

**Artículo original**

***INFLUENCIA DEL USO DEL CARBONATO DE CALCIO (CaCO<sub>3</sub>)  
EN LA ALCALINIZACIÓN Y SEDIMENTACIÓN  
DEL JUGO DE CAÑA  
USE OF CALCIUM CARBONATE (CaCO<sub>3</sub>) INFLUENCE IN CANE  
JUICE ALKALIZATION AND SEDIMENTATION***

Suleidys Herrera Álvarez <sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3992-6583>

Luis A. Gómez Rodríguez <sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4264-1693>

Pablo Cabrera Ferrán <sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5155-8739>

<sup>1</sup> Empresa Geominera del Centro. Carretera a Malezas Km, 2 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Química. Facultad Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní Km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>3</sup> Empresa Azucarera de Villa Clara, AZCUBA. Independencia # 7 e/ Lorda y Máximo Gómez, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Diciembre 19, 2019; Revisado: Enero 21, 2020; Aceptado: Febrero 20, 2020

**RESUMEN**

**Introducción:**

Existe la posibilidad de explorar el CaCO<sub>3</sub> del yacimiento Tanque Viña, de Remedios, como posible agente alcalinizante en la intensificación de la alcalinización del jugo de caña y su influencia en el contenido de calcio del sedimento para uso como alimento animal y/o fertilizante.

**Objetivo:**

Estudiar la utilización del CaCO<sub>3</sub> como agente alcalinizante en la intensificación de la purificación de los jugos de caña en la industria azucarera.

**Materiales y Métodos:**

Se estructuró una investigación experimental, utilizando la prueba de sedimentación en probeta, análisis a nivel de laboratorio y el software estadístico *Statgraphics Centurion XVI.II*, utilizando para ello, jugo de caña, agentes minerales (CaCO<sub>3</sub> y Ca(OH)<sub>2</sub>).

**Resultados y Discusión:**

Se obtienen resultados analíticos como Brix, Pol, Pureza, Turbidez, Color de los jugos clarificados así como la velocidad de sedimentación y el pH de alcalinización los cuales sirvieron de apoyo para determinar el mejor tratamiento para los jugos de caña y proponer la alternativa de mejores resultados.



Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

\* Autor para la correspondencia: Suleidys Herrera, Email: [suleidys@gmc.gms.minem.cu](mailto:suleidys@gmc.gms.minem.cu)



**Conclusiones:**

El tratamiento de los jugos con la mezcla de 1-1 (1 de  $\text{CaCO}_3$  -1 de  $\text{Ca(OH)}_2$ ) presenta resultados favorables utilizando a valores cercanos a  $8^\circ\text{Be}$  de alcalización, manifestando valores de color 148 UTF, turbidez de 38 UTF y velocidad de sedimentación  $1,58 \text{E-}04$  m/s. Aunque no supera la estrategia convencional de clarificación implementada en los centrales azucareros, se presenta como una alternativa novedosa y diversificadora, debido a la posibilidad de emplear los sedimentos obtenidos en la formulación de alimento para animales por ser ricos en minerales.

**Palabras clave:** agente alcalinizante; alcalinización; carbonato de calcio

**ABSTRACT**

**Introduction:**

It is needed to explore the  $\text{CaCO}_3$  from Tanque Viña deposit in Remedios as a possible alkalizing agent in cane juice alkalization intensification and its influence on sediment calcium content for animal feed and/or fertilizer use.

**Objective:**

To study the use of  $\text{CaCO}_3$  as an alkalizing agent in the intensification of the purification of cane juices in the sugar industry.

**Materials and Methods:**

An experimental explanatory investigation was structured, using a tube sedimentation test at laboratory level and the statistical software Statgraphics Centurion XVI.II. Cane juice and mineral agents ( $\text{CaCO}_3$  and  $\text{Ca(OH)}_2$ ) were used in laboratory test.

**Results and Discussion:**

Different analytical results are obtained such as: brix, pol, purity, turbidity, and clarified juices color, as well as sedimentation speed and alkalization pH. These results were the support to determine the best treatment for cane juices and to propose the best alternative.

**Conclusions:**

it is concluded that the juice treatment with a mixture of 1-1 (1 of  $\text{CaCO}_3$  -1 of  $\text{Ca(OH)}_2$ ) presents favorable results when it is used at values close to  $8^\circ\text{Be}$  of alkalization, showing color values of 148 UTF, turbidity of 38 UTF and a sedimentation rate of  $1.58\text{E-}04\text{m/s}$ . although it does not exceed the conventional strategy of clarification implemented in sugar plants, it is presented as a novel and diversifying alternative, due to the possibility of using the obtained sediments in animal feed formulations because they are rich in minerals.

**Keywords:** alkalizing agent; alkalization; calcium carbonate.

**1. INTRODUCCIÓN**

El proceso de producción de azúcar cuenta con varias etapas, una de ellas es la clarificación del jugo. Esta a su vez se divide en cuatro etapas:

- Separación de las impurezas de mayor tamaño.
- Calentamiento del jugo diluido.

