelo

Ensayo: Respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones de vinaza en caña planta y socas en suelos representativos. Después de cosecha. Tercera soca. Profundidad: 0-25 cm.

Vinaza + Potasio. Ingenio Valdez, lote 004-046. Variedad EC-02

Preparación de la muestra

El suelo inmediatamente a su llegada al laboratorio es colocado en bandejas de acero inoxidable e ingresadas en una estufa con corriente de circulación de aire forzado a 60°C por 4 días, posteriormente se muele en un molino tipo triturador de mandibulas y pasa por un tamiz de 500 um de tamaño de abertura, la muestra se preserva en fundas ziploc.

Metodologías de análisis:

pH: Determinación por método potenciométrico, suelo-agua relación 1:2.5.

Conductividad Eléctrica (CE): Determinación por Conductimetría, suelo-agua relación 1:2.5.

Materia Orgánica (MO) y Carbono Orgánico: Digestión húmeda (Walkley-Black). Determinación en espectroscopia UV-Vis por colorimetría.

Cationes Intercambiables (Na, K, Ca Mg): Extracción con acetato de amonio, 1N, pH 7. Determinación por espectroscopia de absorción atómica. Para evitar interferencias entre Na y K se utiliza una solución de cesio, para evitar interferencias entre Ca y Mg se utiliza una solución de lantano.

Azufre: Extracción con Fosfato de Calcio. Método turbidimétrico con BaCl<sub>2</sub>. Determinación en espectroscopia UV-Vis.

Fósforo: Extracción con Olsen modificado. Determinación por método colorimétrico de azul de molibdeno. Lectura por espectrofotómetro UVIS.

K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe y Mn: Extracción con Olsen modificado. Para evitar interferencias entre Ca y Mg se utiliza una solución de lantano, los microelementos se leen directamente. Lectura por espectrofotómetro de absorción atómica.

Texturas: Dispersión con Hexametáfosfato de sodio. Determinación con Hidrómetro de Bouyoucos.

## Anexo 9. Evaluación de propiedades físicas de suelo después de la cosecha de tercera soca. Densidad aparente por el método del cilindro (A) y estructura de agregados (B). Cantero 004-046 del Ingenio Valdez. Milagro



A



B

Anexo 10. Extracción de nutrientes por hectárea, al momento de la cosecha de la variedad EC-02 a diferentes dosis de vinaza. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez.

Tratamiento (Vinaza m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Macronutrientes (kg/ha)					Micronutrientes (g/ha)			
	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn
0	66.4	15.6	88.2	49.4	28.7	446	100	2766	518
30	71.7	18.9	133.5	46.3	24.6	488	106	3617	451
60	84.3	18.8	179.5	44.2	27.6	455	107	2963	454
90	88.7	18.5	177.6	77.5	34.4	528	126	4895	618
120	70.1	17.2	164.9	63.0	34.0	508	130	6286	838

Anexo 11. Datos de Infiltración medida con anillos infiltrómetros en el primer riego poscosecha de tercera soca del ensayo de dosis de vinaza aplicadas con el agua de riego. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez.

**Evaluación:** Infiltración  
**Método:** Anillos infiltrómetros  
**Ubicación:** Anillo al inicio del surco  
**Suelo:** Textura Franco Arcilloso  
**Fecha:** 12-nov-21  
**Hora:** 9:26

**Tiempo de evaluación:** 3:52

Hora	Diferencia	Tiempo acum. (min)	Lectura	Infiltración acum. (mm)
9:26		0	15.0	0
9:42	0:16	16	12.3	2.7
10:15	0:33	49	8.2	6.8
10:16		Reposición	16.0	
11:00	0:44	93	12.3	10.5
11:34	0:34	127	8.9	13.9
11:35		Reposición	16.0	
12:45	1:10	197	12.4	17.5
13:18	0:33	230	11.0	18.9

