

# Diseño de un sistema de instrumentación y monitoreo de las variables en el proceso de dosificación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) para la producción de panela

## Design of a system of implementation and monitoring of the variables in the process of dosage of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) for brown sugar production

Cobos, Luis<sup>1</sup>; Aparicio, Juliana<sup>2</sup>; Solano, Henry<sup>3</sup> y Gamboa, Wilson<sup>4</sup>.  
Fundación Universitaria de San Gil – Unisangil, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería  
Programas Ingeniería Agrícola e Ingeniería Electrónica  
San Gil, Colombia

[luiscobos@unisangil.edu.co](mailto:luiscobos@unisangil.edu.co)  
[juliana.aparicio0612@gmail.com](mailto:juliana.aparicio0612@gmail.com)  
[henrysolano@unisangil.edu.co](mailto:henrysolano@unisangil.edu.co)  
[wgamboa@unisangil.edu.co](mailto:wgamboa@unisangil.edu.co)

Fecha de Recepción: 11 de junio de 2015  
Fecha de Aceptación: 12 de noviembre de 2015

**Resumen-** El desarrollo de la tecnología para el proceso de producción de panela durante los últimos años, ha concentrado sus mayores esfuerzos en obtener un producto de características organolépticas adecuadas (sabor, color, granulometría). Con el objetivo de generar nuevos conocimientos que contribuyan al mejoramiento de los centros de procesamiento de panela, los estudios se han centrado en el desarrollo de procesos que permitan la estandarización de la producción de este producto. En el proceso de elaboración de panela tradicional, se puede observar que uno de los puntos críticos es la dosificación de los reguladores del pH, en la etapa de clarificación de los jugos, el cual se realiza de manera artesanal en la mayoría de centros de producción.

La adición de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) de grado alimenticio actúa como un auxiliar de clarificación, el cual logra cumplir una doble función en la producción de panela; la primera consiste, en aumentar la eficiencia del proceso por la desestabilización que el cambio del pH produce sobre el material precursor de color, permitiendo así su fácil identificación y remoción, aclarando significativamente el producto; la segunda función es crear una barrera protectora de la molécula de sacarosa, que

impida su hidrólisis y deterioro de su calidad. La dosificación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ); en unidades de producción tradicionales de la panela; se realizó a criterio del operador dejando a un lado las propiedades iniciales del jugo de caña, por lo tanto el éxito del proceso dependerá de la experticia del operador. El objetivo de este proyecto fue realizar el monitoreo de las variables que influyen en la dosificación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) para la producción de panela pulverizada. Por esta razón fue necesario conocer las variables fisicoquímicas del jugo en los fondos receptores para proponer el diseño de un sistema de control para la dosificación; mediante monitoreo con instrumentación electrónica. El control de la dosificación estuvo basado en la temperatura del jugo, el pH y el volumen admitido; esto permitió alcanzar una mayor eficiencia al proceso de remoción de sólidos, logrando de esta manera el aumento de la calidad del producto, adicional a ello disminuyó el esfuerzo físico del trabajador y evitó pérdidas innecesarias de energía.

**Palabras clave** - Carbonato de calcio, clarificación, dosificador, pH, sacarosa, panela pulverizada.

**Abstract-** The development of the technology for the

<sup>1</sup> Ingeniero Agrícola, Investigador grupo de Investigación Identus, Unisangil

<sup>2</sup> M.Sc Catálisis y procesos, Ec-Lille, ENSCL, Université Lille 1 et IFP School

<sup>3</sup> Ingeniero Electrónico, Unisangil

<sup>4</sup> Ingeniero Electrónico; Director Grupo de Investigación Identus, Unisangil

process of brown sugar production along the last few years has concentrated its biggest efforts in obtaining a product with suitable organoleptic characteristics (taste, color, grain size). With the objective of generating new knowledge to contribute the improvement of these brown sugar process centers, the research has focused in the development of processes that allow standardizing the production of this product. In the process of making the traditional brown sugar, you can see that one of the critical states is the dosage of the pH regulators, on the juices' clarifying stage, which is done in a traditional way in most of the production centers.