- Adición de Cal.
- Adición de floculante.

La composición típica de caña entregada a la fábrica depende no sólo de la composición del tallo de la caña, sino también de otros factores como la variedad de caña, la cantidad de hojas y cogollo, demás materia extraña, la tardanza del corte y entrega a la fábrica (Escudero y Diestra, 2016).

Las materias extrañas que entran al proceso de obtención de la azúcar, son perjudiciales para este. Siendo de vital importancia su eliminación. La etapa inicial del proceso por la cual son eliminadas estas materias es la clarificación.

En la clarificación de sólidos por sedimentación; los sólidos no azúcares se precipitan en forma de lodo llamado cachaza y el jugo claro queda en la parte superior del clarificador, para su posterior ingreso al tren de evaporación (Rein, 2012).

**Alcalización:** Proceso de tratamiento de jugo que consiste en aplicar cal (ya sea como lechada de cal o sacarato) al jugo (sulfitado o mezclado) para neutralizar la acidez natural del jugo y formar sales insolubles de cal, principalmente en forma de fosfatos de calcio. La adición de la cal diluida es en una proporción que va desde 500 y hasta 650 g de CaO por tonelada de caña molida.

La alcalinización se puede llevar a cabo mediante dos procedimientos:

- Alcalinización tradicional.
- Alcalinización por sacarato.

La alcalización tradicional se realiza de una sola vez (en frío o en caliente) o en dos etapas (fraccionaria), (Corella, 2011).

Durante la defecación no se remueven todas las impurezas solubles. En este proceso muchos de los ácidos orgánicos son eliminados, dado que las sales de calcio son insolubles y cualquier material albuminoide es coagulado. Parte del contenido de pectina y materia colorante se torna insoluble, mientras que otros componentes (almidón y polisacáridos) pueden hacerse solubles (Rein, 2012), (Escudero y Diestra, 2016).

Existen numerosas investigaciones de agentes químicos, naturales, animales y minerales con el objetivo de intensificar la purificación del jugo de caña. Entre las que se encuentra las plantas mucilaginosas (Demera y col., 2015), y (Quezada y col., 2016), la quitina y la quitosana procedente de residuos de camarón (Duran y col., 2016), entre los minerales que se han estudiado se encuentran la zeolita (Gómez y col., 2013) y la bentonita (Denis, 2006), (Hernández, 2007), dando resultados favorables en algunos caso. Se siguen estudiando otros agentes tal es el caso de este trabajo donde se va a estudiar el carbonato de calcio solo o combinado con hidróxido de calcio en la alcalinización.

***Agentes alcalinizantes:*** El hidróxido de calcio, también llamado cal apagada,  $\text{Ca(OH)}_2$ , se obtiene por la acción del agua sobre el óxido de calcio. Cuando se mezcla con agua, una pequeña proporción se disuelve, formando una solución conocida como agua de cal, el resto queda en forma de una suspensión llamada lechada de cal.

El hidróxido de calcio se encuentra en la industria alimentaria aportando calcio y como modificador del pH, así como en la gestión de gases, ya que tiene una alta efectividad en la captación de contaminantes ácidos procedentes de humos y vapores industriales.

En la industria azucarera se puede utilizar para precipitar impurezas y obtener sacarosa

purificada. También aporta beneficios en el tratamiento de lodos ya que es una ayuda excepcional en la eliminación de microorganismos y bacterias que a su vez neutraliza los malos olores.

El carbonato cálcico es un compuesto químico que junto con sus derivados puede usarse en infinidad de productos. A continuación se muestran algunos ejemplos del uso de este en diferentes sectores:

- Se emplea en la industria alimenticia para regular el pH de leche y vinos, como antipelmazante y gasificante en algunos productos. Se usa como antiácido para la indigestión ácida y malestar estomacal.
- En la industria agrícola se puede emplear para reactivar la productividad agrícola, purifica el agua potable y mantiene la higiene.
- En el sector industrial es un material esencial para la construcción, puede utilizarse en la fundición de metales y en la fabricación de vidrio (Asturcalseo, 2018 a, Asturcalseo, 2018 b).

En la provincia de Villa Clara específicamente en el poblado de Rojas y Viñas, a 2,5 km, al NNE (norte noreste) de este último perteneciente al municipio Remedios, se cuenta con un yacimiento de carbonato de calcio, explotado por la Empresa Geominera del Centro. Cuenta con 413 521t recursos explotables (Egüe, 2019). En este yacimiento se han realizado diferentes trabajos de investigación geológica dando posibilidades para el uso de esta materia prima como: Alimento animal, fabricación de electrodos, material de construcción, como encalante de suelos y para la obtención de un antiácido como recubrimiento pulpar en la endodoncia (Egüe, 2019).

Existe la necesidad de explorar el carbonato de calcio del yacimiento Tanque Viña, de Remedios, como posible agente alcalinizante en la intensificación de la alcalinización del jugo de caña y su influencia en el contenido de calcio del sedimento para uso como alimento animal y/o fertilizante. Por lo que el objetivo del presente trabajo es estudiar la utilización del  $\text{CaCO}_3$  como agente alcalinizante en la intensificación de la purificación de los jugos de caña en la industria azucarera.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El siguiente trabajo experimental se desarrolló en el laboratorio de la Empresa Azucarera Héctor Rodríguez de Villa Clara.

