

Artículo Original

**INFLUENCIA DE SUSTANCIAS MINERALES NATURALES EN LA
CLARIFICACIÓN DE JUGOS AZUCARADOS Y SUS LODOS**

**INFLUENCY OF MINERALS SUSTANS NATURALS IN CLARIFICATION OF
SUGAR JUICE AND IT'S SLUDGES**

Pablo Cabrera Ferrán^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-5155-8739>
Luis A. Gómez Rodríguez² <https://orcid.org/0000-0003-4264-1693>
Suleidys Herrera Álvarez³ <https://orcid.org/0000-0003-3992-6583>

¹ Empresa Azucarera de Villa Clara, AZCUBA. Independencia # 7 e/ Lorda y Máximo Gómez, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

² 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.

³ Empresa Geominera del Centro, Carretera a Malezas Km, 2 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Diciembre 19, 2019; Revisado: Enero 24, 2020; Aceptado: Abril 6, 2020

RESUMEN

Introducción:

Es preciso la búsqueda de nuevos productos alternativos para la clarificación de jugos de caña que permitan una diversificación en la industria azucarera cubana.

Objetivo:

Evaluar diferentes alternativas de clarificación de jugos de caña por medio de la utilización de sustancias minerales naturales como la Bentonita y la Zeolita.

Materiales y Métodos:

Para evaluar el comportamiento sedimentacional del jugo de caña objeto de estudio, se utilizó como método fundamental la prueba de sedimentación en probeta, los análisis químicos a nivel de laboratorio y el software estadístico *Statgraphics*, utilizando para ello, agentes minerales e instrumentos de laboratorio.

Resultados y Discusión:

Como resultados fundamentales se obtienen diferentes valores de velocidades de sedimentación, así como de: brix, pol, pureza, color, ceniza, contenido de fosfórico, reductores y la turbidez de los jugos, los cuales sirvieron de apoyo en la selección del tratamiento adecuado para los mismos, partiendo de ello se propone una alternativa de clarificación en la cual se alcaliza a un pH de 8,2 y se utiliza la zeolita como agente mineral clarificante.



Copyright © 2020. 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: Pablo Cabrera, Email: pablo.ferran@nauta.cu



Conclusiones:

El tratamiento de los jugos con Zeolita presenta resultados favorables cuando se alcaliza a pH cercanos a 8,2, mostrando velocidades de sedimentación de $1,65E-04$ m/s y valores de turbidez aceptable de 35 UTF, lo que constituye una alternativa novedosa y diversificadora, pues ofrece la posibilidad de emplear los lodos provenientes del proceso en la posterior formulación de alimento para animales o en la fertilización de tierras para el cultivo.

Palabras clave: Bentonita; clarificación; jugos; minerales; zeolita.

ABSTRACT

Introduction:

It is necessary to search for new alternative products for the clarification of sugar cane juices that allow for diversification in the Cuban sugar industry.

Objective:

To evaluate different alternatives for the clarification of sugarcane juices through the use of natural mineral substances such as Bentonite and Zeolite.

Materials and Methods:

To evaluate the sedimentation behavior of the cane juice under study, the test of sedimentation in a test tube, chemical analysis at laboratory level and the statistical software Statgraphics were used as fundamental methods, using mineral agents and laboratory instruments.

Results and Discussion:

As fundamental results, different values of sedimentation rates are obtained, as well as: brix, pol, purity, color, ash, phosphoric content, reducers and the turbidity of the juices, which served as support in the selection of the adequate treatment for them. Based on this, a clarification alternative is proposed in which alkalinity is used at a pH of 8.2 and zeolite is used as a mineral clarifying agent.

Conclusions:

Juice treatment with zeolite presents favorable results when alkalized at pH close to 8.2, showing sedimentation rates of $1.65E-04$ m/s and acceptable turbidity values of 35 UTF, which constitutes a novel and diversifying alternative, since it offers the possibility of using the sludge from the process in the subsequent formulation of animal feed or in the fertilization of land for cultivation.