The addition of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) of food grade acts as an auxiliary for clarification, which makes a double function on the production of brown sugar. The first function is to increase the efficiency of the process caused by the destabilization that the change of the pH produces over the color precursor material, allowing an easy identification and removal, making the product significantly clearer. Its second function is to create a protective barrier of the sucrose molecule, preventing its hydrolysis and quality deterioration. The dosage of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ); on traditional brown sugar production units; It was done with the operator's criterion, leaving aside the initial properties of the sugar cane juice, hence the success of the project will depend on the experience of the operator. The objective of the project was to make a scan of the variables that influence the calcium carbonate dosage ( $\text{CaCO}_3$ ) for the production of pulverized brown sugar. Therefore, it was necessary to recognize the physicochemical variables of the juice at the receiving funds to propose the design of a control system for dosage; through the scan with electronic instrumentation. The control of the dosage was based on the temperature of the juice, the pH and the accepted volume. This allowed to reach a bigger efficiency at the solids removal process, accomplishing the increase of the product's quality, and additionally decreased the physical effort of the worker and avoided unnecessary energy loss.

**Keywords** – Calcium carbonate, clarification, dispenser, pH, saccharose, panela powdered.

## I. INTRODUCCIÓN

La panela o azúcar no-centrifugada (ANC) es la denominación técnica usada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), del producto que se obtiene por la evaporación del jugo de caña que ha sido consumido tradicionalmente como un edulcorante y se conoce con diversos nombres a nivel mundial; en el sur de Asia conocido como jaggery, en América Latina como panela, en Filipinas como muscovado, y kokuto en Japón [1].

La India es el primer productor de azúcar no-centrifugada, en segundo lugar se encuentra Colombia, siendo además el primer país consumidor por persona de este producto [2].

En Colombia la producción de panela se hace con la participación de la mano de obra campesina, la cual ha generado anualmente más de 25 millones de jornales, vinculando a esta actividad alrededor de 350.000 personas, es decir, el 12% de la población rural económicamente activa, siendo después del café el segundo renglón generador de empleo [3]. La panela se produce en casi todo el país durante todo el año. Se estima que existen cerca de 70.000 unidades agrícolas que cultivan caña panelera, y 23.000 trapiches en los que se elabora panela sólida, panela pulverizada y miel de caña.

La panela es un edulcorante obtenido mediante la concentración de los jugos de la caña de azúcar se presenta en forma sólida, en bloques rectangulares, semiesféricos o trapezoidales, pulverizada y granulada con pesos que varían entre 0.5 y 1.5 kg, dependiendo de la región de producción y del mercado al que vaya dirigido [4]. Este producto tiene un valor nutritivo superior al del azúcar blanco, esto se debe a que durante el proceso de producción se conserva la mayoría de los minerales y vitaminas propios de la caña [5].

En Santander, la producción de la panela se concentra en la hoya del río Suárez y el Fonce; son pocos los trapiches donde se han implementado nuevas tecnologías en la producción del producto, esta es una de las observaciones obtenidas luego de realizar las visitas para conocer el estado del gremio panelero en la región [6]. La extracción, clarificación, evaporación, punteo, batido, moldeo y empaque son las etapas del proceso de producción de panela y cada uno de ellos presenta diferentes aspectos a analizar. El desarrollo de la investigación se realizó en el área de clarificación; en donde se hizo un monitoreo de las variables de temperatura y el pH.

La investigación se desarrolló en tres fases; en primer lugar se realizó un análisis detallado en las unidades productivas sobre los principales factores que influyen en la variación del pH con respecto a la temperatura en el área de clarificación, allí se registraron los tiempos de calentamiento en función de la adición de  $\text{CaCO}_3$ ; en la segunda fase se adquirió la instrumentación necesaria para el sistema de monitoreo con respecto a los rangos de temperatura a medir; la tercera fase consistió en realizar pruebas de laboratorio y análisis del comportamiento de las variables.

