



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA

“Optimización del proceso de concentración del jugo de caña por evaporación al vacío y del secado del jugo concentrado para obtener azúcar en polvo (panela)”

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniera Química

AUTORAS

Bach. Cadenillas Villar Morelia Victoria

Bach. Villanueva Reaño Sandra Mareli

ASESOR

Dr. Ángeles Chero Pedro Pablo

Lambayeque 18 de mayo de 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA

“Optimización del proceso de concentración del jugo de caña por evaporación al vacío y del secado del jugo concentrado para obtener azúcar en polvo (panela)”

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniera Química

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

M.Sc. Rubén Darío Sachun García

Presidente

Dr. Luis Antonio Pozo Suclupe

Secretario

M.Sc. Manuel Antonio Díaz Paredes

Vocal

Dr. Pedro Pablo Ángeles Chero

Asesor

DEDICATORIA

Esta tesis la pude realizar gracias a mi padre Emiliano Cadenillas Herrera y a mi madre Nieves Villar Chávez, por ser pilar fundamental en mi vida, por haberme inculcado buenos valores y darme la mejor educación, por todo el apoyo que me brindaron desde pequeña y por siempre creer en mí. A mis abuelos paternos que desde el cielo iluminan mi camino, a mis abuelos maternos quienes desean verme realizada como profesional, a mis hermanos y a todas aquellas personas que confían siempre en mí.

Morelia Victoria

DEDICATORIA

La presente tesis lo dedico principalmente a Dios por ser nuestro creador, a mi padre Juan Villanueva Barturen porque siempre quiso darme la mejor educación y porque sé que desde el cielo siempre me apoyó para ser la persona que soy ahora, a mi madre Celia Reaño Mendoza por darme fuerza para continuar y ser el pilar fundamental en todo mi proceso profesional, por la motivación constante que me incentiva a cumplir mis metas.

Sandra Mareli

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	10
INTRODUCCION	12
ANTECEDENTES.....	13
1. BASE TEORICA	15
1.1. Caña de azúcar	15
1.2. Composición de la caña de azúcar	16
1.3. Características deseables en variedades de caña de azúcar para panela	17
1.3.1. Características primordiales	17
1.3.2. Características secundarias o complementarias	18
1.4. Jugo de caña.....	18
1.5. Componentes del jugo de caña de azúcar.....	18
1.6. Panela	19
1.7. Proceso de producción de la panela	20
1.8. Beneficios de la panela.....	21
1.9. Secado.....	22
1.10. Evaporación al vacío.....	22
2. DISEÑO METODOLOGICO.....	23
2.1. Descripción del ámbito de estudio.....	23
2.1.1. Tipo de estudio.....	24
2.2. Población	24
2.3. Muestras	24
2.4. Variables	24
2.4.1. Variable Independiente.....	25
2.4.2. Variable Dependiente	25
2.4.3. Definición y operacionalización de variables.....	25
2.5. Diseño experimental	26
2.6. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales	27
2.6.1. Técnicas.....	27
2.6.2. Instrumentos.....	27
2.6.3. Equipos.....	28
2.7. Procedimiento Experimental.....	32
3. RESULTADOS	35
3.1. Primera etapa: Evaporación al vacío de la materia prima	35
3.1.1. Especificaciones de la muestra inicial (jugo de caña)	35

3.1.2.	Parámetros fisicoquímicos iniciales (jugo de caña)	36
3.1.3.	Resultados de los ensayos de evaporación en función de la variación de presión del sistema y manteniendo la Concentración del producto (°Bx) constante.	36
3.1.4.	Resultados de los ensayos de evaporación en función de la variación de presión del sistema y manteniendo el tiempo de finalización del proceso de concentración de jugo constante.	39
3.1.5.	Análisis estadístico de resultados	40
3.2.	Segunda Etapa: Batido, secado y trituración de masa obtenida	42
3.2.1.	Relación del Brix obtenido del batido, secado y trituración	42
3.2.2.	Comparación de los resultados obtenidos en ensayos con respecto a “Panela orgánica comercial” en relación de Brix y Humedad	43
4.	DISCUSIONES	46
5.	CONCLUSIONES.....	48
6.	RECOMENDACIONES.....	50
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	52
8.	ANEXOS.....	54

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	17
<i>Composición química de la caña de azúcar.....</i>	17
Tabla 2	19
<i>Componentes del jugo de caña de azúcar.....</i>	19
Tabla 3	25
<i>Definición y operacionalización de variables.....</i>	25
Tabla 4	35
<i>Especificaciones primarias de la muestra inicial</i>	35
Tabla 5	36
<i>Parámetros fisicoquímicos iniciales del jugo de caña utilizado para muestra.....</i>	36
Tabla 6	36
<i>Parámetros obtenidos en función de la variación de presión y manteniendo los °Bx constante.</i>	36
Tabla 7	39
<i>Parámetros obtenidos en función de la variación de presión y manteniendo el tiempo de finalización del proceso constante.</i>	39
Tabla 8	40
<i>Parámetros obtenidos en función de la variación de la temperatura de operación.</i>	40
Tabla 9	41

<i>Resultados de la regresión múltiple.</i>	41
Tabla 10	42
<i>Brix obtenido durante los ensayos en función del batido, secado y trituración ordenados por número de ensayo aplicado</i>	42
Tabla 11	43
<i>Brix y humedad obtenidos comparado con el estándar comercial ordenado por número de ensayo aplicado</i>	43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	16
Características de calidad de la caña de azúcar. Recuperado de Larrahondo, 1995.	16
Figura 2	20
Contenido nutricional y ciertas características fisicoquímicas de la panela. Adaptado Fuente: (García et al., 2007).	20
Figura 3	21
Proceso de elaboración de panela (Guamán et al, 2009).....	21
Figura 4	24
Localización de la vivienda donde se realizó el proceso experimental y análisis.	24
Figura 5	28
Equipo construido por las autoras para emular una evaporación al vacío del jugo de caña.....	28
Figura 6	29
Brixómetro	29
Figura 7	29
Termómetro de reloj	29
Figura 8	30
Batidora	30
Figura 9	30
Olla a presión	30
Figura 10	31
Manómetro de glicerina	31
Figura 11	31
Conexiones de bronce y cobre	31
Figura 12	32
Bomba de vacío de 1 HP	32
Figura 13	34

Diseño de la experimentación.	34
Figura 14	37
Relación de la Presión respecto a la temperatura.	37
Figura 15	37
Tiempo de finalización del proceso a diferentes temperaturas.	37
Figura 16	39
°Bx obtenido a diferentes temperaturas.....	39
Figura 17	54
Las autoras junto a todos los equipos utilizados durante la fase experimental de la investigación. ..	54
Figura 18	54
Sistema de evaporación al vacío diseñado por las autoras.	54
Figura 19	55
Incorporación del jugo de la muestra 01 al sistema de evaporación al vacío.	55
Figura 20	55
Incorporación del jugo de la muestra 01 al sistema de evaporación al vacío.	55
Figura 21	56
Sistema de evaporación al vacío diseñado por las autoras operando	56
Figura 22	56
Termómetro analógico mostrando la temperatura de aproximación en el proceso de evaporación al vacío.....	56
Figura 23	57
Medición de los grados Brix obtenidos en los diferentes ensayos de evaporación al vacío utilizando el sistema.....	57
Figura 24	57
Medición de los grados Brix en los diferentes ensayos de evaporación al vacío utilizando el sistema.....	57
Figura 25	58
Muestra del ensayo A, una vez terminada la evaporación al vacío.....	58
Figura 26	58
Las autoras de la investigación realizando el proceso de batido y secado de las muestras.	58
Figura 27	59
Las autoras de la investigación realizando el proceso de batido y secado de las muestras.	59
Figura 28	59
Resultado final de la panela obtenida mediante evaporación al vacío, secado y batido manual	59
Figura 29	60
Resultado final de la panela obtenida mediante evaporación al vacío, secado y batido manual.	60
Figura 30	60

Sistema de evaporación al vacío diseñado por las autoras de la investigación, provista de bomba de vacío, manómetros especializados, olla de cocción a presión y acoples de cobre y bronce. 60

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo optimizar el proceso de evaporación al vacío, mediante la evaluación de las variables de operación (presión, temperatura, °Bx, Tiempo) y parámetros durante el secado del jugo para la obtención de panela en polvo.

Inicialmente se tuvo por hipótesis que con la manipulación parcial de la variable presión, haciendo llevar a esta al máximo vacío posible que se tuvo al alcance (bomba de vacío semi industrial) se podría tener una influencia favorable en el consumo energético del sistema (menor temperatura y menor tiempo de operación) y una concentración (°Bx) adecuada.