Se tomaron muestras de jugo mezclado proveniente de las áreas de molinos y filtros rotatorios al vacío de la fábrica; estas muestras fueron tratadas con una suspensión de  $\text{CaCO}_3$ , lechada de cal, y una mezcla de ambas. Para ello se prepararon las suspensiones a 4°Be, teniendo en cuenta tres experiencias ( $\text{CaCO}_3$ , lechada de cal y mezclas 1:1) en probetas de 1000 ml.

Luego de las primeras pruebas experimentales, se procede a realizar pruebas en probetas (1000ml) variando los grados baumé en 4 y 8 °Be, para la alcalinización en correspondencia al nivel de pH alcanzado, en el jugo alcalizado y a la calidad de los agentes alcalinizantes empleados.

### 2.1. Condiciones experimentales.

1. Tomar una muestra de jugo de forma aleatoria.
2. Preparar la suspensión de  $\text{CaCO}_3$ , lechada de cal y su mezcla en función de cada

corrida (4°Be y 8°Be).

3. Añadir a la muestra de jugo la suspensión previamente preparada según la corrida.
4. Calentar la muestra previamente alcalizada hasta la temperatura de ebullición y dejar durante 3 a 5 minutos después de ebullición.
5. Depositar la muestra en una probeta aforada, midiendo a cada minuto la altura de la zona del sedimento hasta observar una altura prácticamente constante.

Primeramente se realizaron tres experimentos, con una réplica cada uno. Donde se alcalinizó de la forma tradicional (lechada de cal), con carbonato de calcio y la mezcla en igual proporción (1-1) de lechada de cal y carbonato de calcio. Tras cada ensayo se analizó el jugo alcalizado y su sedimento con el objetivo de evaluar la calidad del jugo y las propiedades del sedimento obtenido. En una segunda etapa se realizaron pruebas a diferentes grados baumé (4 y 8) y variando la mezcla en diferentes proporciones (1:1), (1:2) y (2:1).

Al observar el índice de madurez (ver tabla 1) en los que se encuentran las variedades de cañas empleadas en este trabajo investigativo se puede concluir que se está en presencia de una materia prima de baja calidad.

**Tabla 1.** Características de la materia prima utilizada

<i>Variedad</i>	<i>Brix Superior</i>	<i>Brix Inferior</i>	<i>Índice Madurez</i>
1	22,0	23,0	0,96
2	21,0	22,5	0,93
3	23,0	25,0	0,92
4	19,0	21,4	0,89

### 2.1.2. Análisis de laboratorio

Se mide el Brix, la Pol, la Pureza, el pH, el color, la turbidez, la ceniza, el ácido fosfórico, la velocidad de sedimentación y la Relación Sólido/Líquido.

#### Medición del color

La medición de este parámetro se realizó según el método de análisis GS1/3-7.

El color de la solución se determina según de la ecuación 1.

$$\text{Índice de color operativo} = \frac{[A_{420} - (2,5 * A_{720})] * 1000}{b * c} \quad (1)$$

Donde:

*c*: Concentración de sólidos en la solución en g/ml de acuerdo a brix (este valor se calcula multiplicando el brix de la muestra diluida por su densidad).

*b*: Espesor de la cubeta

Equipo para determinar la absorbancia Fotocolorímetro.

#### Medición de la turbidez

Leer la Absorbancia (Abs) del Jugo Clarificado con filtro 720.

La turbidez se determina según la ecuación 2.

$$\text{Turbidez} = (0,08 * \text{Abs}) - 0,05 * 100 \quad (2)$$

### **Medición de la Velocidad de sedimentación**

$$V'_{SED\ lib} = \frac{Z - Z_0}{t - t_0} \quad (3)$$

$$V'_{SED} = V'_{SED\ lib} * \varphi \quad (4)$$

Donde:

$V'_{SED\ lib}$ : Velocidad de sedimentación libre     $Z$ : Altura del sedimento a los 5 minutos

$Z_0$ : Altura inicial     $t$ : 5 min     $t_0$ : 0     $\varphi$ : Factor de corrección

### **Medición del °Brix**

Homogenizar la porción de ensayos y trasvasar aproximadamente 100 ml a un beaker. Añada 1 a 2 cucharaditas de Tierra Infusorio y agite. Filtre a través de papel de filtro, y deseche los primeros 10 ml del filtrado. Con los prismas del Refractómetro, coloque una gota de la muestra sobre el prisma utilizando para ello una varilla plástica. Espere hasta que la muestra adquiera la temperatura del prisma y haga la lectura.

### **Medición del pH del jugo clarificado:**

Se toma una muestra del jugo que será analizado y mide con el pHmetro.

### **Medición de la Pol:**

Se lee con el polarímetro.

### **Medición de la Pureza:**

Este parámetro se determina a través de la división de la Pol entre el °Brix.