Keywords: Bentonite; clarification; juices; minerals; zeolite.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de clarificación de jugo del Ingenio Azucarero Héctor Rodríguez ubicado en el batey de Sitiecito, perteneciente al municipio de Sagua la Grande, ubicado en la provincia de Villa Clara, consta de las siguientes etapas:

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

- Adición de floculante.

Todas las sustancias contenidas en el tallo de la caña, diferentes a la sacarosa, son consideradas impurezas (Honing, 1987). La clarificación de jugo es el proceso inicial por el cual éstas son eliminadas (bien sean solubles, coloidales, en suspensión o insolubles) y que son susceptibles a coagulación y floculación por medios mecánicos y químicos, que implican el asentamiento y remoción por decantación de las mismas, para producir un jugo claro de buena calidad con la ayuda conjunta de la cal, el calor y la adición de floculante (Rivas, 2012). Los floculantes usados comúnmente para la clarificación de jugo, son compuestos de poliacrilamida parcialmente hidrolizados, los cuales son del tipo aniónicos. Los floculantes de tipo catiónico tienen una aplicación mucho más limitada, principalmente como decolorantes en procesos de flotación de jarabe y meladura (Escudero y Diestra, 2016).

Según lo expuesto por Gómez y col., (2013) acerca de la influencia de la utilización de zeolita granular de 0,8 mm de diámetro promedio y dosis de 600 ppm, en la clarificación de jugo caña, esta permite obtener un incremento de 16,91% en la velocidad de sedimentación, sin que los valores expuestos de caracterización del mineral, hayan sido estudiados preliminarmente. En cuanto al color y turbiedad del jugo clarificado, estos disminuyen en: 0,93% y 9,48 %, con el uso de la zeolita.

Es precisamente la búsqueda de nuevas alternativas para esta operación de sedimentación con el empleo de Bentonita y/o Zeolita naturales en jugo de caña, a la mejor granulometría y dosis que resulten de pruebas preliminares, lo que se analiza en la presente investigación, considerando el gran poder de adsorción y arrastre de los mencionados agentes minerales enriquecidos por componentes del propio jugo que favorecen la composición del lodo o sedimento obtenido en la clarificación, que podrá ser utilizado posteriormente en la alimentación animal, específicamente en pollos o como fertilizante en tierras para el cultivo.

La zeolita utilizada provino del yacimiento de Tasajera en la provincia de Villa Clara-Cuba, compuesta por 85% de clinoptilonita y heulantita, 10% de modernita y el 5% restante de otros minerales (Méndez y Soca, 2016). El resultado más importante del Programa de Desarrollo de la Zeolita en Cuba, después de la introducción creciente en la economía de los resultados científicos, es la estimulación al desarrollo de investigaciones que están aportando usos y tecnologías muy novedosas. Las zeolitas han sido y siguen siendo utilizadas en numerosos procesos tecnológicos como catalizadores o soportes de catalizadores. Debido a la forma y tamaño de sus poros, canales, cavidades y nidos en la superficie externa de los cristales, es posible llevar a cabo numerosas reacciones catalizadas por funciones ácidas o redox (Huanca y col., 2018).

Por otra parte, la bentonita es una arcilla compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas, con independencia de su génesis y modo de aparición. Las esmectitas le confieren sus características, y estas a su vez están compuestas principalmente por montmorillonita y beidelita, las bentonitas también se componen en menor cantidad por minerales como cuarzo, feldespato, mica, illita y caolín (Carrión, 2016). Aprovechar las propiedades adsorbentes de estos minerales en la clarificación para conformar una torta de cachaza enriquecida con los nutrientes que puede aportar el jugo, para luego ser empleada como un suplemento en la alimentación animal o como fertilizante. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar diferentes alternativas de