## II. PRODUCCIÓN DE PANELA

La producción de panela se realiza de dos formas: una de manera manual y obrera y una sofisticada: la primera etapa de producción consiste en la recolección de cañas

molinables que cumplen con las condiciones para ser procesadas como coeficiente de maduración y, grados Brix ( $B^\circ$ ). En la segunda etapa los tallos de la caña pasan por un molino de maza donde se hace la mayor extracción de jugo, el cual pasa a unos tanques o prelimpiadores hechos en acero inoxidable diseñados por Corpoica – Cimpa [7], cuya función es retener las impurezas presentes en el jugo, que la mayoría de las veces son residuos de bagacillo, caña, tierra, espuma, lodos y coloides. Posterior a ello sigue el proceso de clarificación que se realiza en la línea de fondos calentadores, donde en relación con la temperatura se adicionan floculantes vegetales o sintéticos; para aglomerar partículas, coloides y bagacillos que no son retenidos en el proceso anterior. Simultáneamente se adiciona carbonato de calcio para clarificar los jugos, la temperatura en este proceso no supera los  $80^\circ\text{C}$  [4].

Después de esto, el jugo sigue un proceso de calentamiento y evaporación hasta llegar cerca a los  $125^\circ\text{C}$  y cumpliendo las características de pH cercano a 5.8 y Brix entre  $95^\circ$  y  $98^\circ$ .

La última etapa consiste en el área de moldeo para panelas sólidas o para panela pulverizada, este proceso tarda alrededor de 2 horas [4].

#### A. Relación de $\text{CaCO}_3$ en el proceso

El carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) se utiliza para corregir el pH, su uso tiene como fin mejorar el color y evitar que se acidifique el jugo y ocurra la hidrólisis durante el proceso de producción de la panela. El  $\text{CaCO}_3$  empleado durante el proceso es de grado alimenticio como lo establece el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos, Invima [8]. El carbonato de calcio se adiciona disuelto en agua o preferiblemente con el mismo jugo a los fondos calentadores, dependiendo de la necesidad de corrección del jugo [9]. Normalmente, la adición de carbonato de calcio depende de la experticia del operador sin tener en cuenta las condiciones y características de los jugos.

En la tabla 1, se relaciona la concentración del carbonato de calcio y la cantidad que se debe aplicar.

TABLA 1. RELACIÓN DE GRADOS BAUMÉ Y LA CANTIDAD DE CAL CONTENIDA EN LA LECHADA

Baumé (Bé)	Densidad (ml/cm <sup>3</sup> )	Gramos de CaO por litro	CaO % de peso	Kg de agua empleados por Kg de CaO
10	1.075	94	8.74	10.4
15	1.116	148	13.26	6.5
20	1.162	206	17.72	4.6

La lechada de  $\text{CaCO}_3$  se fabrica casi siempre de  $15^\circ$  Bé [10]. La escala Baumé es usada en la medida de las

concentraciones de ciertas soluciones como ácidos y jarabes. El proceso de adición de  $\text{CaCO}_3$  en frío es el más empleado para que la disolución sea más homogénea.

#### B. Regulación de pH

El pH es el índice químico del potencial hidrógeno, definido como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno. Los valores de pH bajos o inferiores a 7 corresponden a concentraciones elevadas de hidrógeno, son soluciones ácidas. Los valores superiores a 7 son concentraciones bajas de hidrógeno y se denominan básicos o alcalinos [4].

El pH de los jugos en casi todas las regiones del país fluctúa entre 5.0 y 5.2. Para realizar un proceso eficiente de clarificación, se debe optimizar y controlar la adición de  $\text{CaCO}_3$  en forma de lechada hasta el punto de pH deseado [4].

### III. METODOLOGÍA

Con el apoyo del grupo de investigación Identus de la Fundación Universitaria de San Gil, Unisangil, mediante visitas se pudo verificar que la adición de  $\text{CaCO}_3$  al proceso de producción de panela se realizó de forma manual y con la experticia del operario de turno, por otra parte se pudo conocer que no se cuenta con equipos adecuados para realizar las medidas de las diferentes variables que intervienen en el proceso.