Se realizaron 12 análisis de evaporación al vacío con la finalidad de comprobar lo planteado anteriormente, donde se varia la presión de operación (por ende, la temperatura de operación) y se evalúa la influencia en el tiempo de finalización del proceso y en la concentración °Bx del producto. Finalmente, las mismas muestras producto de la evaporación fueron sometidas un batido y secado para obtener la panela.

En base al diagnóstico obtenido se llegó a la conclusión de que el proceso de concentración de jugo de caña de azúcar será óptimo a una temperatura de 60.8°C obteniéndose un máximo °Bx de 82.5 a un menor tiempo de finalización de 0.708 horas y la variable más significativa en la optimización del proceso será el tiempo de finalización.

ABSTRACT

The objective of this research was to optimize the vacuum evaporation process, by evaluating the operating variables (pressure, temperature, ° Bx, Time) and parameters during the drying of the juice to obtain powdered panela.

Initially, it was hypothesized that with the partial manipulation of the pressure variable, making it reach the maximum possible vacuum that was within reach (semi-industrial vacuum pump), it could have a favorable influence on the energy consumption of the system (lower temperature and shorter operating time) and a suitable concentration (° Bx).

12 vacuum evaporation analyzes were carried out in order to verify the above, where the operating pressure (therefore, the operating temperature) is varied and the influence on the completion time of the process and on the concentration is evaluated. Bx of the product. Finally, the same samples as a product of evaporation were beaten and dried to obtain panela.

Based on the diagnosis obtained, it was concluded that the sugarcane juice concentration process will be optimal at a temperature of 60.8 ° C, obtaining a maximum ° Bx of 82.5 at a shorter completion time of 0.708 hours and the variable Most significant in optimizing the process will be the completion time.

INTRODUCCION

Es ampliamente reconocido el retraso del rubro panelero en el departamento de Lambayeque, siendo considerado más, como una elaboración artesanal. La carencia de competencia que poseen los procedentes de la industria panelera en el mercado perdura en estado desfavorable frente a su principal competidor, la azúcar común producida en la industria azucarera.

Según las investigaciones preliminares, el sector panelero en nuestro departamento carece de ciencia adecuada para la producción, limitadas investigaciones sobre nuevos usos, presentaciones y la falta de normativa de calidad.

Considerando esta problemática, la presente investigación está enfocada en determinar los parámetros óptimos del proceso para lograr alta productividad y eficiencia de tal manera que se optimice el proceso de la obtención de azúcar en polvo (panela), y a su vez sean utilizadas en reemplazo del azúcar como un producto más sano y orgánico para el consumo humano.

Se realizaron ensayos a modo de prueba para comprobar la efectividad en lo que respecta a ahorro energético y calidad de parámetros obtenidos utilizando el método de evaporación al vacío del jugo de caña obteniéndose resultados bastante satisfactorios, dentro de los cuales se llegó a determinar las variables de operación de la evaporación al vacío óptimas para el sistema casero diseñado que emula un equipo industrial. Así como también se comprobó la efectividad del método de secado y batido / triturado del producto para la obtención del producto final, con resultados óptimos.

Los resultados obtenidos fueron claves para llegar a la conclusión de que se puede mejorar significativamente el proceso de obtener panela en el mercado de Lambayeque con un significado ahorro energético.

ANTECEDENTES

Colcha, Ponce (2013) en su tesis “Optimización del proceso de secado y desintegración de conglomerados en la obtención de azúcar natural, en la agroindustria panelera gardenia del cantón Atuntaqui” Ecuador; tuvo como finalidad establecer parámetros óptimos de temperatura y espesor del material durante el proceso de secado del azúcar natural, para facilitar la desintegración de terrones de azúcar y encontrar la humedad óptima del terrón de azúcar natural a la salida del secador. Se concluyó que los parámetros óptimos de temperatura del aire de secado y espesor de la base del material a secarse se ha llegado a determinar los siguientes niveles: 58 a 60 °C la temperatura del aire y de 2 a 2,5 cm el espesor de la base de los terrones de azúcar natural y una humedad óptima de 1 a 1,5 %, con tiempo de secado de 2 horas con el fin de evitar atascamientos y atmósfera polvorienta en el proceso de molienda.

Fiestas, Santos, Banda, Valdivieso y Arellano (2015) desarrollaron el diseño de una línea de producción de Panela granulada donde concluyen que es de suma importancia para el proceso de la obtención de un producto de calidad, el tipo de jugo utilizado, y también el rango de pH del jugo a trabajar, jugando este un papel importante en la textura del producto final y el cual debe estar en un valor a 7 o aproximarlos ya que los valores inferiores a 7 ocasionan el “La falta de grano” y los valores superiores a 7 oscurecen más allá de lo normal el producto final.

Guzmán, Castaño en su tesis “Secado por atomización del jugo de la caña de azúcar” Colombia; tuvo como objetivo investigar otro proceso de secado de jugo de caña de azúcar para producir panela en polvo, se evaluó el uso de evaporación al vacío y secado por atomización. Llegando a la conclusión que se obtienen resultados óptimos con una temperatura del aire de entrada de 130°C (Temperatura del aire de salida de 85°C) y una concentración de jugo de 40°Brix. El

polvo obtenido del secado por atomización de jugo de caña de azúcar en las condiciones establecidas puede competir con otros edulcorantes.

1. BASE TEORICA

1.1. Caña de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), principal componente en la producción de panela forma parte de la familia Gramineae, proviene de Nueva Guinea, fue transportada a América por Cristóbal Colon hacia 1502 y cultivada en áreas tropicales y subtropicales.

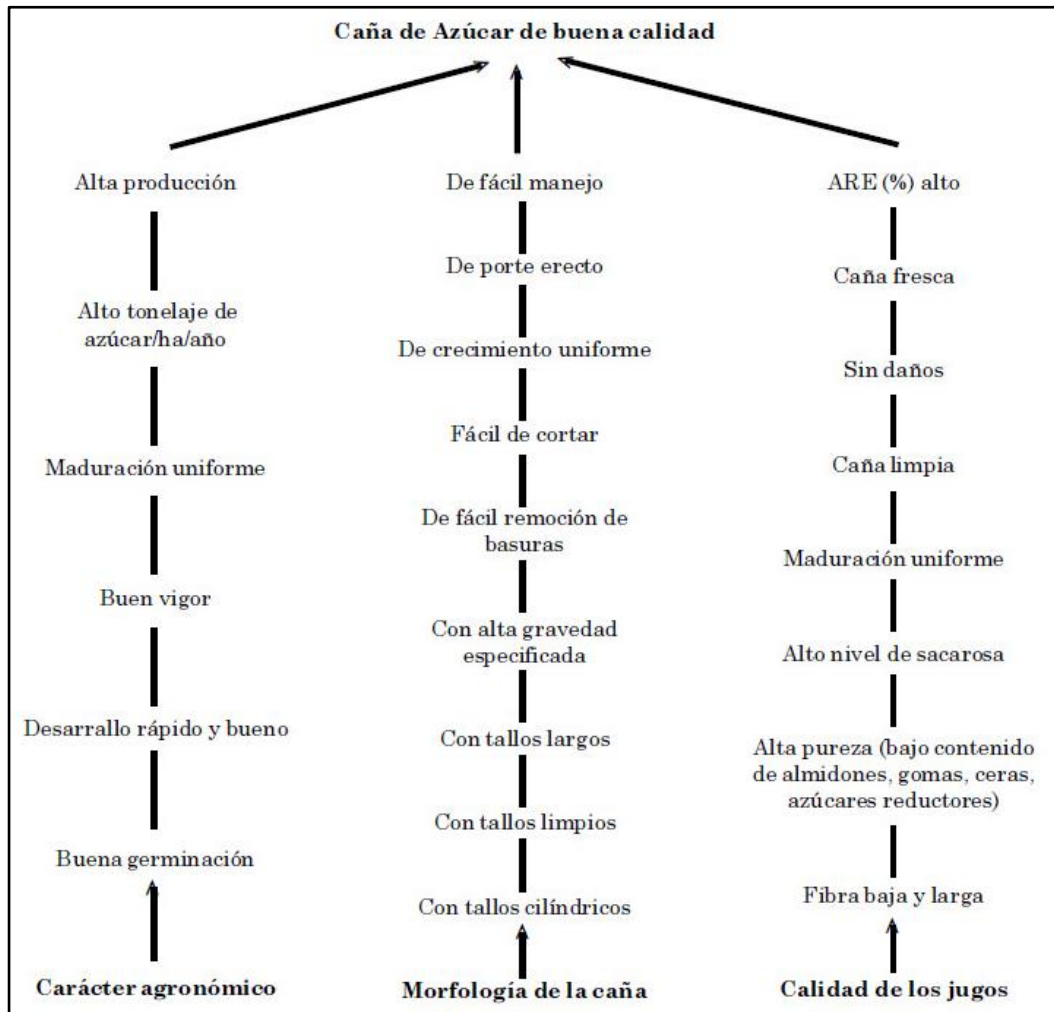
Las partes principales de la estructura que definen la forma de una planta son las raíces, los tallos, las hojas y las flores. El tallo es una de las partes fundamentales porque es donde se acumula el azúcar.

