

Investigaciones



Diseño y construcción de un prototipo pulverizador de panela con la metrología apropiada para el control de las variables físicas que intervienen en el proceso de cristalización

Ingenieros Wilson Gamboa Contreras, Ana Milena Gómez Gómez, Johana González Melgarejo, Angélica María Luque Peñuela, William Guerrero Salazar, Alonso Retamoso Llamas.

Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico de UNISANGIL, IDENTUS, Fundación Universitaria de San Gil UNISANGIL innovacionydesarrollo@unisangil.edu.co

Resumen

En este artículo se muestran los resultados preliminares del proyecto "Diseño y construcción de un prototipo Pulverizador de panela con la metrología apropiada para el control de las variables físicas que intervienen en el proceso de cristalización", dirigido al mejoramiento y desarrollo tecnológico de las pequeñas y medianas empresas productoras de panela de la región, optimizando la determinación empírica del proceso de pulverización, implementando herramientas tecnológicas como la automatización industrial y el control de proceso. Todo con el ánimo de brindar mayores ventajas competitivas al sector productivo y garantizar la calidad del producto al consumidor final.



Palabras clave: Pulverización, cristalización, panela, variables físicas, automatización agroindustrial.

1 Introducción

La producción de panela es considerada la segunda agroindustria rural después del café en Colombia. Su origen natural proviene de la caña de azúcar y es un cultivo básico de la economía colombiana. Sólo un pequeño segmento de la producción es desarrollada en forma industrial y el restante se realiza en pequeños establecimientos (trapiches) con capacidad de producción inferior a los 250 Kg. de panela por hora. [1]

En Colombia, el departamento de Santander ha incorporado gradualmente soportes tecnológicos en el proceso productivo de la panela, los cuales se han limitado al aumento de eficiencia en la combustión de la

1. Norma ICONTEC N.1311, características de la panela pulverizada para su producción y comercialización.

hornilla y en la utilización de materiales de mejor calidad y que representen mayor facilidad en el momento de la limpieza. sin embargo, aún utilizan la mano de obra familiar para la elaboración de este producto, en la gran mayoría de los casos de forma artesanal, sin la posibilidad de modernizar su producción y expandir su mercado debido a los altos costos que presenta la adaptación e implementación de la nueva tecnología.

Con las preferencias del ATPDEA para el alcohol carburante, el surgimiento de nuevos mercados, los Tratados de Libre Comercio (TLC) y las nuevas exigencias de los consumidores, la agroindustria panelera está obligada a innovar en sus procesos productivos y en la presentación de sus productos. Por esto debe implementar tecnología apropiada para la transformación de las mieles en panela, de tal forma que fortalezca la competitividad del sector.

La panela en el mercado nacional y, aún más, en el internacional, incursiona como un producto de alto valor agregado, en donde se destacan sus bondades nutritivas. a pesar de estas bondades, su principal desventaja se relaciona con la dificultad de manipulación. Por tal razón, el consumo masivo de panela se difundirá masivamente cuando su presentación facilite su uso (pulverizada). En relación con lo anterior, la industria panelera requiere de nuevos equipos que le permitan ser más eficiente en el proceso productivo, disminuyan costos de producción y mejoren y estandaricen la calidad del producto y de su presentación. En la actualidad, estos elementos se constituyen en la principal problemática y limitante de la panela frente al consumidor.

La esencia o asunto básico a tratar dentro del desarrollo de la presente investigación orbita en torno a dos elementos vitales para el desarrollo del sector panelero y del bienestar general de un conglomerado social, cuya estructura se ha visto fuertemente golpeada por los precios de la panela en el mercado. El primero de ellos se relaciona con el diseño y construcción de un equipo pulverizador de panela que se base en el comportamiento de las variables físicas que intervienen en el proceso de cristalización, y el segundo, con la incorporación de valor en un producto que llegue más fácil a la mesa de los consumidores, lo que se traduce en mayores ingresos para los productores.