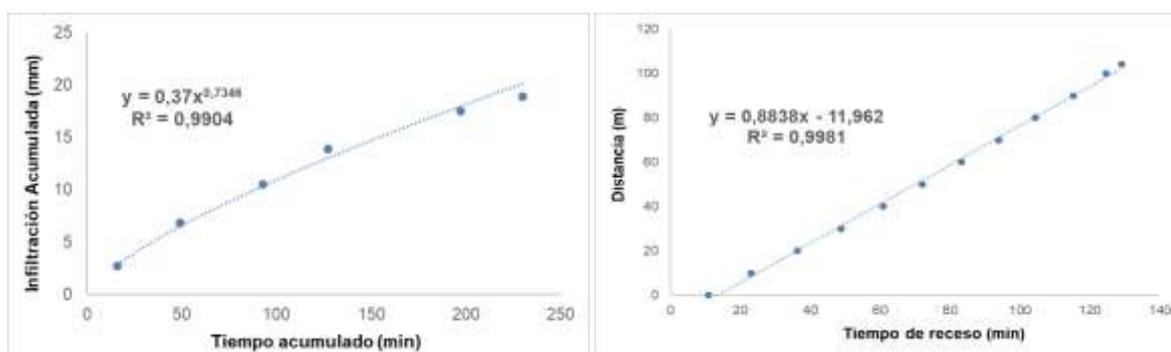
Anexo 12. Humedad de suelo antes del riego en el ensayo de dosis de vinaza aplicadas con el agua de riego en el cultivo de caña de azúcar. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez

Parte del surco	Profundidad (cm)	Peso inicial (g)	Peso seco (g)	Peso recipiente (g)	Peso neto (g)	Promedio humedad (%)	Promedio de cada punto muestreado
Al inicio	0-25	557.6	711.6	230.5	481.1	15.9	18.8
	25-50	678.3	808.5	230.7	577.7	17.4	
	50-75	621.4	736.7	232.1	504.6	23.1	
Al medio	0-25	580.1	725.5	225.2	500.3	16.0	19.3
	25-50	609.2	750.1	232.2	518.0	17.6	
	50-75	725.8	805.5	221.1	584.4	24.2	
Al final	0-25	654.2	808.9	245.1	563.8	16.0	20.3
	25-50	706.8	820.9	227.1	593.7	19.0	
	50-75	605.4	707.7	227.0	480.7	25.9	
<b>Media general</b>							<b>19.5</b>

**Anexo 13. Humedad de suelo 72 horas después del riego en el ensayo de dosis de vinaza aplicada con el agua de riego en cultivo de caña de azúcar. Cantero 004-046, Ingenio Valdez**

Parte del surco	Profundidad (cm)	Peso inicial (g)	Peso seco (g)	Peso recipiente (g)	Peso neto (g)	Promedio humedad (%)	Promedio de cada punto muestreado
Al inicio	0-25	437.6	553.2	209.8	343.4	27.4	33.6
	25-50	608.1	686.2	226.3	459.9	32.2	
	50-75	455.1	538.3	215.7	322.6	41.1	
Al medio	0-25	475.2	637.2	269.6	367.6	29.3	35.8
	25-50	485.1	588.9	227.1	361.8	34.1	
	50-75	494.4	554.8	211.2	343.6	43.9	
Al final	0-25	495.9	586.1	210.3	375.8	31.9	36.5
	25-50	549.3	649.2	241.6	407.7	34.7	
	50-75	523.4	579.2	212.6	366.7	42.8	
<b>Media general</b>						<b>35.3</b>	

**Anexo 14. Modelos de regresión para la Infiltración acumulada (mm) y el tiempo de receso de agua en el surco (min) para el ensayo de dosis de vinaza aplicadas en el agua de riego en el cultivo de caña de azúcar. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez.**



**Anexo 15. Datos obtenidos en la evaluación de la Lámina infiltrada en el largo del surco del ensayo sobre diferentes dosis de vinaza aplicadas en el agua de riego para el cultivo de caña de azúcar después de la cosecha de tercera soca. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez.**