Para cultivar caña de azúcar, la temperatura mínima debe ser de 14-16 °C. La temperatura de cultivo adecuada es de alrededor de 30 ° C, la humedad relativa debe ser alta y el suministro de agua adecuado.

La caña de azúcar está compuesta de jugo y fibra. La fibra es la zona insoluble en agua (H₂O) y se compone principalmente de celulosa, la cual, así mismo se compone de monosacáridos como la glucosa (dextrosa). El contenido porcentual de sólidos solubles en agua (sacarosa, azúcares reductores y otros constituyentes) se nombra generalmente Brix. La proporción entre sacarosa y el Brix en el jugo se designa como pureza del jugo. El contenido aparente de sacarosa, calificado como porcentaje en peso y definido por polarimetría, se denomina “Pol”. Los sólidos solubles distintos de la sacarosa, que contengan los azúcares reductores como glucosa y otras sustancias orgánicas e inorgánicas se deben a la diferencia entre el Brix y el Pol.

Figura 1

Características de calidad de la caña de azúcar. Recuperado de Larrahondo, 1995.



1.2.Composición de la caña de azúcar

La estructura de la caña de azúcar depende de la variedad y los factores de crecimiento. Comúnmente el agua está en el rango de 73% y 76%. La fibra (% de caña) cambia entre 11% y 16% y los sólidos totales disolubles (% caña, °Brix) cambia entre 10 % y 16%. Algunos de los azúcares más simples son la glucosa y la fructosa (azúcares reductores), que se encuentran en el jugo de caña de azúcar madura en concentraciones que van de 1% al 5%. Las cualidades como el color y el grano o dureza de la panela requiere, en parte de la proporción de los azúcares reductores, los cuales cuando aumentan por causa del deterioro

o carecen de maduración de la planta, alcanzan a producir incrementos en el color y grano defectuoso en la panela.

Tabla 1

Composición química de la caña de azúcar

COMPONENTES	CANTIDAD %	COMPONENTES	CANTIDAD %
Fibra	10.00	Agua (H ₂ O)	74.50
Azúcares		Total azúcares	14.00
Sacarosa(C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁)	12.50	Cenizas	0.50
Glucosa (C ₆ H ₁₂ O ₆)	0.90	Compuestos nitrogenados	0.40
Fructosa (C ₆ O ₆ H ₁₂)	0.60	Ácidos y grasas	0.60

Fuente: Recuperado de Chen, 1991

1.3. Características deseables en variedades de caña de azúcar para panela

Las características agronómicas e industriales más importantes que deben reunir las variedades de caña para panela se pueden clasificar en: características primordiales y características secundarias o complementarias (Osorio G, 2007).

1.3.1. Características primordiales

Son aquellos caracteres especiales o resaltantes que se consideran fundamentales:

- Altos tonelajes de caña por unidad de área (TM/Ha).
- La resistencia a plagas y patologías es económicamente importante.
- Extenso rango de adaptación a diferentes ecosistemas agrícolas (nivel del mar, temperatura, precipitaciones, suelos, terreno y luz solar).
- Jugos que tengan elevado contenido de azúcar, fáciles de clarificar y da una panela de alta calidad (Grado Brix).
- Tienen un alto porcentaje de sustracción de jugos en el molino (% de extracción).

1.3.2. Características secundarias o complementarias

Son esas condiciones que, sin ser importantes, se consideran como complemento.

- a. Es deficiente o no florece (% de floración).
- b. Tolerancia a la sequía (crecimiento vegetativo).
- c. Corte, elevación manual y transporte eficientes (rendimiento en el corte, elevación y transporte).
- d. Tolerancia a la inversión de sacarosa después del corte (% de azúcar reductores).

1.4. Jugo de caña

Para exprimir el jugo de la caña de azúcar, triture los tallos en un molino o trapiche; es una maquina formada de 3 rodillos superpuestos en forma horizontal o verticalmente. El jugo de caña de azúcar fermenta en un periodo de diez a doce horas, dependiendo de la temperatura.

El jugo de caña de azúcar produce alimentos como azúcar, panela, miel de caña y alcohol en la industria del alcohol. El resto del jugo de caña de azúcar, generalmente conocido como bagazo, se usa como combustible en las hornillas de la industria agrícola panelera, alimentación animal y como ingrediente principal para la producción de pulpa de papel.

1.5. Componentes del jugo de caña de azúcar.

Entre los fundamentales componentes del jugo de caña de azúcar se encuentra el agua, azúcares, sales, sustancias orgánicas e inorgánicas.

Tabla 2*Componentes del jugo de caña de azúcar*

COMPONENTES	CANTIDAD %
Agua (H ₂ O)	75 – 88
Azúcares	17 – 21
Sacarosa (C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁)	10 – 20
Glucosa (C ₆ H ₁₂ O ₆)	2 – 4
Fructosa (C ₆ O ₆ H ₁₂)	2 – 4
Sales	1 – 3
Ácidos orgánicos libres	1.5 – 5.25
Componentes orgánicos menores	0.5 – 0.6
Otros	3 – 5

Fuente: Recuperado de Chen, 1991

1.6. Panela

Quezada, W. (2007) afirma que el azúcar natural es “conocido como azúcar de panela, panela granulada o panela pulverizada, es un sólido granulado que fabricado cuidadosamente en las agroindustrias paneleras está constituido casi en su totalidad por sacarosa, de sabor dulce, soluble en agua y color amarillo pardo” (p.46).

Estudios hechos por Quezada, W. (2007) demuestran la viabilidad de agregar tanto aromatizantes como saborizantes a la miel hidrolizada, panela y al azúcar natural, esto con la finalidad de una estrategia para fortalecer el sector panelero con nuevos productos, que sean de calidad y a un bajo costo, con el aprovechamiento para el consumo.

Figura 2

Contenido nutricional y ciertas características fisicoquímicas de la panela. Adaptado

Fuente: (García et al., 2007).

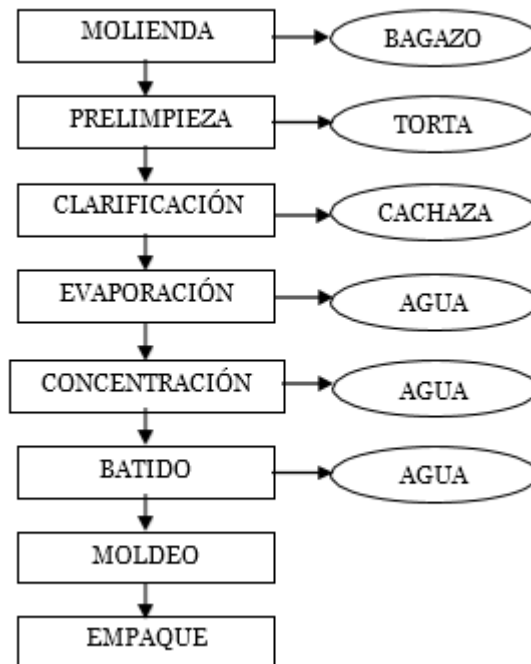
Componente/valor	Panela
Carbohidratos, g/100 g	97.0
Sacarosa, g/100 g	89.5
Azúcar invertido, g/100 g	6.0
N2 total, g/100 g	-
Proteína, g/100 g	0.74
Grasa, g/100 g	0.35
Fibra, g/100 g	0.01
Ceniza, g/100 g	1.7
Minerales en mg/100g	
Potasio	535.0
Calcio	170.0
Magnesio	29.0
Fósforo	133
Sodio	23
Hierro	2.5
Manganeso	-
Zinc	2.8
Flúor mg/100 g	-
Cobre mg/100 g	0.6
Energía en cal/100 g	377.5
Humedad g/100 g	1.9
pH	6

1.7. Proceso de producción de la panela

Para la elaboración del piloncillo se comienza con el sembrado de la caña de azúcar, y el cual termina con el empaque y el posterior almacenamiento del producto. En cambio, en los trapiches, se desarrolla desde la molienda al empaque y posterior almacenamiento.