### **Medición del fosfórico:**

Leer en el fotocolorímetro a una longitud de onda de 660 nm y cubetas de 1 cm contra blanco.

### **Medición de la relación sólido/líquido:**

Se determina mediante la medición en probeta de la porción de sedimento y su posterior división entre la altura del líquido.

## **2.2. Diseño del experimento de la investigación**

Según el diseño experimental  $2^k$ , que fue el seleccionado para realizar el presente trabajo, para determinar la incidencia que tiene la concentración y la proporción en que se encuentra la mezcla, sobre las variables respuestas pH (variable de mayor incidencia en la alcalinización) y la turbidez (variable de incidencia en la calidad del jugo claro). Usando como criterio de incidencia aquellos que tengan valores de probabilidad por debajo de 0,05. Los experimentos se establecen con la realización de  $2^2$  siendo como se muestra en la tabla 2.

Con estos experimentos se pretende, en primer lugar mejorar la sedimentación y la calidad del jugo y en segundo lugar el enriquecimiento del sedimento para su utilización como alimento animal.

Las variables respuestas a analizar son el pH alcanzado en la alcalinización que debe estar en el rango de alcalinidad entre 7,8 y 8,4 valor que garantice un jugo claro de 6,7-7,1. Niveles bajos (carácter ácido), se invierte la sacarosa y en caso de niveles excesivos provocan destrucción de reductores. En ambos casos hay formación de miel y la otra variable respuesta a analizar es la turbidez del jugo claro con el objetivo de comprobar la calidad de la clarificación.

**Tabla 2.** Diseño de experimento

<i>Factores Concentración</i>	<i>1er experimento Niveles</i>		<i>2do experimento Niveles</i>		<i>Variables respuestas</i>
4°Be	Mezcla 1:1 (1 CaCO <sub>3</sub> +1 lechada de cal)	Mezcla 1:2 (1CaCO <sub>3</sub> +2 Lechada de cal)	Mezcla 1:1 (1 CaCO <sub>3</sub> +1 lechada de cal)	Mezcla 2:1 (2CaCO <sub>3</sub> +1 Lechada de cal)	pH
8°Be	Mezcla 1:1 (1 CaCO <sub>3</sub> +1 lechada de cal)	Mezcla 1:2 (1CaCO <sub>3</sub> +2 Lechada de cal)	Mezcla 1:1 (1 CaCO <sub>3</sub> +1 lechada de cal)	Mezcla 2:1 (2CaCO <sub>3</sub> +1 Lechada de cal)	Turbidez

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las primeras experiencias se pudo concluir, que al utilizar el CaCO<sub>3</sub> solo, la velocidad de sedimentación es mayor pero se ve dificultada la reacción con el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como se observa en la tabla 3, por lo que el jugo queda turbio de mala calidad. El sedimento se ve enriquecido en calcio lo que puede ser utilizado como alimento animal. Al analizar la mezcla de ambos agentes alcalinizantes se observó que la velocidad de sedimentación es menor que cuando se utiliza el CaCO<sub>3</sub> solo, pero mayor cuando se alcaliza con lechada de cal, los índices de calidad del jugo mejoran, siendo la alcalinización tradicional la de mejores resultados.

**Tabla 3.** Resultados de los primeros experimentos

<i>Jugo mezclado</i>		<i>Alcalinización con Ca(OH)<sub>2</sub></i>	<i>Alcalinización con CaCO<sub>3</sub></i>	<i>Alcalinización con Mezcla 1-1</i>
Brix (%)	15,45	15,35	15,41	15,39
Pol (%)	12,3	12,42	12,36	12,38
Pureza (%)	79,61	80,91	80,21	80,44
pH (alcalizado)	4,61	7,40	5,30	5,90
Color (UCF)	-	281,36	321,35	310,12
Turbidez (UTF)	-	23,60	112,40	84,20
Ceniza (%)	-	0,55	0,54	0,56
Fosfórico (PPM)	-	14,70	28,5	27,4
Rel. Sól/Líqu	-	0,38	0,07	0,09
Reductores (%)	-	0,94	1,23	1,21
V Sed Lib (m/s)	-	3,67E-04	1,02E-03	8,33E-04
V Sed (m/s)	-	1,83E-04	5,10E-04	4,17E-04

Nota: UCF: Unidad de color fotocolorimétrica.

UTF: Unidad de turbidez fotocolorimétrica.

Como niveles de comparación para los experimentos siguientes se tomó los resultados analíticos cuando se alcalinizó con Ca (OH)<sub>2</sub> (vía tradicional).

Al realizar un primer análisis de los resultados analíticos obtenidos cuando se alcaliza a 4°Be como se puede apreciar en la tabla 4, se observa que la mezcla de 2 partes de

CaCO<sub>3</sub> por 1 de Ca (OH)<sub>2</sub> alcanza el pH más cercano a las condiciones de trabajo en el proceso fabril (pH 7,8-8,4), siendo esta la principal variable a controlar en la alcalinización. Una velocidad de sedimentación 1,92E-04 aceptable para el proceso industrial. En tanto el jugo claro obtenido presenta mayor color (354 UTF) y una turbidez de 64 UTF. Siendo esta mezcla la de mejores resultados a 4 °Be. Al comparar esta alternativa de alcalinización con la vía tradicional se observa que la turbidez y el color alcanzado son mayores.