En la actualidad, los procesos para la obtención de panela pulverizada presentan características comunes a la fabricación de la panela tradicional, a saber: es artesanal, empírico y arraigado a las costumbres familiares de las regiones donde se produce. Sólo hasta hace unos pocos años se han realizado algunos esfuerzos aislados para convertir esta actividad en un sistema productivo, mediante la incorporación de tecnología, cambio de infraestructura y búsquedas de nuevos mercados. Dentro de este cambio cultural es fundamental realizar un análisis de las condiciones y variables que intervienen en el proceso de elaboración de panela en cualquiera de sus presentaciones. Así, las variables innatas al proceso pueden ser monitoreadas y controladas. Para ello, se requiere de instrumentos tecnológicos que realicen un sensado* y puedan adquirir, procesar, monitorear y controlar toda la información con el fin de automatizar el proceso.

Dado que la de pulverización de la panela en forma manual se traduce en un proceso prolongado, deficiente y costoso, se hace indispensable la utilización de un equipo apropiado para la pulverización de panela en los pequeños y grandes trapiches, con el fin de agilizar las actividades, de homogenizar el producto y disminuir las pérdidas de materia prima. De esta forma, al productor se le brinda la oportunidad de ampliar e incursionar en nuevos mercados, y al consumidor, la posibilidad de adquirir un

* Por sensado se entiende la operación de un elemento sensor, el cual puede definirse como un agente capaz de reaccionar ante una característica física o química del entorno. De ahí su analogía con los sentidos, propios de las especies animales, y el hecho de que el vocablo se escriba con S.

producto de grandes beneficios nutricionales, fácil de consumir y a costos competitivos con artículos similares o sustitutos (azúcar - mieles).

El diseño del prototipo permite la portabilidad, facilidad de lavado, limpieza, acceso y fácil manipulación. Esto permite realizar las diferentes operaciones del proceso de pulverización, solucionando los inconvenientes presentados en el batido de las mieles, homogeneización y clasificación por tamaño del grano, el enfriamiento del producto y su posterior almacenamiento, empaque y comercialización.

En este artículo se muestran los resultados preliminares del proyecto "Diseño y construcción de un prototipo Pulverizador de panela con la metrología apropiada para el control de las variables físicas que intervienen en el proceso de cristalización", financiado por COLCIENCIAS, la Fundación Universitaria de

2. Descripción Técnica

2.1. Pulverización de Panela

La panela pulverizada inicia su proceso de la misma forma que se elabora panela tradicional, en donde el calentamiento del jugo, en el mejor de los casos, se hace directamente en pailas de acero inoxidable, permitiendo que la temperatura se eleve de 40°C a 60°C. En este momento se mide el pH (el cual debe estar entre 5,8 - 6,2) para determinar si las mieles son aptas para la pulverización.

Posteriormente se llevan las mieles a una temperatura de 128 °C, con el fin de deshidratarla. Para obtener el producto final, se desarrollan las siguientes etapas: vertimiento de la miel en la batea, agitación repetida hasta formación del grano, tamizaje y finalmente el secado, el cual puede ser natural o artificial. La temperatura final de punteo depende, en orden de importancia, del Brix de las mieles, de la altura sobre el nivel del mar, del estado y tecnología incorporada en el trapiche y de la pureza de las mieles. [2].

2.2 Transformación de la panela

Para la elaboración de la panela se requiere que la caña pase por las siguientes etapas:

Apronte: consiste en la recolección de la caña cortada, su transporte desde el sitio de cultivo hasta el trapiche y su almacenamiento en el depósito del trapiche, previo a la extracción de los jugos en el molino.

Extracción de jugos: la caña se somete a compresión en los rodillos o mazas del molino, lo cual propicia la salida del contenido líquido de los tallos. Los productos finales de esta fase son el jugo crudo y el bagazo. El primero es la materia prima que se destina a la producción de panela, mientras el segundo se emplea como material combustible para la hornilla una vez se ha secado.

Limpieza de jugos: El paso inicial es retirar las impurezas gruesas de los jugos, ya sea con la ayuda de medios físicos (a través de un prelimpiador) o medios térmicos (calor), para obtener un producto de excelente calidad. Esta etapa consta de tres operaciones: prelimpieza, clarificación y encalado.