Figura 3

Proceso de elaboración de panela (Guamán et al, 2009)



1.8. Beneficios de la panela

La panela conserva los nutrientes que contiene la caña de azúcar, el cual lo hace un buen alimento para que sea consumido a diario, los beneficios son:

- Es natural: estos no usan ningún insumo químico en su producción, a diferencia de los azúcares.
- Ausencia de fertilizantes: En el campo de cultivo de caña de azúcar no se usa ningún tipo de fertilizante, el cual es beneficio para el medio ambiente.
- Nutrientes: la panela contiene mayor cantidad de nutrientes (minerales y vitaminas), lo cual lo hace más sano para el organismo.
- Energía: brinda energía (entre 310 – 350 calorías por cada 100 gramos), la cual ayuda a fortalecer el sistema inmunológico de los niños. Esto conlleva a prevenir enfermedades como la anemia y raquitismo.

- Su consumo adecuado ayuda a combatir estados de cansancio, fatiga y gripes. Por ejemplo, un adulto al ingerir 70 gramos diarios de panela le generara un aporte energético el cual es equivalente al 9% de sus necesidades.

1.9.Secado

El secado evita el deterioro del producto y depende del tipo de producto a secar en cuanto a las dimensiones del producto, características de las partículas sólidas, uniformes y permitan la determinación de su superficie para determinar la velocidad de secado. Pero, puede ocurrir que las partículas no cumplan con tales condiciones y entonces la velocidad de secado se relaciona con la altura del lecho del material (Maupoey *et al*, 2001). Un secador de bandejas es útil para secado de edulcorantes sólidos, donde la velocidad de producción oscila por los 50 kg/h, pero por el trabajo requerido de carga y descarga su operación es costosa. El secado por circulación de aire a través de capas estacionarias de sólido es lento y los ciclos de secado son largos (McCabe *et al*, 2007).

El secado consiste en separar pequeñas cantidades de agua o algún otro líquido de un material sólido, con la finalidad de menorar el líquido que queda como residuo, el cual tiene que llegar a un valor que sea aceptablemente bajo. Es comúnmente la parte final de una serie de operaciones. Generalmente, el producto que se obtenga de un secador está listo para ser empaquetado.

1.10. Evaporación al vacío

Consiste en un sistema de concentración de disoluciones acuosas originados de los diferentes procesos industriales. Estos suelen llamarse concentradores, ya que su función principal es concentrar un residuo hasta por lo general al punto de saturación, incluso llegar hasta un residuo seco (5% de agua). También podemos definirla como un método para

minimizar el residuo, mas no de depuración. Por lo general la reducción del residuo contaminante oscila entre un 90 – 95% con su correspondiente ahorro energético.

Si la temperatura excede un cierto límite la molécula activa del fluido a evaporar se invierte o se descompone, la temperatura y presión son las dos variables de mucha importancia para materiales termosensibles por lo que suele ser necesario operar a presiones inferiores a 14.7 psi (presiones de vacío).

El vacío es necesario para mantener la temperatura lo suficientemente baja para minimizar la formación de color y degradación de la sacarosa en el proceso. (Rein, 2012)

2. DISEÑO METODOLOGICO

2.1. Descripción del ámbito de estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolló en un laboratorio instalado previamente en una vivienda de propiedad de una de las autoras (Calle Tarapacá #521, Plaza Unión – Hospital viejo – Chiclayo) donde se realizó los trabajos experimentales consistentes en ensayos de evaporación al vacío de las muestras, secado y triturado debido a que fue imposible acceder a las instalaciones de la FIQIA de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo por la situación de pandemia que se atraviesa actualmente. Así mismo los análisis realizados fueron llevados a cabo en la misma residencia, ya que se trabajó con instrumentos de medición adecuados para la operación.

La fase experimental tuvo una duración efectiva de 03 meses, entre los meses de Junio y Agosto del 2020.

Figura 4

Localización de la vivienda donde se realizó el proceso experimental y análisis.



Nota: Vista satelital de la vivienda donde se realizó la parte teórica y ensayos de la investigación. Recuperado de Google Earth

2.1.1. Tipo de estudio

El estudio es de tipo experimental. La investigación se desarrolló en un laboratorio instalado en la vivienda de una de las autoras aplicando los procesos experimentales diseñados.

2.2. Población

Jugo de caña de azúcar recolectada de las industrias azucareras de la ciudad de Chiclayo.

2.3. Muestras

12 L de jugo de caña de azúcar.

2.4. Variables

2.4.1. Variable Independiente

“Optimización del proceso de evaporación y secado del jugo de caña”

2.4.2. Variable Dependiente

“Obtención de azúcar en polvo (panela)”

2.4.3. Definición y operacionalización de variables

Tabla 3

Definición y operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADOR	INDICE	TECNICAS / INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS
Variable independiente: “Optimización del proceso de evaporación y secado del jugo de caña”	Recortar tiempos de evaporación y eficiencias de concentración donde se busca maximizar el proceso de evaporación y optimización del resultado de los parámetros tales como °Bx. del jugo final para el siguiente proceso de secado.	Evaporación al vacío	Temperatura de evaporación	°C	Observación / Hoja de registro
		Concentración inicial del jugo de caña.	(g azúcar/g jugo)	brix	Observación / Hoja de registro
		Presión de vacío en evaporación	psi	psi	Observación / Hoja de registro
		Concentración final del jugo de caña.	(g azúcar/g jugo)	brix	Observación Hoja de registro
		Temperatura de secado		°C	Observación Hoja de registro
		Humedad inicial del jugo de caña.	Temperatura de secado		

		% humedad final del jugo de caña.	% de agua inicial	%	Observación Hoja de registro
			% de agua final	%	Observación Hoja de registro
Variable dependiente :	Sólido granulado compuesto casi en su totalidad por sacarosa, de sabor dulce, soluble en agua y color amarillo pardo. De características físico químicas propias.		Humedad	% de agua final	Observación Hoja de registro
“Obtención de azúcar en polvo (panela)”		Características fisicoquímicas del azúcar en polvo (panela)	pH	Valor de pH	Observación Hoja de registro
			azucares	brix	Observación Hoja de registro

2.5. Diseño experimental

El diseño de contrastación de la hipótesis para esta investigación de tipo aplicada corresponde al experimental: Diseño de grupo control con test directo.

Al grupo se le aplica una única prueba dándole el estímulo o tratamiento experimental (evaporación al vacío del jugo de caña de azúcar).

Se realizaron 12 ensayos de evaporación al vacío en general , durante la elaboración del presente trabajo de investigación con la finalidad de comprobar la relación existente entre presión, temperatura, °Bx y Tiempo de finalización a fin de poder mejorar la eficiencia del

proceso en lo que respecta a ahorro energético (tiempo de evaporación) y mejora en la calidad de concentración de azúcares para el jarabe resultante, el cual se convertiría mediante los procesos de batido, secado y trituración en panela.

En base a lo descrito se procedió a tomar las lecturas de los ensayos los cuales arrojaron resultados diversos en la contratación de presión vs temperatura. La cual conformaba la parte más importante del presente trabajo de investigación.

Se describe los resultados obtenidos en los ensayos como satisfactorios, ya que se llegó a la conclusión de que es factible la mejora en la eficiencia del proceso de evaporación del jugo de caña de azúcar para la producción de panela utilizando el método de “Evaporación al vacío” ya que los resultados arrojados nos muestran una considerable mejora en los tiempos de evaporación debido a la disminución de temperatura del sistema y el aprovechamiento de la concentración de °Bx durante la operación.

Así mismo se evaluaron los procesos de batido, secado y trituración a fin de conseguir una Panela de calidad que cumpla y/o se asemeja a los parámetros establecidos por la bibliografía en lo que refiere a sólidos totales (°Bx), y porcentaje de humedad en la masa (%).

2.6. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales

2.6.1. Técnicas

- Observación
- Procedimiento experimental

2.6.2. Instrumentos

- Registros

2.6.3. Equipos

- **Equipo de evaporación al vacío:** Equipo construido mediante elementos caseros tales como una olla a presión de material acero inoxidable y capacidad de 2 L, también en conjunto con equipos industriales tales como manómetro de glicerina, bomba de vacío de 1 HP con sus conexiones, acoples de bronce con la finalidad de emular un equipo de evaporación al vacío de diluciones.

Figura 5

Equipo construido por las autoras para emular una evaporación al vacío del jugo de caña



- Brixómetro

Figura 6

Brixómetro



Nota: Brixómetro digital utilizado por las autoras para la presente investigación.

- Termómetro

Figura 7

Termómetro de reloj



Nota: Termómetro de reloj adaptado al sistema creado utilizado para la presente investigación.

- Batidora

Figura 8

Batidora



Nota: Batidora utilizada por las autoras para la presente investigación.

- Balanza analítica
- Olla a presión

Figura 9

Olla a presión



Nota: Olla a presión en acero inoxidable utilizado en el sistema construido por las autoras para emular la evaporación al vacío del jugo de caña.