**Tabla 4.** Resultados analíticos cuando se alcaliza a 4 °Be

<i>Parámetro</i>	<i>Alcalinización Mezcla 1-1 4°Be</i>	<i>Alcalinización Mezcla 1-2 4°Be</i>	<i>Alcalinización Mezcla 2-1 4°Be</i>
Brix (%)	15,39	14,73	14,64
Pol (%)	12,38	12,42	12,32
Pureza (%)	80,44	84,32	84,15
pH alcalizado	5,90	10,10	7,50
Color (UCF)	310,12	132,00	354,00
Turbidez (UTF)	84,20	20,50	64,00
Ceniza (%)	0,56	0,32	0,53
Fosfórico (PPM)	27,40	19,70	14,60
Rel. Sól/Líq	0,09	0,43	0,55
Reductores (%)	1,21	0,54	1,21
V Sed Lib (m/s)	8,33E-04	2,90E-04	3,83E-04
V' Sed (m/s)	4,17E-04	1,45E-04	1,92E-04

Al evaluar los resultados obtenidos a 8 °Be que se muestran en la tabla 5, se puede observar que tanto la mezcla 1-1 como la 2-1, alcanzan valores de pH (7,9 y 8,12 respectivamente) dentro de las condiciones de trabajo en la fábrica (pH 7,8-8,4). Comparando estas muestras en cuanto al color y la turbidez la mezcla 1-1 presenta mejores resultados, escogiendo esta como la de mejores resultados a 8 °Be.

**Tabla 5.** Resultados analíticos de la alcalinización a 8 °Be

<i>Parámetro</i>	<i>Alcalinización Mezcla 1-1 8°Be</i>	<i>Alcalinización Mezcla 1-2 8°Be</i>	<i>Alcalinización Mezcla 2-1 8°Be</i>
Brix (%)	14,66	14,62	14,65
Pol (%)	12,19	12,17	12,15
Pureza (%)	83,15	83,24	82,94
pH alcalizado	7,90	10,10	8,12
Color (UCF)	148,00	112,00	376,00
Turbidez (UTF)	38,00	13,80	47,50
Ceniza (%)	0,53	0,27	0,60
Fosfórico (PPM)	19,60	8,50	26,80
Rel. Sól/Líq	0,43	0,63	0,38
Reductores (%)	1,14	0,68	1,12

V Sed Lib (m/s)	3,17E-04	2,13E-04	3,66E-04
V´ Sed (m/s)	1,58E-04	1,07E-04	1,83E-04

Al comparar las dos mejores variantes de cada experiencia, se pudo constatar que en cuanto a color y turbidez, la mezcla en iguales proporciones a 8°Be, presenta los mejores resultados. Está a su vez, al compararla con la vía tradicional presenta mejores resultados en cuanto a color, velocidad de sedimentación, no siendo así en la turbidez.

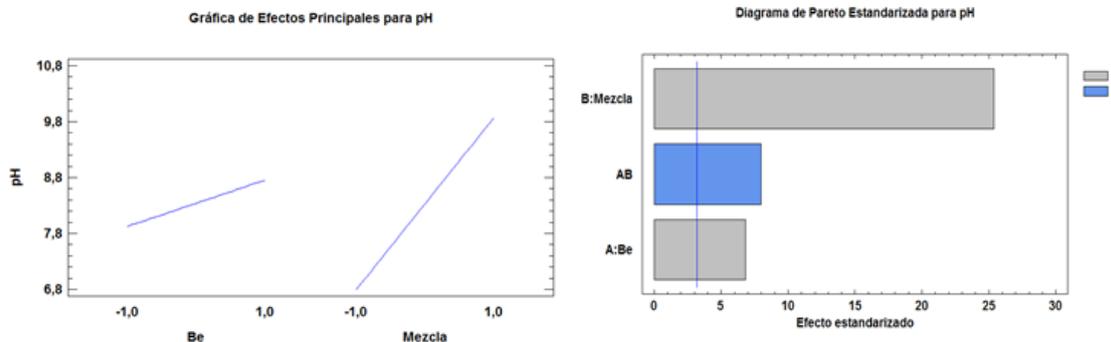
### 3.1. Resultados estadísticos.

Los modelos matemáticos obtenidos proyectan el comportamiento del pH de alcalinización según los grados baumé y las mezclas analizadas como se muestra en la tabla 6.