Distancia Acumulada (m)	Tiempo de avance (min)	Tiempo de receso (min)	Tiempo de contacto (min)	Lámina infiltrada (mm)	Lámina infiltrada Ajustada (mm)	Datos Ordenados de Lámina infiltrada Aj. (mm)
0	0.0	13.5	13.5	2.5	63.6	236.2
10	4.8	24.8	20.0	3.3	84.7	230.6
20	9.7	36.2	26.5	4.1	104.1	216.5
30	14.5	47.5	32.9	4.8	122.2	202.0
40	19.4	58.8	39.4	5.5	139.4	187.1
50	24.2	70.1	45.9	6.1	155.9	171.7
60	29.1	81.4	52.3	6.8	171.7	155.9
70	33.9	92.7	58.8	7.4	187.1	139.4
80	38.8	104.1	65.3	8.0	202.0	122.2
90	43.6	115.4	71.8	8.5	216.5	104.1
100	48.5	126.7	78.2	9.1	230.6	84.7
104	50.4	131.2	80.8	9.3	236.2	63.6
<b>Media</b>				<b>6.3</b>	<b>159.5</b>	

Anexo 16. Eficiencia de Aplicación (EA) del riego en la parcela, para el ensayo sobre diferentes dosis de vinaza aplicada en el cultivo de caña de azúcar. Primer riego por superficie después de la cosecha de tercera soca. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez.

Láminas	Nomenclatura	Dato
Lámina total de almacenamiento (mm)	$L_{Ta}$	155.94
Lámina infiltrada Ajustada (mm)	$L_T$	159.49

Fórmula:

$$E_A = \frac{100L_{TA}}{L_T}$$

<b>Eficiencia de Aplicación:</b>	<b>97.8 %</b>
----------------------------------	---------------

## APÉNDICES



**Apéndice 1. Visita y cosecha de ensayo. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez. Milagro**



**Apéndice 2. Toma de muestras para humedad de suelo antes del riego y prueba de infiltración básica de suelo con los anillos infiltrómetros. Cantero 004-046 del Ingenio Valdez. Milagro**

# CERTIFICADO DE ENSAYO CINCAE

El Triunfo, martes 15 de marzo del 2022

El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador - CINCAE, a través del proyecto titulado: **Estudios del manejo de suelos y nutrición de clones y variedades**; y, del perfil de ensayo: **Respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones de vinaza en caña planta y socas en suelos representativos**, y en conocimiento que el Ing. Miguel Suárez Valles, actualmente técnico asistente del área de Suelos y Fertilizantes del CINCAE y maestrante de la Universidad Agraria del Ecuador – UAE, necesita respaldar las actividades que realizó en el ensayo para el uso de la información en su tesis de maestría que lleva por título: **EFFECTO DE LA VINAZA EN EL RENDIMIENTO AZUCARERO Y CALIDAD DE CAÑA DE AZÚCAR, APLICADA CON EL RIEGO, EN EL INGENIO VALDEZ; MILAGRO**; certifica que:

1. El ensayo está vigente desde el 2017 y es cooperativo entre el Ingenio Valdez y CINCAE, se ubica en el lote 004-046 y con la variedad EC-02.
2. En el 2021 se evaluaron las variables de extracción de nutrientes, producción de caña y rendimiento de azúcar, además de considerar los análisis de suelos y medir la eficiencia del riego aplicado; de acuerdo, con lo establecido en el perfil de ensayo elaborado por CINCAE y el cronograma del proyecto de titulación de la Maestría en Ingeniería Agrícola con Mención en Riego y Drenaje.
3. La información se recabó por la toma de muestras con el personal del área, análisis de laboratorio en CINCAE y el análisis de datos de la investigación bajo el método científico y diseño estadístico.
4. El CINCAE, es responsable de la autoría de la información levantada hasta el momento y la que surja en los años venideros; y, concede el permiso para su uso en la tesis de Maestría del Ing. Miguel Suárez.



Ph. D. Raúl Castillo  
Torres Director del  
CINCAE

---

Elizalde 114 y Pichincha, Edificio San Carlos. Guayaquil, Ecuador.  
Casilla de Correo (PO Box): 09-04-797, Guayaquil-Ecuador - Tel. 0985166660  
0985164222, Estación Experimental: Km. 49.6 Vía Durán – Tambo - El Triunfo –  
Guayas. [www.cincae.com](http://www.cincae.com)

**Apéndice 3. Certificado de realización de ensayo en lugar y fechas prescritas.**