- 01 manómetro de glicerina

Figura 10

Manómetro de glicerina



Nota: Manómetros adaptados al sistema construido por las autoras.

- Conexiones de bronce y cobre

Figura 11

Conexiones de bronce y cobre



Nota: Conexiones de cobre y bronce adaptados al sistema para el acople de los diferentes instrumentos de medición y mangueras auxiliares.

- Bomba de vacío 1 HP

Figura 12

Bomba de vacío de 1 HP



Nota: Bomba de vacío de 1 HP de potencia utilizada en el sistema construido por las autoras.

- Mangueras de presión
- Cocina
- Espátulas
- Mortero
- Vasos 200 ml

2.7.Procedimiento Experimental

La muestra de 12 L de jugo de caña se dividió en 02 grupos de 06 muestras de 01 litro cada una para la realización de las pruebas experimentales de evaporación al vacío a presión y temperatura distintas; los ensayos tenían como finalidad obtener una masa evaporada y viscosa al punto que se pueda batir y triturar para la posterior obtención del producto “panela” que se busca.

Para la aplicación de temperatura del sistema se utilizó como fuente de energía calórica, una cocina casera de 04 hornillas donde, gracias a la capacidad reguladora de la llama mediante las perillas de acción, podía regularse la intensidad de la llama y por ende la energía calórica aplicada al sistema.

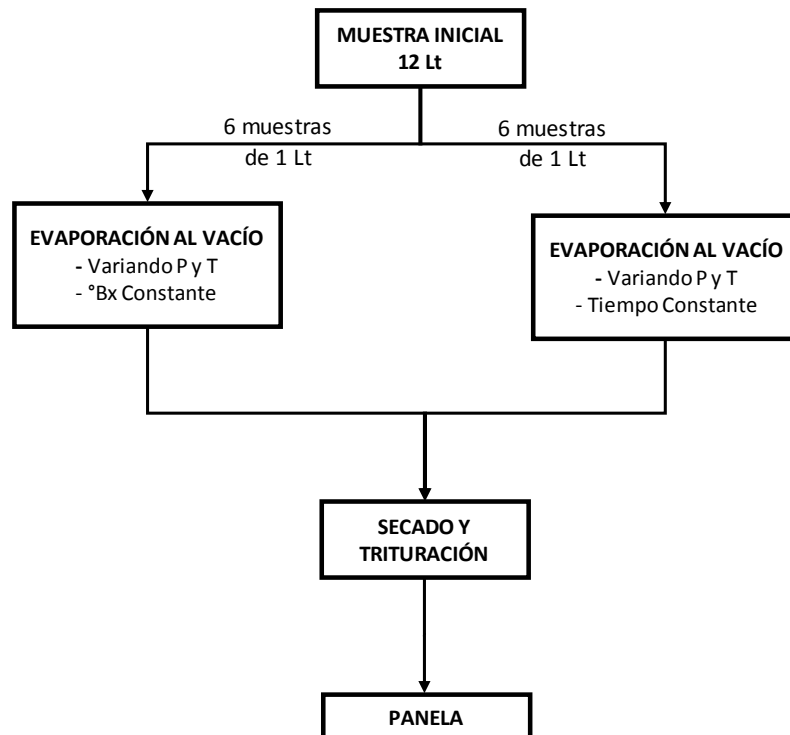
La llama aplicada al sistema era regulada en una intensidad media, con la finalidad de poder conseguir que la temperatura del sistema pudiese estabilizarse en un rango de 56 a 66°C. Este rango fue tomado y considerado como referencia a los estudios previos de evaporación al vacío de jarabe de caña de azúcar procesado en Vacumpanes de la empresa “Azucarera Tumán S.A”, lo cual menciona que la temperatura de evaporación al vacío ideal para la formación del grano, dentro de los Vacumpanes de primera cocción y etapa es de 63°C. (Prado, 2005)

Como variable de manipulación tuvimos a la presión de vacío del sistema, lo cual fue operado directamente por la válvula conectada con el sistema de aliviación de succión de la bomba, cabe mencionar que esta fue regulada minuciosamente y la presión de vacío máxima alcanzada fue dada por la máxima capacidad de regulación de dicha válvula.

Fueron medidos los parámetros obtenidos de Bx, densidad (gr/cm³), y tiempo de evaporación (Horas), siendo este último, el tiempo requerido por el sistema en las condiciones descritas para evaporar el punto estimado de concentración de la masa y no empiece a caramelizar la misma.

Figura 13

Diseño de la experimentación.



3. RESULTADOS

3.1. Primera etapa: Evaporación al vacío de la materia prima

3.1.1. Especificaciones de la muestra inicial (jugo de caña)

Tabla 4

Especificaciones primarias de la muestra inicial

Muestra	Jugo de caña de azúcar
Origen	Azucarera "Tumán"
Dimensión (L)	12
Apariencia	Líquido medianamente viscoso, de color amarillo verdoso y olor suigénis

La muestra inicial para la presente investigación consta de 12 L de jugo de caña fresco adquirido en el ingenio azucarero “Azucarera Tumán S.A”, cabe mencionar que el jugo utilizado solo ha sido sometido a una de las etapas del proceso completo de la fábrica, es así como mencionamos el proceso de molienda (de la caña en trapiche). No se ha agregado cal, ya que esto hubiese convertido a nuestra muestra en algo inadecuado para nuestra investigación, por la presencia de un químico (CaOH_2), ya que lo que se busca es la obtención de un producto que puede ser considerado como una primera fase en la producción de una “panela” en los límites de aceptación natural y comercial del producto final.

3.1.2. Parámetros fisicoquímicos iniciales (jugo de caña)

Tabla 5

Parámetros fisicoquímicos iniciales del jugo de caña utilizado para muestra

Parámetros fisicoquímicos iniciales	
Temperatura (°C)	25.6
Densidad (gr/cm ³)	0.95
Brix (Bx.)	19.0
pH	4.7
Pol %	15.58
Pureza	82.0

La presente tabla muestra las características físicas químicas más relevantes en la presente investigación. Las mediciones y tomas fueron realizadas por las autoras con ayuda de equipos sofisticados ideales para la función descrita.

3.1.3. Resultados de los ensayos de evaporación en función de la variación de presión del sistema y manteniendo la Concentración del producto (°Bx) constante.

Tabla 6

Parámetros obtenidos en función de la variación de presión y manteniendo los °Bx constante.

N. de ensayo	Parámetros			
	Presión (psi)	Temp. (°C)	Bx. Obtenido	Tiempo de finalización (Horas)
Ensayo 1	3.8	66.0	82.500	0.781
Ensayo 2	3.5	64.2	82.500	0.766
Ensayo 3	3.2	62.2	82.500	0.750
Ensayo 4	3.0	60.8	82.500	0.708
Ensayo 5	2.8	59.3	82.500	0.700
Ensayo 6	2.5	56.9	82.500	0.690

Figura 14

Relación de la Presión respecto a la temperatura.