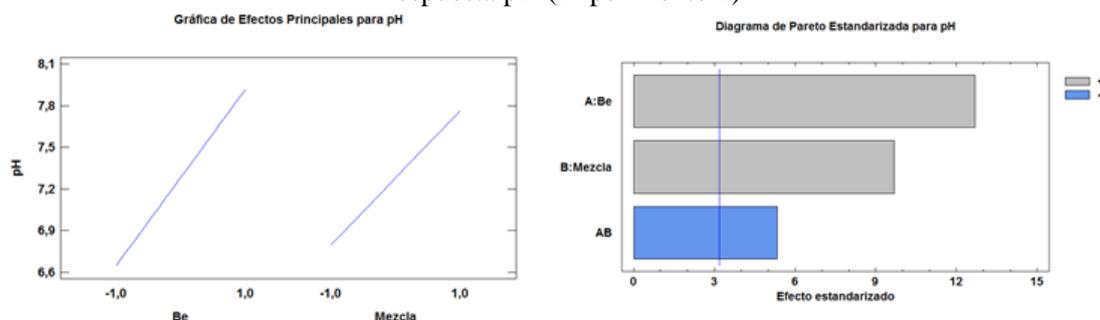
**Tabla 6.** Modelo Matemático ajustado para la variable respuesta pH

<i>Modelo</i>	<i>R<sup>2</sup> (%)</i>
$pH1 = 8,34 + 0,415 \cdot Be + 1,54 \cdot Mezcla - 0,485 \cdot Be \cdot Mezcla$	99
$pH2 = 7,28375 + 0,63375 \cdot Be + 0,48375 \cdot Mezcla - 0,26625 \cdot Be \cdot Mezcla$	97

El tratamiento de los resultados se realizó con el software *Statgraphics Centurion XVI.II*, en el caso del primer experimento para la variable respuesta pH, el factor de mayor incidencia es la mezcla como se observa en el diagrama de Pareto, esto está dado principalmente al predominio de la lechada de cal en la mezcla aumentando el pH. Ver figuras 1 y 2.



**Figura 1.** Diagrama de Pareto y Grafico de efectos principales para la variable respuesta pH (Experimento 1)



**Figura 2.** Diagrama de Pareto y Grafico de efectos principales para la variable respuesta pH (Experimento 2)

En el gráfico de efectos principales se observa que la pendiente es más pronunciada en

el primer experimento que en el segundo en cuanto a las mezclas debido principalmente a la variación del contenido de la lechada de cal en ambos casos.

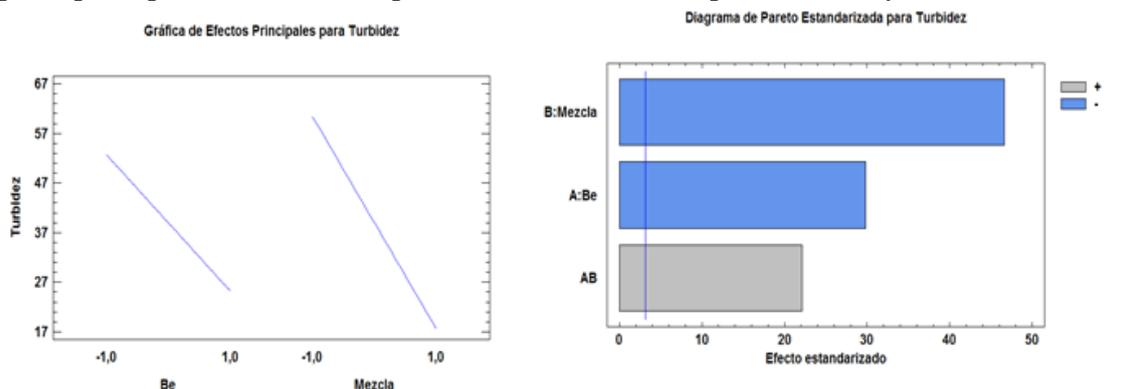
La turbidez es la expresión de la propiedad óptica de la muestra que causa que los rayos de la luz sean dispersados y adsorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra (Blanco, 2004). Esta es una propiedad de suma importancia para lograr altos valores de calidad en los jugos clarificados, pues de ella dependen varios factores importantes en la calidad del producto final.

Los modelos matemáticos obtenidos proyectan el comportamiento de la turbidez del jugo claro según los grados baumé y las mezclas analizadas, ver tabla 7.

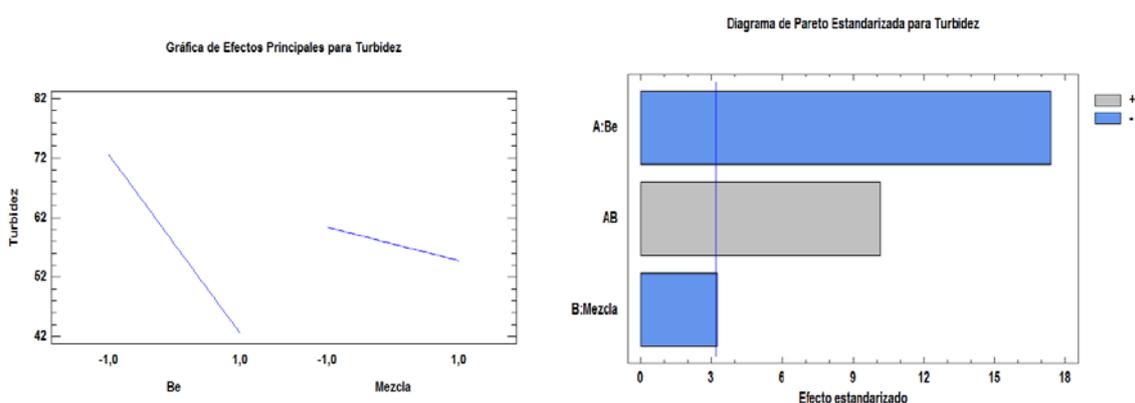
**Tabla 7.** Modelo Matemático ajustado para la variable respuesta turbidez