Evaporación y concentración: La eficiencia térmica de la hornilla, y su efecto sobre los jugos, se cuenta dentro del conjunto de factores que influyen en la calidad de la panela. La evaporación del agua contenida en los jugos por calentamiento a 96°C permite alcanzar la concentración de sólidos apropiada para la consolidación y moldeo de la panela a 120°C. Estas operaciones se llevan a cabo en pailas o fondos dispuestos en línea. Los jugos se desplazan entre estos recipientes por paleo manual y, al finalizar su tránsito, se denominan mieles.

Punteo y batido: Esta fase de la fabricación de la panela persigue la obtención del "punto". Mediante paleo manual se incorpora aire a las mieles en presencia de calor, operación que se lleva a cabo en la paila "punteadora", ubicada a continuación de las pailas evaporadoras.

Pulverización: Se obtiene mediante el batido y deshidratación de las mieles en el momento de alcanzar el punto (aproximadamente a los 128 grados centígrados). Luego, se vacía la miel en la batea y se deja reposar entre 2 y 3 minutos. Enseguida, se agita repetidamente con la pala de madera hasta que comienza a formarse el grano. [3]

En la figura 1 se muestran fotografías del proceso artesanal de obtención de panela pulverizada.



Figura 1. Producción artesanal de panela pulverizada.

2.3 Variables que interactúan en el proceso de pulverización de la panela

La Pulverización de la Panela es un proceso que depende básicamente de la altura sobre el nivel del mar, la maduración de la caña, el porcentaje de sólidos solubles, la concentración de azúcares, la temperatura del proceso y la acidez de los jugos. En la figura 2 se relacionan algunas de estas variables.

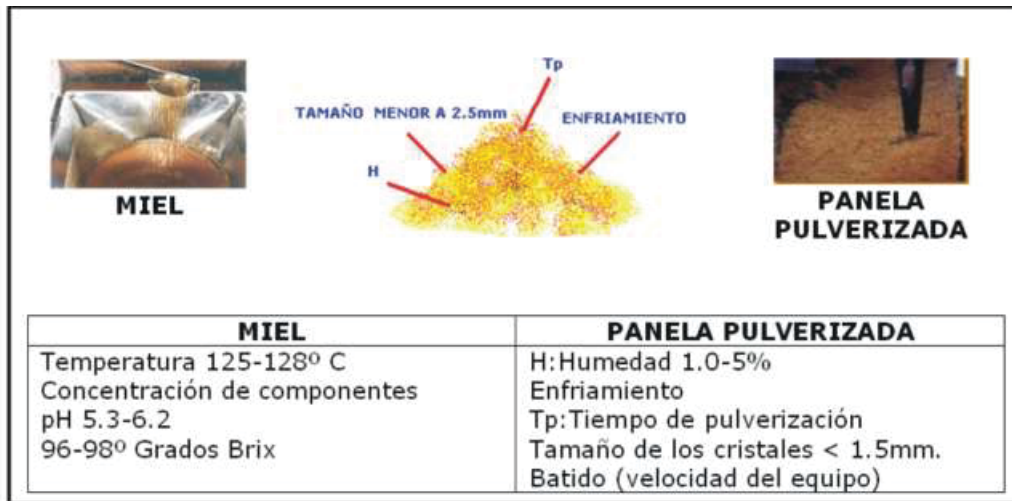


Figura 2. Variables que interactúan en el proceso de pulverización de la panela

pH: El grado de acidez de los jugos es uno de los factores importantes a monitorear en el proceso de elaboración de la panela. Se debe trabajar con un pH que evite el desdoblamiento de la sacarosa, pero que a la vez no destruya los azúcares reductores presentes.

Temperatura: La medida de la temperatura es fundamental en el proceso de Pulverización de panela. Normalmente se logra medir a través de un sensor, un termopar o detector de temperatura en contacto con una superficie.

Humedad: Esta variable es de gran importancia dentro del proceso. Se entiende como contenido de humedad el valor expresado en porcentaje (en base húmeda), de la masa del agua en relación con su masa total. La masa total es la suma del agua y de los sólidos constituyentes. Según las características de la Panela Pulverizada, el producto final debe tener un grado de humedad entre 0% y 5%, de acuerdo con los requisitos físico-químicos de calidad para panela pulverizada revisados y ajustados por el laboratorio Nacional de Referencia del INVIMA. Ver tabla 1.