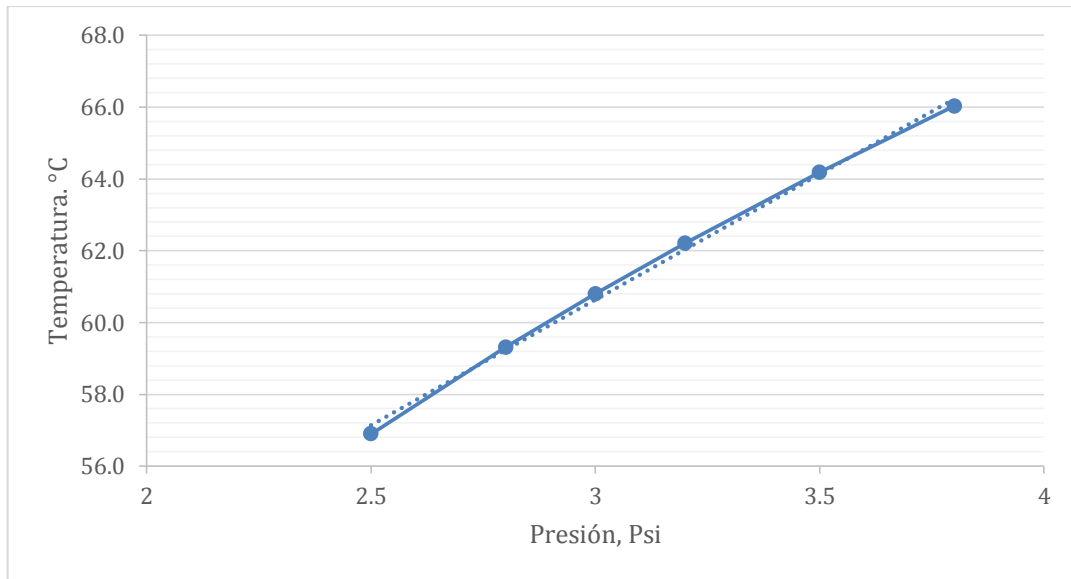
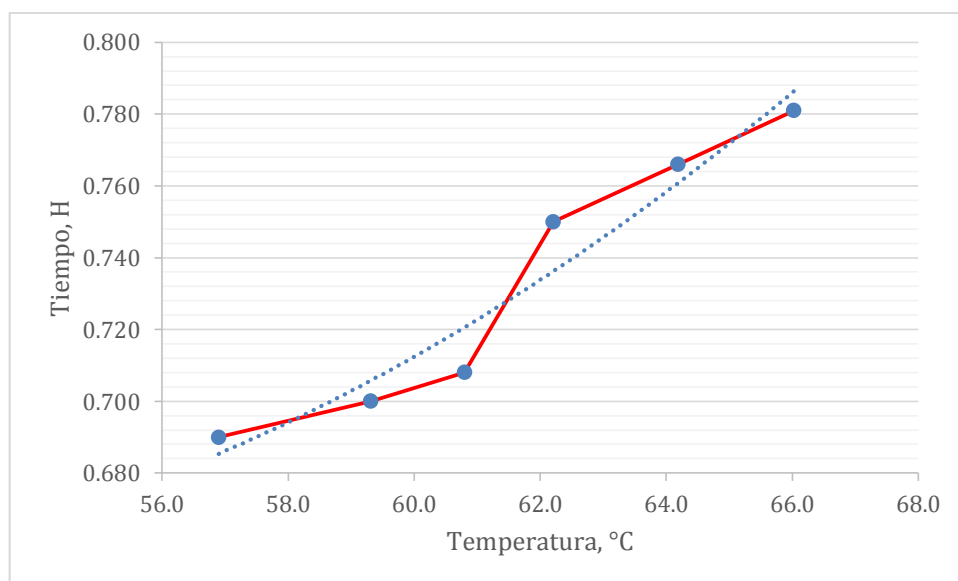


Figura 15

Tiempo de finalización del proceso a diferentes temperaturas.



- Se sometió a evaporación al vacío 06 litros de jugo de caña divididas en 06 muestras, cada una con 01 litro para las pruebas experimentales. El ensayo tenía como finalidad obtener una masa evaporada, viscosa al punto que se pueda batir y triturar para la posterior obtención del producto “panela” que se busca.
- En la Figura 14 se puede observar la relación directamente proporcional de la Presión y temperatura, dado que, estas dos características van estrechamente ligadas la presión de operación determina el punto de ebullición a trabajar, cuanto más elevada sea la presión del evaporador mayor será la temperatura de ebullición y por ende la energía requerida por el sistema. Para mantener a un nivel bajo la temperatura de los materiales termosensibles suele ser necesario operar a presiones inferiores a 14.7 PSI (presiones de vacío). Es obligado operar a presiones bajas, debido a que además de los requerimientos de costos, si la temperatura excede un cierto límite, la molécula activa del fluido a evaporar se invierte o se descompone, por lo tanto, la presión y la temperatura, son quizás las dos variables más importantes en el proceso.
- En la Figura 15 se puede observar que a menor temperatura de operación el tiempo de finalización será menor, en línea al ahorro energético esto es lo que se busca que el tiempo del proceso sea corto así se ahorrara energía y por ende se optimizara el proceso de concentración del jugo. Sin embargo, el grafico también se observa que a 56.9 °C, 59.3°C y a 60.8°C el tiempo de finalización se mantiene constante y a partir de 62.2°C aumenta bruscamente el tiempo de finalización. Por lo que será necesario a evaluar a que temperatura se obtendrá el mayor brix posible con el menor tiempo de finalización del proceso de concentración del jugo.

3.1.4. Resultados de los ensayos de evaporación en función de la variación de presión del sistema y manteniendo el tiempo de finalización del proceso de concentración de jugo constante.

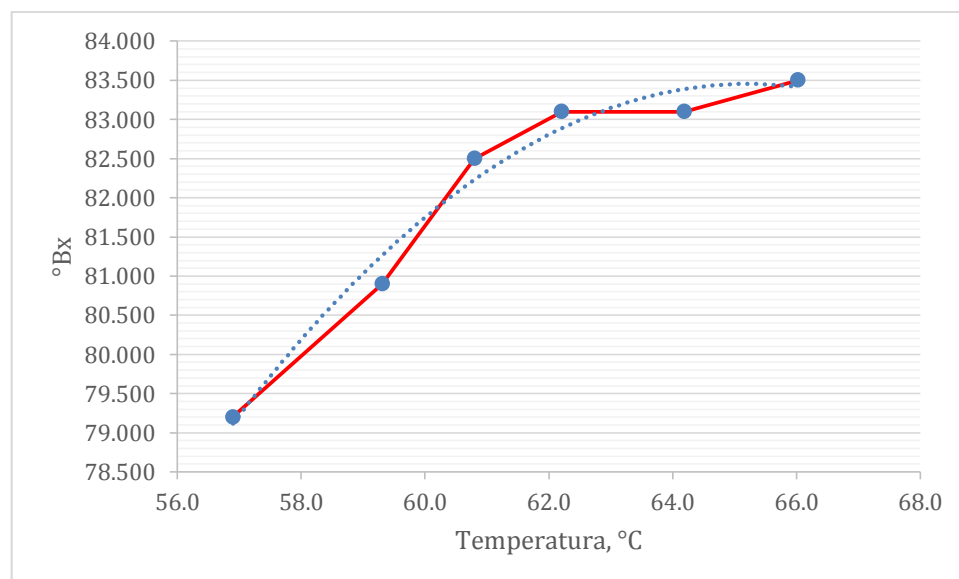
Tabla 7

Parámetros obtenidos en función de la variación de presión y manteniendo el tiempo de finalización del proceso constante.

N. de ensayo	Parámetros			
	presión (psi)	Temp. (°C)	Bx. Obtenido	Tiempo de finalización (Horas)
Ensayo 1	3.8	66.0	83.500	0.710
Ensayo 2	3.5	64.2	83.100	0.710
Ensayo 3	3.2	62.2	83.100	0.710
Ensayo 4	3.0	60.8	82.500	0.710
Ensayo 5	2.8	59.3	80.900	0.710
Ensayo 6	2.5	56.9	79.200	0.710

Figura 16

°Bx obtenido a diferentes temperaturas.



- Se sometió a evaporación al vacío los restantes 06 litros de jugo de caña divididas en 06 muestras, cada una con 01 litro para las pruebas experimentales. El ensayo tenía como finalidad obtener una masa evaporada, viscosa al punto que se pueda batir y triturar para la posterior obtención del producto “panela” que se busca.
- En la Figura 16 se puede observar que a mayor Temperatura de operación se obtendrá una mayor concentración del jugo. Sin embargo, lo que se busca para el ahorro energético es una menor temperatura de operación, pero también en la figura 16 se puede observar que a partir de 60.8°C el °Bx se mantiene casi constante. Con esta información y en búsqueda de obtener el mayor brix posible con el menor tiempo de finalización del proceso de concentración del jugo. Se puede decir que la operación a 60.8 °C se obtendrá un máximo °Bx de 82.5 a un menor tiempo de finalización de 0.708 horas.

3.1.5. Análisis estadístico de resultados.

Se realizó una regresión múltiple aplicando el estadístico de decisión t-student, para determinar cuál es la variable que más influye respecto a la temperatura en el proceso de concentración del jugo de caña.

Tabla 8

Parámetros obtenidos en función de la variación de la temperatura de operación.

N. de ensayo	parámetros			
	presión (psi)	Temp. (°C)	Bx. Obtenido	Tiempo de finalización (Horas)
Ensayo 1	3.8	66.0	83.500	0.781
Ensayo 2	3.5	64.2	83.100	0.766
Ensayo 3	3.2	62.2	83.100	0.750
Ensayo 4	3.0	60.8	82.500	0.708
Ensayo 5	2.8	59.3	80.900	0.700
Ensayo 6	2.5	56.9	79.200	0.690

A continuación, en la tabla 9 se muestra los resultados de la regresión múltiple aplicados a los datos de la Tabla 8.

Tabla 9

Resultados de la regresión múltiple.