clarificación de jugos de caña por medio de la utilización de sustancias minerales naturales como la Bentonita y la Zeolita.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron muestras del jugo mezclado proveniente del quinto molino, el cual a su vez es mezclado con el jugo de los filtros rotatorios al vacío de la fábrica. Estas muestras fueron tratadas con cal y Bentonita, Zeolita o sus mezclas indistintamente, previo a la determinación de su Brix, Pol, Pureza y pH. Para ello se tomaron en cuenta tres granulometrías (0,6mm, 0,8mm, 1,0mm) y dosis (0,2gr, 0,3gr, 0,4gr) diferentes en probetas de 500 mL para la posterior elección de las mejores condiciones de operación. Luego de determinar las condiciones adecuadas en cada caso, se procede a realizar las pruebas en probetas de 1000 L, pero esta vez variando las condiciones del pH en el momento de la alcalización entre los valores de 7,6 y 8,2.

Se determinó mediante la absorción atómica por espectrofotometría, la composición química tanto de los jugos como de los lodos obtenidos en el proceso de purificación.

2.1 Condiciones experimentales

1. Tomar una muestra de jugo de forma aleatoria.
2. Determinar el pH, el Brix, la Temperatura, la Pol y la Pureza como indicadores fundamentales para la alcalización en cada muestra tomada.
3. Alcalizar con lechada de cal a 4 °Bé, hasta pH de 7,6 ó 8,2 dependiendo de la experiencia.
4. Llevar la muestra alcalizada hasta la temperatura de ebullición y dejar durante 3min a 5min después de ebullición.
5. Depositar la muestra en una probeta aforada y a la vez añadir el agente mineral de acuerdo a las condiciones de cada corrida, midiendo a cada minuto la altura de la zona del sedimento hasta observar una altura prácticamente constante.

Se realizaron 30 pruebas en probeta para obtener un total de 60 datos. Cada experimento se hizo por duplicado. Para ello, se desarrollaron cuatro experimentos claves y uno demostrativo. Además, tras cada ensayo se realizaron análisis al jugo clarificado y sus respectivos sedimentos con el objetivo de evaluar la eficiencia de los minerales utilizados en la clarificación, así como las propiedades del lodo o sedimento que resulta de la operación en cuestión. Se analizaron los resultados tras cada ensayo y fueron considerados para realizar el siguiente experimento, de manera que el último se desarrolló con base en los resultados obtenidos de los otros ensayos. Como primera actividad se comparó la granulometría utilizada en los minerales y la dosis adecuada para efectuar el tratamiento con la mayor eficiencia posible de manera que se puedan obtener las condiciones en las que se deben aplicar dichos minerales. Finalmente, para demostrar la influencia del pH de alcalización en el proceso de clarificación, se realizaron pruebas a diferentes valores de pH (7,6 y 8,2) con los mejores resultados obtenidos en cuanto a granulometría y dosificación de los agentes minerales y sus respectivas mezclas 1:1.

La calidad de la materia prima para la realización de los ensayos no fue la adecuada debido a que los índices de madurez de la misma oscilaron entre valores de 0,89 a 0,96,

inferiores al valor óptimo de 1, además de los altos contenidos de tierra presente en los jugos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de las corridas experimentales desarrolladas, se pudieron confeccionar las tablas 1 y 2 en las que aparecen los resultados analíticos para la posterior determinación de la dosis y granulometría adecuadas en cada mineral.