REQUISITOS	MINIMO	MAXIMO
Azúcares reductores, expresados en glucosa, en %	5,5	-
Azúcares no reductores expresados en sacarosa, en %	-	83,0
Proteínas, en % (N x 6.25)	0,2	-
Cenizas, en %	0,8	-
Humedad, en %	-	9,0
Plomo expresado con Pb en mg/kg	-	0,2
Arsénico expresado como As en mg/kg	-	0,1
SO ₂		NEGATIVO
Colorantes	NEGATIVO	

Tabla 1. Requisitos físico-químicos de la panela

Para obtener una relación de temperatura con la humedad en el proceso Pulverización, se debe tener en cuenta las condiciones ambientales donde se va a trabajar, la medición de temperatura del equipo, la temperatura del material (panela pulverizada) y la humedad.

Grados brix.

Miden la concentración de sacarosa disuelta en un líquido mediante un refractómetro.

3. RESULTADOS PRELIMINARES

3.1. Características del diseño mecánico del prototipo

La plena identificación de las variables que intervienen en el proceso de pulverización de la panela ha permitido realizar un algoritmo y un diseño previo de la distribución de los sistemas del prototipo, como se puede apreciar en la figura 3.

Recolección de Miel: Es la etapa inicial de todo el proceso. Antes de llevar la miel al equipo se realiza la medición de variables fundamentales para el proceso de pulverización tales como grados brix, pH y temperatura, las cuales serán registradas por sensores en puntos específicos del proceso.

Batido: El batido está compuesto por un sistema electro-mecánico y dispositivos electrónicos (sensores) encargados de tomar cada una de las variables que intervienen en el proceso de pulverización.

La medición de variables es la fase fundamental del sistema de batido, pues permite tener un mayor control en el manejo y comportamiento de la miel. Esto se hace gracias a los sensores de nivel y temperatura.

El equipo se encargará de hacer un manejo automático del producto deseado en este sistema (batido) para luego pasarlo al tamizado por medio del transportador.

Transporte al Tamiz: El transporte al tamiz está compuesto por un sistema de bandas acompañado de un sistema de enfriamiento (en estudio), con el fin de bajar la temperatura de la panela pulverizada y, de esta manera, evitar que se formen grumos sólidos de panela. Luego este va al sistema de tamizado.