Resultado de la regresión		
Constante		-39.38898207
Error típico de est Y		0.810734563
R cuadrado		0.963911309
Nº de observaciones		6
Grados de libertad		3
	Bx. Obtenido	Tiempo de finalización (Horas)
Coefficientes X	0.726957808	56.40061832
Error típico del coef	0.416451264	18.2791027
t-student	1.745601155	3.08552445

En la tabla 9 se puede observar que la correlación es positiva con un $R = 0.96$ y según el estadístico t-student el tiempo es la variable más significativa, es decir la variable que más influye en el proceso de concentración al variar la temperatura es el tiempo de finalización del proceso de concentración.

3.2. Segunda Etapa: Batido, secado y trituración de masa obtenida

En esta tesis de investigación la operación unitaria de secado, del producto obtenido de la evaporación al vacío, se realizó de manera natural y con la ayuda de una batidora casera con la finalidad de menorar la humedad del producto y además de triturar la masa obtenida para lograr un tamaño uniforme y evitar la formación de conglomerados (partículas gruesas) de masa de panela. La uniformidad del tamaño del cristal es indispensable para evitar apelmazamientos en el empaque.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos producto del secado de las 6 muestras estudiadas.

3.2.1. Relación del Brix obtenido del batido, secado y trituración

Tabla 10

Brix obtenido durante los ensayos en función del batido, secado y trituración ordenados por número de ensayo aplicado

N° de ensayo	Tiempo de Batido (Horas)	Humedad obtenida %	Bx. Obtenido después del batido y secado
Ensayo 1	0.3	3.4	85.6
Ensayo 2	0.3	3.4	85.4
Ensayo 3	0.3	3.3	84.7
Ensayo 4	0.3	3.4	89.8
Ensayo 5	0.3	3.4	88.9
Ensayo 6	0.3	3.5	87.5

Para la obtención de “panela”, en forma comercial del mismo, se tuvo que diseñar un proceso adicional a la evaporación al vacío de las masas, ya que la humedad de la misma no corresponde a los estándares comerciales estipulados en la bibliografía de aceptación del producto.

Se diseñó el proceso de secado manual de las masas del ensayo y la tritución, para lo que se utilizó una batidora de mano gradual y un mortero casero.

Con respecto al tiempo de batido, se sometió a todos los ensayos al mismo tiempo de batido manual, con la misma potencia en la batidora, lo cual fue durante 18 minutos para obtener una medición estándar en función de la eficiencia de resultados de la evaporación al vacío y °Bx obtenidos.

Podemos observar que el ensayo 04 es el más eficiente en relación de Bx obtenido (89.8) y tiempo estándar de batido (18 min), además de la obtención de humedad que para todos los ensayos es casi la misma y aceptable (3.4%) en relación de las masas.

3.2.2. Comparación de los resultados obtenidos en ensayos con respecto a “Panela orgánica comercial” en relación de Brix y Humedad

Tabla 11

Brix y humedad obtenidos comparado con el estándar comercial ordenado por número de ensayo aplicado

N° ENSAYO	RESULTADOS OBTENIDOS		ESTANDAR COMERCIAL	
	Bx	Humedad %	Bx	Humedad %
Ensayo 1	85.6	3.4	88	3.8
Ensayo 2	85.4	3.4	88	3.8
Ensayo 3	84.7	3.3	88	3.8
Ensayo 4	89.8	3.4	88	3.8
ensayo 5	88.9	3.4	88	3.8
Ensayo 6	87.5	3.5	88	3.8

Se tuvo como referencia de comparación de los dos parámetros fisicoquímicos más relevantes del producto, a la panela orgánica comercial, ya que es uno de los edulcorantes orgánicos más conocidos y utilizados en el mercado nacional, claro está decir que este

podio lo comparte con la Stevia y chancaca, pero estos últimos no cuentan con la similitud de proceso que presenta el producto descrito en la presente investigación.

Cabe recalcar que la presente investigación está centrada en la obtención de un producto similar a la panela orgánica comercial, en lo que refiere a similitud de proceso, presentación de producto, etc., en torno a ello, se toma como referencia los dos parámetros fisicoquímicos destacables del producto que ayudan a tener una referencia en lo que respecta a poder edulcorante de nuestro producto, y aceptación comercial.

Los resultados obtenidos se compararan en base a la bibliografía consultada del Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural en el documento “Producción y Comercialización de Panela – La experiencia de la asociación cooperativa de paneleros del SALVADOR (ACOPANELA)” los cuales muestran los dos parámetros más relevantes al momento de categorizar si el producto puede o no ser considerado como PANELA COMERCIAL o un edulcorante orgánico de similares características, los cuales derivan en el % de humedad de la masa y el °Bx obtenido en el producto final.

Nos referimos como un punto de base a los parámetros mostrados, con respecto a la humedad % estipula el parámetro de 3.8% y con respecto a la concentración de sólidos totales (°Bx) estipula 88 unidades.

Se compararon los resultados obtenidos en función a lo antes descrito, observando que los ensayos 5 y 6 tienen los parámetros que más se acercan numéricamente a los parámetros del estándar comercial. Sin embargo, estos ensayos mencionados no son considerados los mejores en lo que respecta al aprovechamiento energético (eficiencia energética del sistema); por lo que el ensayo N°04 será el más adecuado en cuanto a eficiencia energética y a un alto °Bx obtenido (89.8) en el proceso de secado por batido.

Otra evaluación de mucha importancia de la calidad del producto obtenido (Panela) es la comparación del color. Al realizar una comparación subjetiva con el estándar comercial se apreció que la panela obtenida por los autores en la presente investigación presenta una baja tonalidad de coloración, la cual nos da otro punto a favor en la línea de optimizar el proceso, debido a que las panelas con mucha coloración se debe a que han sido elaboradas a altas temperaturas y han perdido o se ha degradado la sacarosa por la caramelización de las misma a altas temperaturas.

4. DISCUSIONES

- La optimización del proceso de concentración se logrará con un ahorro energético y con una mejor calidad del producto, para ello el jugo de caña debe ser sometido a evaporación al vacío, si bien no se ha encontrado antecedentes de autores q hayan realizado elaboración de panela utilizando evaporación al vacío, los ingenios azucareros vienen utilizando esta técnica desde hace muchas décadas con buenos resultados. los resultados obtenidos muestran que a una menor temperatura (60.8°C) se obtiene un menor tiempo de finalización del proceso de 0.708 h.
- En la investigación realizada por Ponce Concha (2013), se menciona que los parámetros de control fundamentales para el secado en el proceso de obtención de panela comercial los cuales son temperatura, espesor de la camada y humedad final sin embargo en la presente investigación se realizó el proceso de secado para la obtención de panela artesanal teniendo en cuenta los parámetros de tiempo de batido en horas (Hr), humedad final % y grados brix obtenidos del producto final, lo cual fue considerado por tratarse de una variación similar al producto panela, ya que nuestro producto se obtuvo mediante un proceso experimental como lo es la evaporación al vacío.
- Según lo inferido en el estudio de Cóndor (2016) lo cual refiere a que la variedad criolla de caña de azúcar es la más óptima de entre las tres variedades evaluadas (azul de casa grande, criolla y mexicana) teniendo en cuenta los parámetros de producción tales como Tm/Ha y Tn/panela, con los resultados obtenidos se coincide con lo antes mencionado en lo que respecta a la elección de la variedad criolla de caña de azúcar (variedad explotada en el ingenio “Azucarera Tumán S.A”) ya que a lo que respecta a la presente investigación fueron analizados los parámetros de densidad, Pol y grados Bx, características iniciales que fueron óptimas para alcanzar los parámetros permisibles en la obtención de la panela.

- Según la investigación de Fiestas, Santos, Banda, Valdivieso y Arellano (2015) lo cual refiere al desarrollo de un diseño de una línea de producción de Panela granulada donde se concluye que es de suma importancia para el proceso de la obtención de un producto de calidad, el tipo de jugo utilizado, y también el rango de Ph del jugo a trabajar, se confirma con la presente investigación, ya que los aspectos antes mencionados jugaron un rol importantísimo en la eficiencia de la evaporación al vacío al rendimiento de grados Bx del producto así como también una influencia mayor en la calidad del producto final, “panela”.