Tabla 1. Selección de la dosis adecuada para cada mineral

| <i>Jugo mezclado</i> | | <i>Jugo clarificado</i> | <i>Bentonita</i> | | | <i>Zeolita</i> | | |
|----------------------|------------------|-------------------------|------------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|
| <i>Análisis</i> | <i>Resultado</i> | <i>Análisis</i> | <i>0,2 g</i> | <i>0,3 g</i> | <i>0,4 g</i> | <i>0,2 g</i> | <i>0,3 g</i> | <i>0,4 g</i> |
| Brix (%) | 15,23 | Brix (%) | 15,18 | 15,2 | 15,21 | 15,21 | 15,2 | 15,22 |
| Pol (%) | 12,3 | Pol (%) | 12,32 | 12,38 | 12,43 | 12,35 | 12,38 | 12,44 |
| Pureza (%) | 80,76 | Pureza (%) | 81,16 | 81,45 | 81,72 | 81,20 | 81,45 | 81,73 |
| pH | 4,52 | pH | 6,7 | 7 | 6,9 | 7,1 | 6,9 | 7,3 |
| Color (UFC) | - | Color (UFC) | 148 | 140 | 136 | 123 | 121 | 115 |
| Turbidez (UFT) | - | Turbidez (UFT) | 23,7 | 21,2 | 20,1 | 24,2 | 24,5 | 20,5 |
| Ceniza (%) | - | Ceniza (%) | 0,5 | 0,52 | 0,54 | 0,52 | 0,47 | 0,57 |
| Fosfórico (PPM) | - | Fosfórico (PPM) | 29,5 | 28,3 | 25,3 | 13,6 | 14,3 | 16,1 |
| Sedimento (%) | - | Sedimento (%) | 53,75 | 53,51 | 51,30 | 36,67 | 34,56 | 32,63 |
| Reductores (%) | - | Reductores (%) | 1,08 | 1,06 | 1,08 | 1,03 | 1,06 | 1,11 |
| V sed lib (cm/min) | - | V sed lib (m/s) | 7,3E-05 | 8,3E-05 | 9E-05 | 2,6E-04 | 2,9E-04 | 3,3E-04 |
| V´ sed (cm/min) | - | V´ sed (m/s) | 3,6E-05 | 4,2E-05 | 4,5E-05 | 1,32E-04 | 1,5E-04 | 1,6E-04 |
| Rel Sól/Líqu | - | Rel Sól/Líqu | 1,17 | 1,15 | 1,05 | 0,58 | 0,53 | 0,48 |

Tabla 2. Selección de la granulometría adecuada para cada mineral

| <i>Jugo mezclado</i> | | <i>Jugo clarificado</i> | <i>Bentonita</i> | | | <i>Zeolita</i> | | |
|----------------------|------------------|-------------------------|------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| <i>Análisis</i> | <i>Resultado</i> | <i>Análisis</i> | <i>0,6 mm</i> | <i>0,8 mm</i> | <i>1,0 mm</i> | <i>0,6 mm</i> | <i>0,8 mm</i> | <i>1,0 mm</i> |
| Brix (%) | 15,23 | Brix (%) | 15,2 | 15,11 | 15,21 | 15,13 | 15,12 | 15,17 |
| Pol (%) | 12,3 | Pol (%) | 12,38 | 12,27 | 12,35 | 12,33 | 12,31 | 12,33 |
| Pureza (%) | 80,76 | Pureza (%) | 81,45 | 81,20 | 81,20 | 81,49 | 81,42 | 81,28 |
| pH | 4,52 | pH | 7 | 6,98 | 7,1 | 7,1 | 7,2 | 7,4 |
| Color (UCF) | - | Color (UCF) | 140 | 162 | 156 | 116 | 127 | 126 |
| Turbidez (UTF) | - | Turbidez (UTF) | 21,2 | 25,1 | 22,6 | 0,48 | 26,8 | 28 |
| Ceniza (%) | - | Ceniza (%) | 0,52 | 0,48 | 0,41 | 16,7 | 0,51 | 0,53 |
| Fosfórico (PPM) | - | Fosfórico (PPM) | 28,3 | 31,3 | 30,12 | 15 | 18,3 | 12 |
| Sedimento (%) | - | Sedimento (%) | 53,51 | 56,74 | 61,23 | 30,39 | 31,68 | 32,21 |
| Reductores (%) | - | Reductores (%) | 1,06 | 1,12 | 1,14 | 0,97 | 1,01 | 1,02 |
| V sed lib (cm/min) | - | V sed lib (m/s) | 8,3E-05 | 7,8E-05 | 7,3E-05 | 3,2E-04 | 2,9E-04 | 2,8E-04 |
| V´ sed (cm/min) | - | V´ sed (m/s) | 4,2E-05 | 4,0E-05 | 3,6E-05 | 1,6E-04 | 1,5E-04 | 1,4E-04 |
| Rel Sól/Líqu | - | Rel Sól/Líqu | 1,15 | 1,31 | 1,58 | 0,47 | 0,52 | 0,53 |