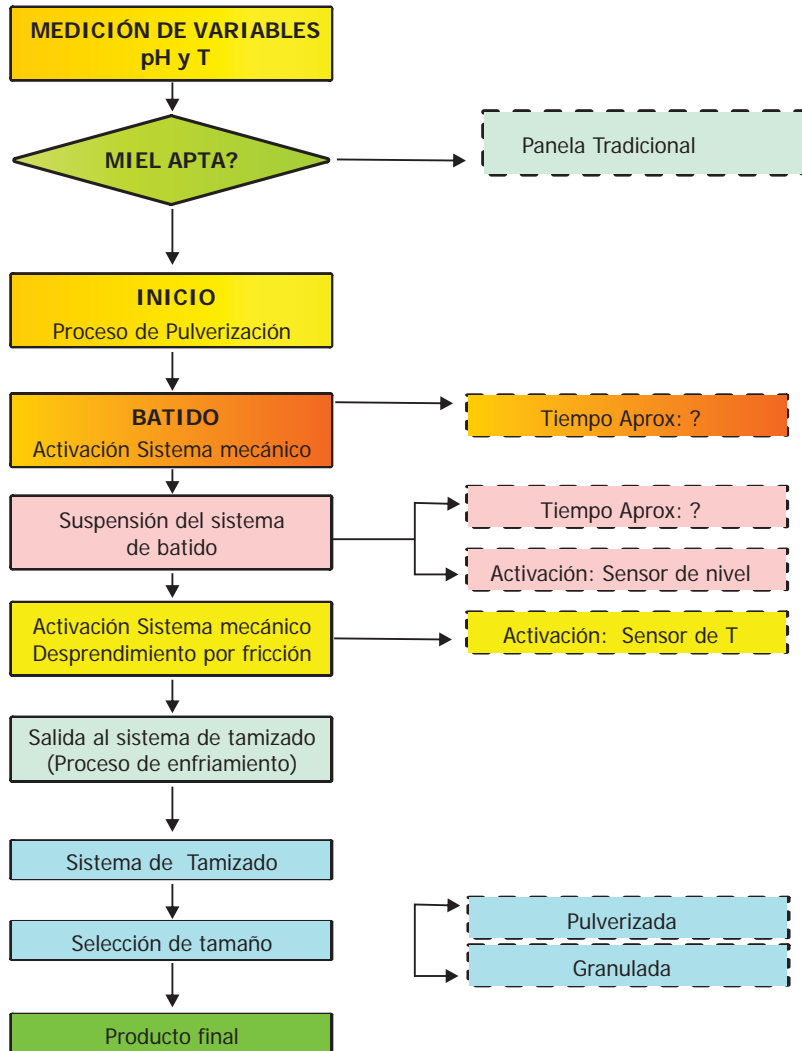


Figura 3. Algoritmo propuesto para funcionamiento del prototipo pulverizador.

El prototipo final contará con seis etapas, las cuales se describen a continuación:

Tamizado: Este sistema se complementa con una serie de tamices de diferentes tamaños con el fin de obtener varios tipos, como lo son pulverizada y granulada. Esta selección se hará por medio de la agitación constante produciendo el desprendimiento de los grumos, ayudando a enfriar el producto y así obtener un producto homogéneo.

Recolección del Producto Final: Es el proceso final. En este sistema se medirán las variables de temperatura y humedad de la panela pulverizada con el fin de entregar un producto garantizado para su posterior empaque. [4]

Panel de Control: El panel de control tiene como función monitorear cada una de las variables que se están tomando en tiempo real. También posibilita hacer un adecuado manejo de cada uno de los sistemas en el proceso. El panel de control permite visualizar la operación del sistema e intervenirlo a través de una pantalla táctil, la cual recibe las señales de un PLC (Lógica Programable por Computador) facilitando la operación por parte del operario.

En la figura 4 se muestran los componentes fundamentales del prototipo pulverizador.

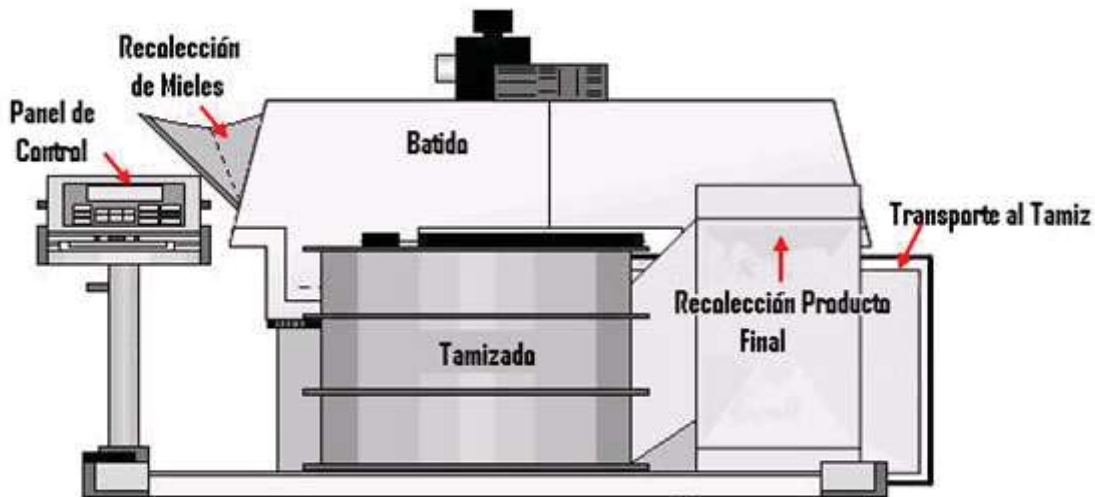


Figura 4. Diseño preliminar del prototipo pulverizador.