Modelo	R <sup>2</sup> (%)
$Turbidez\ 1 = 38,95 - 13,7 \cdot Be - 21,4 \cdot Mezcla + 10,15 \cdot Be \cdot Mezcla$	99
$Turbidez\ 2 = 57,5375 - 15,0625 \cdot Be - 2,8125 \cdot Mezcla + 8,7875 \cdot Be \cdot Mezcla$	98

En las figuras 3 y 4 se muestran los Diagramas de Pareto y Gráfico de efectos principales para la variable respuesta turbidez en los experimentos 1 y 2.



**Figura 3.** Diagrama de Pareto y Gráfico de efectos principales para la variable respuesta turbidez (Experimento 1)



**Figura 4.** Diagrama de Pareto y Grafico de efectos principales para la variable respuesta turbidez (Experimento 2)

En la tabla 8 se muestran los elementos químicos y su concentración tanto del jugo clarificado como los lodos obtenidos, analizados por espectrofotometría de absorción atómica. Este análisis se hizo con el objetivo de comparar los elementos y su

concentración con la que presenta la dieta de las aves y como fertilizantes de los suelos. Al ser comparado los lodos obtenidos en cada experiencia de acuerdo a la concentración de los minerales necesarios en la dieta de las aves según plantea (Santiago y col., 2005) y Cuca (2016), pueden ser utilizadas, con un tratamiento, previo para su posterior uso en la alimentación de aves y además en la fertilización de los suelos según World Fertilizer use Manual (2018) ya que todos los nutrientes son necesarios en pequeñas o grandes cantidades y cumplen una función específica en el crecimiento de la planta y en la producción alimentaria.

**Tabla 8.** Caracterización por espectrofotometría de absorción atómica a muestras de jugo clarificado y sedimento tratados con agente alcalinizante

<i>Muestras</i>	<i>Elementos Químicos por Absorción Atómica (mg/l)</i>							
	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>P</i>	<i>Pb</i>
Jugo (Ca(OH) <sub>2</sub> )	96,43	60,81	*-1,62	0,49	2,04	*-1,56	519,33	23,67
Jugo (CaCO <sub>3</sub> )	261,41	55,83	7,60	5,72	41,51	*-0,87	956,36	15,34
Jugo Mezcla 1:1 (Ca(OH) <sub>2</sub> +CaCO <sub>3</sub> )	150,76	53,02	*-0,22	10,10	28,22	*-1,40	915,44	8,36
Lodo (Ca(OH) <sub>2</sub> )	47,95	26,32	*-1,52	0,64	2,87	*-1,54	652,83	25,28
Lodo (CaCO <sub>3</sub> )	74,00	39,30	0,18	3,31	5,50	*-1,53	*1153,57	13,88
Lodo Mezcla 1:1 (Ca(OH) <sub>2</sub> +CaCO <sub>3</sub> )	65,92	40,77	*-1,41	0,77	2,16	*-1,56	797,22	15,25
CaCO <sub>3</sub>		203,72	*-1,63	1,13	13,98	*-1,39	962,20	31,31

-\* Fuera del rango de calibración

### 3.2. Discusión

Se pudo constatar que al utilizar el CaCO<sub>3</sub> solo, no alcanza los valores de pH de trabajo, su reacción con los P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> es menor que cuando se alcaliza con la lechada de cal. Se constató que utilizando mezclas en diferentes proporciones de lechada de cal y una suspensión de carbonato de calcio (Mezcla 1-1, 1-2 y 2-1), a diferentes grados baumé (4°Be y 8°Be) existe diferencia en cuanto a velocidad de sedimentación, el pH alcalinizado y los parámetros de calidad medidos. Mejorando la velocidad de sedimentación y los parámetros. Siendo la alternativa de mejores resultados cuando se alcaliza a 8°Be, con una mezcla en iguales proporciones de lechada y carbonato de calcio.

## 4. CONCLUSIONES

1. La utilización del CaCO<sub>3</sub> como agente alcalinizante no es una variante a considerar, aunque se ve favorecida la velocidad de sedimentación, la calidad del jugo disminuye, debido a que el pH no alcanza los niveles de trabajo en la fábrica y la reacción química con el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se dificulta.
2. De las alternativas propuestas se concluye que el tratamiento de los jugos con la mezcla de 1-1 (1 de CaCO<sub>3</sub> -1 de Ca(OH)<sub>2</sub>) presenta resultados favorables cuando se utiliza a valores cercanos a 8 °Be de alcalinización, manifestando valores de color 148 UCF, turbidez de 38 UTF y velocidad de sedimentación 1,58E-04 m/s.