Partiendo de los resultados arrojados, se pudieron seleccionar tanto la dosis como la granulometría adecuada para cada mineral, siendo estas, la menor granulometría (0,6 mm) y la mayor dosis (0,4 g) en ambos minerales.

En la tabla 3 se muestran los resultados analíticos obtenidos cuando se alcalizó a pH 7,6 donde se puede percibir que al utilizar la Zeolita sola como agente mineral en la clarificación se obtienen mejores resultados analíticos y valores mayores de velocidad de sedimentación.

Tabla 3. Resultados analíticos de la alcalización del jugo clarificado a pH 7,6

| <i>Análisis</i> | <i>Zeolita</i> | <i>Bentonita</i> | <i>Mezcla</i> |
|---------------------|----------------|------------------|---------------|
| Brix (%) | 15,24 | 15,28 | 15,3 |
| Pol (%) | 12,83 | 12,79 | 12,79 |
| Pureza (%) | 84,19 | 83,70 | 83,59 |
| pH | 6,9 | 6,7 | 6,64 |
| Color (UCF) | 136 | 134 | 147 |
| Turbidez (UTF) | 25 | 28,3 | 28,5 |
| Ceniza (%) | 0,34 | 0,42 | 0,46 |
| Fosfórico (ppm) | 12 | 14,8 | 15,3 |
| Sedimento (%) | 35,493 | 42,254 | 44,930 |
| Reductores (%) | 1,03 | 1,11 | 1,15 |
| $V_{sed lib}$ (m/s) | 2,63E-04 | 1,6E-04 | 1,3E-04 |
| V'_{sed} (m/s) | 1,3E-04 | 8,3E-05 | 6,6E-05 |

De la evaluación de los resultados mostrados en la tabla 4, al realizar la alcalización del jugo a pH 8,2, se concluye que la utilización de la Zeolita como agente clarificante, en comparación con la Bentonita y con su respectiva mezcla 1:1 es la mejor opción pues la misma ofrece resultados de calidad.

Tabla 4. Resultados analíticos de la alcalización del jugo clarificado a pH 8,2

| <i>Análisis</i> | <i>Zeolita</i> | <i>Bentonita</i> | <i>Mezcla</i> |
|---------------------|----------------|------------------|---------------|
| Brix (%) | 15,24 | 15,26 | 15,29 |
| Pol (%) | 12,85 | 12,81 | 12,8 |
| Pureza (%) | 84,32 | 83,94 | 83,71 |
| pH | 7,42 | 7,45 | 7,36 |
| Color (UCF) | 127 | 129 | 126 |
| Turbidez (UTF) | 35 | 38 | 43 |
| Ceniza (%) | 0,36 | 0,43 | 0,5 |
| Fosfórico (ppm) | 9,5 | 12,8 | 13,7 |
| Sedimento (%) | 30,00 | 40,70 | 43,80 |
| Reductores (%) | 0,87 | 0,92 | 0,95 |
| $V_{sed lib}$ (m/s) | 3,3E-04 | 2,1E-04 | 1,83E-04 |
| V'_{sed} (m/s) | 1,65E-04 | 1,05E-04 | 9,1E-05 |

Para comprender el comportamiento de los factores puestos a prueba en esta segunda parte del experimento se realizó un diseño de experimentos del tipo 2^2 en el cual se pretende identificar, tanto la incidencia como la magnitud de los factores seleccionados, usando como criterio de incidencia aquellos que tengan valores de probabilidad por

debajo de 0,05.