4. RESULTADOS ESPERADOS

Teniendo en cuenta los parámetros de entrada y salida del proceso de obtención de panela pulverizada en función de las variables temperatura, humedad, grados brix y pH, se busca alcanzar lo siguiente:

- Un prototipo pulverizador de panela con la metrología apropiada para el control de las variables físicas que intervienen en el proceso de cristalización, que tenga la capacidad de eliminar el error ocasionado por la toma empírica en la determinación del "PUNTO" de la miel, garantizando el proceso de cristalización y el producto pulverizado, cumpliendo con los estándares y requisitos exigidos por las entidades reguladoras del mismo.
- Un protocolo de control de las variables físicas que intervienen en el proceso de pulverización.
- Tecnología apropiada en el proceso de pulverización de panela, con grandes posibilidades de acceso y de competitividad en los mercados nacionales e internacionales.
- Desarrollo de nuevo conocimiento que tenga las cualidades suficientes para optar por el registro de propiedad intelectual del sistema de control de las variables físicas que intervienen en el proceso de pulverización.
- Desarrollo de tecnologías eficientes y amigables con el entorno natural.
- Participar con el desarrollo agroindustrial de la región con la aplicación, adaptación, optimización e innovación de tecnología a sus procesos productivos. Esto generará una cultura de calidad dentro de los trapiches de la región, los cuáles ofrecerán productos garantizados.
- Alternativa de incorporación de tecnología en el sistema de pulverización de panela, con el fin de facilitar la incursión de los productores en el mercado con un producto de calidad y con los volúmenes que le son exigidos.

5. CONCLUSIONES

Los estudios y análisis desarrollados hasta el momento permiten predecir el éxito de la pulverización de panela mediante la reacción de la miel en un ambiente controlado, garantizando un producto homogéneo, de excelente calidad, y con rendimientos mayores a 100 Kg/hr.

El modelo propuesto es totalmente innovador y pionero en el control de las variables físicas que intervienen en el proceso de cristalización de la miel de caña, que hasta el momento han generado las mayores dificultades en el proceso productivo, limitando la incursión de los productores hacia otros segmentos del mercado que en la actualidad no han sido satisfechos plenamente.

En este momento, el proyecto se encuentra en la etapa de Diseño y Simulación. Se realizó una completa revisión de artículos, tesis y trabajos desarrollados en la industria panelera, especialmente en términos de pulverización. Lo anterior condujo a establecer una relación de intercambio de información con la Universidad de Ambato, Ecuador, quienes han mostrado algunos adelantos en el tema y están muy interesados en conocer los resultados de esta investigación.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MARTÍNEZ COVALEDA, Héctor J. "La Cadena Agroindustrial De La Panela En Colombia, Una Mirada Global De Su Estructura Y Dinámica, 1991-2005". Bogotá DC, marzo de 2005.
 - [2] FONSECA ACOSTA, Edwuar. y D, Néstor. "Consejos técnicos para tener en cuenta durante el proceso de producción de la panela de buena calidad". Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Federación Nacional de Producción de Panela-FEDEPANELA
 - [3] MEDINA, María. Limpieza Y clarificación del jugo de la caña en la elaboración de panela. En: Avances del cultivo de caña y elaboración de panela. Tercera Edición. Convenio ICA - Holanda de investigación y divulgación para el mejoramiento de la industria panelera en Colombia, CIMPA. Barbosa, 1998. p 174-163
 - [4] FONSECA ACOSTA, Edwuar. Producción más limpia en el subsector panelero. FEDEPANELA
- PALLÁS A. Ramón. Sensores y Acondicionadores de Señal. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. 3ª Edición. Capítulo 2. Sensores Resistivos. México 2000.
- NORTON, Robert L. Diseño de Maquinaria. McGraw-Hill Interamericana.. Capítulo 9. Trenes de Engranés. México, 2005
- SHIGLEY Joseph E., MISCHKE Charles R. Diseño en Ingeniería Mecánica. McGraw-Hill.. Sexta Edición. Parte 3. Diseño de Elementos Mecánicos. México, 2002
- INCROPERA, Frank P., DEWITT David P. Fundamentos de Transferencia de Calor. Capítulo 11 Intercambiadores de Calor. Prentice Hall.... México, 1999