5. CONCLUSIONES

- Se realizó la evaporación al vacío experimental a 12 muestras de 1 L cada una, dividida en 02 grupos de 06 muestras cada grupo, aplicando como fuente de energía calórica una cocina casera variando la presión de vacío y por ende la temperatura del sistema en un rango de 56 a 66°C.
- Se diseñó la experimentación para 12 ensayos variando la temperatura de evaporación al vacío (06 ensayos a °Bx constante y 06 ensayos a tiempo constante), luego de realizarse la experimentación y en búsqueda de obtener el mayor brix posible con el menor tiempo de finalización del proceso de concentración del jugo, se determinó que la operación a 60.8 °C se obtendrá un máximo °Bx de 82.5 a un menor tiempo de finalización de 0.708 horas. Además, la variable más significativa será el tiempo de finalización.
- Se diseñó la experimentación de secado por batido a 6 ensayos provenientes de los mismos ensayos de evaporación al vacío; se concluye que el ensayo N°04 será el más adecuado en cuanto a eficiencia energética, alto °Bx obtenido (89.8), humedad aceptable de 3.4% y tiempo de batido de 18 min y con respecto al color se obtuvo un producto de baja tonalidad de coloración respecto a la panela elaborada de manera artesanal.
- Para optimizar el proceso los autores llegan a la conclusión de que para el proceso de elaboración de panela se debe usar sistemas de evaporación al vacío logrando con este mejorar la eficiencia del proceso en lo que respecta a ahorro energético (menor tiempo de evaporación debido a la disminución de temperatura del sistema) y mejora en la calidad de concentración de azúcares para el jarabe resultante, el cual se convertiría mediante los procesos de batido, secado y trituración, en panela.

Logrando de esta manera el objetivo principal propuesto y resolver el problema planteado en la siguiente tesis de investigación.

6. RECOMENDACIONES

- Según los resultados obtenidos la variable que más influye en la optimización del proceso de concentración del jugo es el tiempo de finalización del producto respecto a los °Bx, por lo que se debe tener mayor énfasis en esta variable para la optimización del proceso.
- Se recomienda que la materia prima tenga como características iniciales tales como densidad (gr/cm³) 0.95, Brix (Bx.) 19.0 – 20.0, pH 4.5 a 4.7 y Pol % 16.3 a 16.5 % según la bibliografía consultada.
- Para futuras investigaciones se recomienda realizar el experimento con otras fuentes de energía calórica como el vapor para estudiar el comportamiento de las variables del proceso.
- Para posteriores estudios relacionados al tema de investigación, se recomienda realizar la medición de la temperatura del aire de secado dado que esta variable es muy importante para la evaluación del tiempo de secado.
- Para posteriores estudios relacionados al tema de investigación, se recomienda realizar la operación unitaria de secado de la panela por medio de secadores de bandejas u otros, con la finalidad de evaluar de manera más objetiva las variables de secado como la temperatura, humedad, espesor del conglomerado, entre otras.
- La presente tesis de investigación estuvo dirigida a lograr la optimización del proceso de elaboración de la panela enfocándose en el ahorro energético y obtención de un producto de mejor calidad en cuanto al color (parámetro descuidado en la elaboración de panela artesanal). En esta investigación los autores solo realizaron una comparación y medida subjetiva del color del producto obtenido (Panela). Para futuras investigaciones se recomienda realizar una determinación del color por métodos

objetivos como espectrofotometría, colorimetría, etc. De esta manera nos permitirá tener un argumento más sólido de la minimización del color de la panela al usar la evaporación al vacío como una opción de optimizar el proceso de elaboración de panela.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Casas, O., Sabaté, E., Casas, F., & López, J. (2008). La evaporación al vacío, una tecnología para la reducción de residuos y reutilización del agua. *Tecnología Del Agua*, 2.

CHEN, J. (1991). Manual de Azúcar de Caña. Para Fabricantes de Azúcar de Caña y Químicos Especializados. España. Noriega Editore.

Colcha Conlago, D. M., & Ponce Martínez, R. F. (2013). "*Optimización del proceso de secado y desintegración de conglomerados en la obtención de azúcar natural, en la Agroindustria Panelera Gardenia del Cantón Atuntaqui*" (Tesis de Grado). Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

Cóndor Seclén, E. R. (2016). ESTUDIO COMPARATIVO DE TRES VARIEDADES DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*), AZUL MEXICANA Y CRIOLLA PARA LA PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA ORGÁNICA. *Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología E Innovación*.

Fiestas Farfán, K., Santos Vega, I., Banda Guerrero, S., Valdiviezo Morales, W., & Arellano Sánchez, K. (2015). *Diseño de una línea de producción de panela granulada*. Piura, Perú: Repositorio PIRHUA.

García, B. H. y Vanzanten, C. V. 200. *Elaboración de Panela Granulada. Programa de procesos Agroindustriales*. Corpoinca – Pronatta, Centro de Investigación Tibaitatá. Mosquera, Cundinamarca. CO.

Guamán, F. (2009). *Diseño, Simulación y Emulación de una Planta Productora de Panela. Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC)*. Ecuador, disponible en: <http://www.panelamonitor.org/media/docrepo/document/files/disenio-simulacion-y-emulacion-de-una-planta-de-produccion-de-panela.pdf>.

Larrahondo, J. (2010). Calidad de la caña de azúcar. Disponible en: <http://avibert.blogspot.com/2010/04/calidad-de-la-cana-de-azucar-por-jesus.html>

McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2007). OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA (7.ª ed., p. 833). México: Pablo Eduardo Roig Vázquez.

Osorio, Guillermo. (2007). Manual Técnico Buenas Prácticas Agrícolas BPA y Buenas Prácticas de Manufactura BPM en la producción de Caña de Azúcar. CORPOICA.

Panela, G. p. (2002). *Capacitación en la obtención de nuevos productos derivados de la caña y el manejo adecuado de la agroindustria panelera*, Municipio Mocoa. Obtenido de http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4775/1/2006102416333_Guia%20elaboracion%20de%20panela.pdf

Sección de Inspección y Tecnología Alimentaria, Servicio de Regulación Alimentaria. (2013). *Guía Practica para aplicación de los Procedimientos Operativos de Saneamiento*. Montevideo, Uruguay: M es una.

Silva Cardoza, K., (2013). *Propuesta de norma técnica para la panela granulada y proceso para su elaboración y aprobación*. Piura, Perú: Repositorio PIRHUA.

Quezada Moreno, W. F. (2007). GUÍA TÉCNICA DE AGROINDUSTRIA PANELERA. *Agroindustria Panelera, Empresa Del Futuro En Alimentos energéticos*.

8. ANEXOS

8.1. FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 17

Las autoras junto a todos los equipos utilizados durante la fase experimental de la investigación.



Figura 18

Sistema de evaporación al vacío diseñado por las autoras.



Figura 19

Incorporación del jugo de la muestra 01 al sistema de evaporación al vacío.



Figura 20

Incorporación del jugo de la muestra 01 al sistema de evaporación al vacío.



Figura 21

Sistema de evaporación al vacío diseñado por las autoras operando



Figura 22

Termómetro analógico mostrando la temperatura de aproximación en el proceso de evaporación al vacío.



Figura 23

Medición de los grados Brix obtenidos en los diferentes ensayos de evaporación al vacío utilizando el sistema.

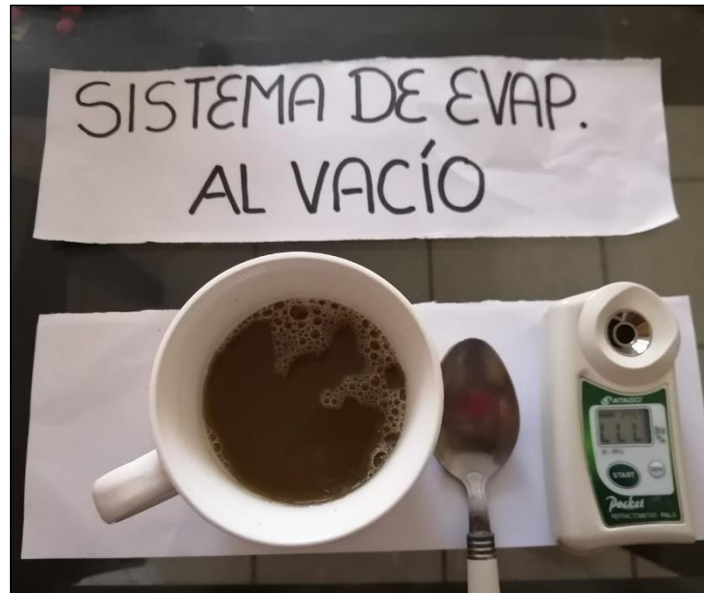


Figura 24

Medición de los grados Brix en los diferentes ensayos de evaporación al vacío utilizando el sistema



Figura 25

Muestra del ensayo A, una vez terminada la evaporación al vacío



Figura 26

Las autoras de la investigación realizando el proceso de batido y secado de las muestras.



Figura 27

Las autoras de la investigación realizando el proceso de batido y secado de las muestras.



Figura 28

Resultado final de la panela obtenida mediante evaporación al vacío, secado y batido manual



Figura 29

Resultado final de la panela obtenida mediante evaporación al vacío, secado y batido manual.



Figura 30

Sistema de evaporación al vacío diseñado por las autoras de la investigación, provista de bomba de vacío, manómetros especializados, olla de cocción a presión y acoples de cobre y bronce.