En la Figuras 1 y 2 se muestran los Gráficos de Efectos Principales obtenidos para el primer (bentonita) y el segundo (zeolita) experimento respectivamente tras el procesamiento de los patrones de velocidad de sedimentación en el Software estadístico *Statgraphics*.

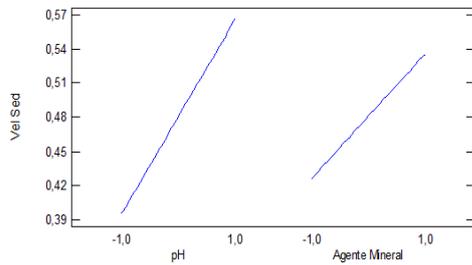


Figura 1. Gráfica de Efectos Principales

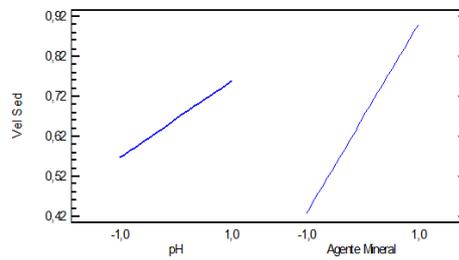


Figura 2. Gráfica de Efectos Principales

El tratamiento de los datos con el software *Statgraphics*, arrojó que tanto en el primer experimento (bentonita) como en el segundo (zeolita), los factores inciden de manera positiva en los resultados obtenidos en cuanto a la velocidad de sedimentación, con valores de R^2 de 96,77 y 98,72 % respectivamente observando que se obtienen mayores velocidades de sedimentación cuando se trabaja a pH cercano a 8,2 y con la utilización de la zeolita como mineral independiente.

A continuación, en las Figuras 3 y 4, se muestran los Gráficos de Efectos Principales, obtenidos mediante el procesamiento de los valores de turbidez fotocolorimétrica con el Software estadístico *Statgraphics* para cada uno de los experimentos

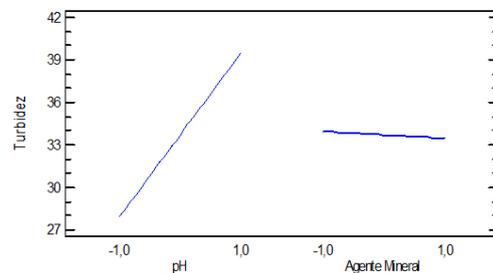


Figura 3. Gráfica de Efectos Principales

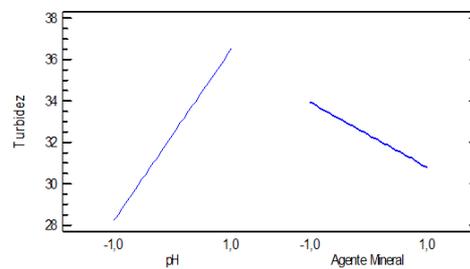


Figura 4. Gráfica de Efectos Principales

Se puede concluir, tras el análisis de los siguientes gráficos que el pH incide positivamente en los valores de turbidez cuando se utilizó la Zeolita como agente clarificante y se realizó la alcalización del jugo a un pH de 8,2.