3. Del análisis estadístico realizado a las dos experiencias, se observó la marcada influencia que presenta tanto la concentración como las mezclas en las variables respuestas (pH y turbidez). Los modelos matemáticos obtenidos predicen con alto grado de confiabilidad el comportamiento de estas variables.
4. Con la utilización del software estadístico *Statgraphics Centurion XVI.II* se pudo constatar que cuando en la mezcla predomina la lechada de cal aumenta el pH y la turbidez disminuye como se muestra en el diagrama de Pareto y la gráfica de efectos principales.
5. Los lodos analizados por espectrofotometría de absorción atómica, al ser comparados con los minerales necesarios tanto en la dieta de las aves como para fertilizantes dieron resultados similares a los reportados en la literatura, pudiéndose utilizar con este fin.

## REFERENCIAS

- Asturcalseo., 2018a Para que se usa el carbonato de calcio., <http://www.Carbonatodecalcio.es/2018/10/16/para-que-se-usa-el-carbonato-de-calcio/>.
- Asturcalseo., 2018b Uso del carbonato de calcio en alimentos., <http://www.Carbonatodecalcio.es/2018/12/19/Usos-carbonato-de-calcio-alimentos/>.
- Blanco, C.A, Diseño de un sedimentador de placa paralela con flujo horizontal bajo el concepto de la tasa de desbordamiento superficial., Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Civil, Universidad de los Andes, Colombia, 2004.
- Corella, L., Estudio y análisis del comportamiento del pH y la alcalinización en el proceso de fabricación de azúcar en la Empresa Azucarera Amancio Rodríguez., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial, Centro Universitario Las Tunas Vladimir Ilich Lenin, Cuba, 2011.
- Cuca, M., La alimentación de aves de corral., XVI Congreso de Técnicos del Centro Internacional de Investigaciones Pecuarias, México, octubre, 2016, pp. 1-8.
- Demera, M., Almeida, A., Moreira, J., Zambrano, L., Loor, K., y Alcívar, C., Clarificación del jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) mediante el empleo de mucílagos naturales., Revista Alimentos Hoy., Vol. 23, No. 36, 2015, pp. 51-61.
- Denis, R., Estudio de la adsorción y del comportamiento del pH, en la decoloración de disoluciones azucaradas y jugo de caña, con bentonita., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2006.
- Duran, J.M., Magaña-Pérez, G., Ayala-Tirado, R.C., García-Gómez, R., Amábilis-Sosa, L.E., Durán-de-Bazúa, M. y Solís-Fuentes, J.A., Uso de quitina y quitosana procedentes de residuos de camarón en la purificación de jugos de caña (*Saccharum officinarum* L.), Revista Química Central., Vol. 5, No. 01, 2016, pp. 27-40.
- Egüe, M., Yacimiento Carbonato de calcio “Tanque Viña”., Balance anual de recursos y reservas 2018, Enero de 2019, pp. 2-3.
- Escudero, M., Diestra, A., Influencia de la concentración de dos tipos de floculantes en el color y turbidez de jugo clarificado en agroindustrial San Jacinto S.A.A., Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional Del Santa.

- Nuevo Chimbote-Perú, 2016.
- Gómez, L., Fuentes, R., y Navarro, B., Influencia de la zeolita natural en le intensificación de la tecnología para la obtención de azúcar de caña., Anuario de la Sociedad Cubana de Geología, No.1, 2013, pp. 79-82.
- Hernández, J., Comportamiento del pH, la absorbancia, y alternativas de purificación de fluidos azucarados, con el empleo de la bentonita., Tesis para optar el título de Ingeniero Químico, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2007.
- Rein, P., Ingeniería de la caña de Azúcar., Bartens, Berlín, Alemania, 2012, Capítulo X, pp. 219-221.
- Quezada, W., Quezada, W., y Gallardo, I., Plantas mucilaginosas en la clarificación del jugo de la caña de azúcar., Centro Azúcar, Vol. 43, No. 2, 2016, pp. 1-11.
- Santiago, H., Teixeira, L., Lopes, J., Cezar, P., Oliveira, R., Clementino, D., Soares, A., Toledo, S., Tablas Brasileñas para aves y cerdos. Composición de alimentos y requerimientos nutricionales., 2da Edición, Universidad Federal de Vicosa, Departamento de Zootecnia, Brasil, 2005, pp. 187-205.

### **CONFLICTO DE INTERÉS**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

### **CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES**

- Ing. Suleidys Herrera Álvarez. Realizó el estudio experimental, procesó los datos en el Software estadístico, análisis y escritura del artículo.
- Dr.C. Luis. A. Gómez Rodríguez. Colaboró con el análisis de los resultados obtenidos en la escritura del artículo.
- Ing. Pablo Cabrera Ferrán. Obtuvo los datos reales en el central utilizados para el análisis experimental a nivel de laboratorio.