A partir de los resultados que se muestran en la tabla 5, los cuales fueron obtenidos en el laboratorio a través de la absorción atómica aplicada para la determinación de los elementos presentes en las muestras de sedimento y jugo clarificado, se puede concluir que, en ambos experimentos las muestras que se obtienen de acuerdo a la concentración de minerales necesarios en la dieta de las aves según plantea Cuca (2016) y Santiago y col., (2005), 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 la International Fertilizer Association, (2002) 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 5. Caracterización por espectrofotometría de absorción atómica a muestras de jugo clarificado y sedimento tratados con agente mineral clarificante

| <i>Muestras</i> | <i>Fe</i> (ppm) | <i>Ca</i> (ppm) | <i>Mg</i> (ppm) | <i>Zn</i> (ppm) | <i>Mn</i> (ppm) | <i>Cu</i> (ppm) | <i>P</i> (ppm) | <i>Pb</i> (ppm) |
|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Bentonita como mineral | *-675,233 | 221,392 | 120,220 | *-0,5656 | 33,055 | *-0,5994 | 689,078 | 14,710 |
| Zeolita como mineral | *-178,940 | 213,765 | 34,500 | *-1,178 | 4,626 | *-1,196 | 823,934 | 9,528 |
| Jugo clarificado (sin mineral) | 2,038 | 96,487 | 60,811 | *-1,617 | 0,4846 | *-1,56 | 519,33 | 23,67 |
| Jugo Clarificado (con Bentonita) | 35,606 | 182,957 | 58,073 | 0,1843 | 11,318 | *-1,381 | *-1017,699 | 20,524 |
| Jugo Clarificado (con Zeolita) | 47,718 | 215,701 | 56,405 | 0,9615 | 16,404 | 81,283 | 253,550 | 21,273 |
| Jugo Clarificado (con Bent + Zeol) | 28,22 | 150,764 | 53,019 | *-0,246 | 10,098 | *-1,402 | 915,435 | 8,362 |
| Lodo (sin mineral) | 2,872 | 47,95 | 26,317 | *-1,523 | 0,6359 | *-1,542 | 652,83 | 25,28 |
| Lodo(con Bentonita) | 2,148 | 65,098 | 40,452 | *-1,781 | 0,5623 | *-1,577 | *-1256,448 | 16,171 |
| Lodo (con Zeolita) | 2,709 | 56,601 | 36,409 | *-1,664 | 0,6016 | *-1,572 | 969,868 | 16,104 |
| Lodo (con Zeol + Bent) | 2,37 | 58,364 | 38,282 | *-1,683 | 0,6825 | *-1,556 | 501,033 | *-1,771 |

-* Fuera del rango de calibración

Se puede constatar con lo observado en los experimentos, que el comportamiento en la disminución de la altura del sedimento en el tiempo, ocurre con mayor velocidad de sedimentación en los jugos en los que el agente mineral se encuentra en una menor granulometría (0,6 mm) y con una mayor dosis (0,4 g/500 mL). Esto se debe al aumento de la superficie específica volumétrica, por tanto, habrá una mayor probabilidad de que las partículas incrementen su densidad y esto provoca una mayor compactación en el fondo de la probeta (Rosabal, 2010).

3.1. Análisis del comportamiento de los jugos en la sedimentación

El análisis para las 3 variantes de los minerales (Bentonita, Zeolita, y su Mezcla), a iguales condiciones de clarificación, pero variando el pH de alcalización entre 7,6 y 8,2 arrojó que existen diferencias entre las velocidades de sedimentación para las tres variantes, siendo la variante de zeolita a pH 8,2 la que presenta mejores resultados. Esto se debe a la incorporación de una mayor cantidad de lechada de cal y con esta de un mayor contenido de óxido de calcio, lo que permite una floculación más rápida y completa al reaccionar dicho componente con el P₂O₅ del jugo (Morales, 2018).

4. CONCLUSIONES

En el período de zafra analizado la calidad de la materia prima seleccionada para realizar las experiencias, en correspondencia con la que se procesó en la industria no fue

la óptima, concluyendo que:

1. Las pruebas preliminares realizando la sedimentación a escala de laboratorio permitieron establecer la mejor dosis (0,4 g/500 mL) del agente mineral y su granulometría (0,6 mm).
2. En los resultados obtenidos con el empleo de la zeolita natural como agente clarificante y alcalizando a pH=8,2, se evidenció una mayor velocidad de sedimentación libre con respecto a cuando se utilizó bentonita y/o la mezcla de ambas 1:1, pues la misma fue de 1,65E-04 m/s, además, los valores de (Pureza=84,32, Color=127 UFC y Turbiedad=35 UFT), presentaron resultados, favorables para el proceso.
3. Con el análisis de los diagramas de Efectos principales, se pudo determinar la marcada influencia que ejercen tanto el pH como el agente mineral utilizados en cada caso en la eficiencia del proceso de clarificación.
4. La espectrofotometría por absorción atómica de los lodos procedentes del proceso de clarificación corrobora que la composición química de estos, permite su posterior utilización tanto para la alimentación de aves como en la fertilización de tierras para el cultivo.

REFERENCIAS

- Carrión, C., Utilización de diferentes niveles de bentonita para la clarificación de vino de uva, Tesis presentada en opción al título de Ingeniero en Industrias Pecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2016.
- Cuca, M., La alimentación de aves de corral, XVI Congreso de Técnicos del Centro Internacional de Investigaciones Pecuarias, México, Octubre, 2016, pp. 1-8.
- Escudero, F., y Diestra, A., Influencia de la concentración de dos tipos de floculantes en el color y la turbidez del jugo clarificado en agroindustrias San Jacinto S.A.A., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa, Perú, 2016.
- Gómez, L., Fuentes, R., Navarro, B., Influencia de la zeolita natural en la intensificación de la tecnología para la obtención de azúcar de caña., Anuario de la Sociedad Cubana de Geología, No.1, 2013, pp. 79-82.
- Honing, P., Principios de tecnología azucarera., La Habana, Editorial Revolucionaria, 1987, pp. 67-69.
- Huanca, P., Paredes, B., Rodríguez, M., Gonzales, D., Tejada, T., Chávez J., Caracterización de una zeolita natural de Ocuvi, Perú para la remoción de plomo Pb (II) en solución a nivel de laboratorio., Revista Avances en Ciencia e Ingeniería., Vol. 9, No.3, 2018, pp. 1-12.
- International Fertilizer Association (IFA)., Los Fertilizantes y su uso., Vol. 3, Editorial FAO, Asociación internacional de la industria de los fertilizantes, 2002, pp. 6-12.
- Méndez, N., y Soca, M., Evaluación agroindustrial del impacto de la zeolita en el cultivo de la caña de azúcar., Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente y desarrollo., Vol. 16, No.31, 2016, pp. 3-5.
- Morales, I., Cuantificación de pérdidas indeterminadas de sacarosa por inversión química en la sección de clarificadores para dos tecnologías de clarificación., Tesis

presentada en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad de San Carlos, Guatemala, 2018.

Rivas, D., Estudio experimental de la incidencia del coagulante, floculante y tiempo de sedimentación en el proceso de clarificación de jugo a escala de laboratorio para la elaboración de azúcar blanco especial., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad Nacional de ingeniería, Nicaragua, 2012.

Rosabal, M., Hidrodinámica y separaciones mecánicas, Tomo II, Editorial Félix Varela, La Habana, 2010, pp. 30-45.

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 Vicoso, Departamento de Zootecnia, Brasil, 2005, pp. 187-205.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Ing. Pablo Cabrera Ferrán. Realizó los análisis experimentales a nivel de laboratorio, procesó los datos en el *Software* estadístico. Participó en la escritura del trabajo.
- Dr.C. Luis A. Gómez Rodríguez. Colaboró con el análisis de los resultados obtenidos y en la escritura del artículo.
- Ing. Suleidys Herrera Álvarez. Obtuvo los datos reales en la planta industrial donde se procesan los minerales utilizados para los análisis experimentales a nivel de laboratorio.