#### A. Toma de muestras

En la toma de muestras y monitoreo se empleó un pHmetro digital S651 KD-ORP, y OHAUS ST 20, un refractómetro digital marca AT-PAL-3 y análogo marca EXTECH INSTRUMENTS RF15 para registrar grados  $^\circ\text{Brix}$  y termómetro láser infrarrojo marca FLUKE; 65 INFRARED THERMOETER para verificar temperatura.

Con el uso de estos equipos se monitorearon las variables de temperatura, pH y grados brix ( $^\circ\text{B}$ ); además, se realizaron pruebas por medio de un laboratorio, del comportamiento de estas variables en tiempo real.

#### B. Ensayos de laboratorio

Para realizar las pruebas de laboratorio, se adecuó un sistema de calentamiento, un sistema de control y un equipo de cómputo en las instalaciones del taller de prototipos de la universidad, el cual cuenta con utensilios para simular el proceso realizado en los trapiches y otros recipientes adecuados para el proceso. La instrumentación electrónica empleada constó de un electrodo de pH S651 KD-ORP, que se caracteriza por la exactitud, velocidad de respuesta y bajo requerimiento de mantenimiento; el rango de

temperatura de las sustancias a medir fue de 10-100 °C; un transmisor de pH TX 100, el cual es un microprocesador que recibe una señal en mili voltios, entrega una salida de 4 – 20 miliamperios y permite una visualización en el LCD. El sistema de control junto con los instrumentos son necesarios para observar el comportamiento de las variables, antes de programar el PLC V570-57-T40B (Controlador Lógico Programable) en la figura 3, representa el diagrama de bloques del proceso de monitoreo, este describe la evolución del tratamiento que se automatizó, está definido por elementos gráficos y reglas de evolución que reflejan la dinámica del comportamiento del sistema.

Otros instrumentos para la toma de datos fueron: un cable S653 CD para conectar el sensor al transmisor de pH TX 100 y para medir la temperatura se utilizó un sensor RTD pt 100.

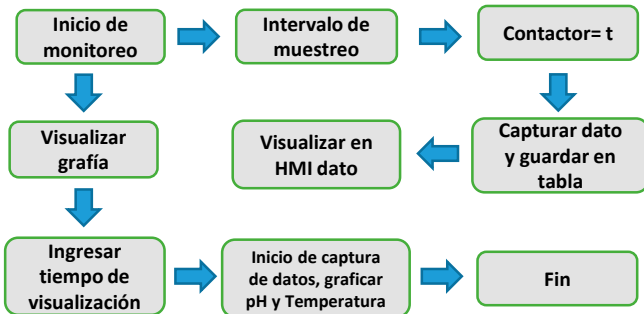


Fig. 1 Diagrama de bloques para la programación del PLC.

Estos datos se complementaron con información de volumen y concentración de sólidos solubles (°B) que fueron medidos de forma manual. Se realizaron 2 pruebas pilotos con una solución de agua y panela para verificar el desempeño de la instrumentación y 4 pruebas con jugo de caña, tomado de diferentes trapiches de la región, adicionando floculante vegetal de balso (*Heliocarpus americanus* L) y carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

La adición de  $\text{CaCO}_3$  se hizo en dos puntos del calentamiento, la primera a los 40 °C y la segunda a los 80 °C.

Al final se analizó químicamente la composición de la panela producida en este proceso.

#### IV. RESULTADOS

Se logró medir y registrar los datos importantes de tres variables principales (temperatura, tiempo y pH) en la producción de panela pulverizada.

En la figura 2, se muestra el diagrama P&I que permitió observar cada uno de los instrumentos utilizados para el sistema de monitoreo y sus respectivas conexiones, entradas analógicas y fuente de corriente; el sistema de monitoreo corresponde al sensor de pH y temperatura.

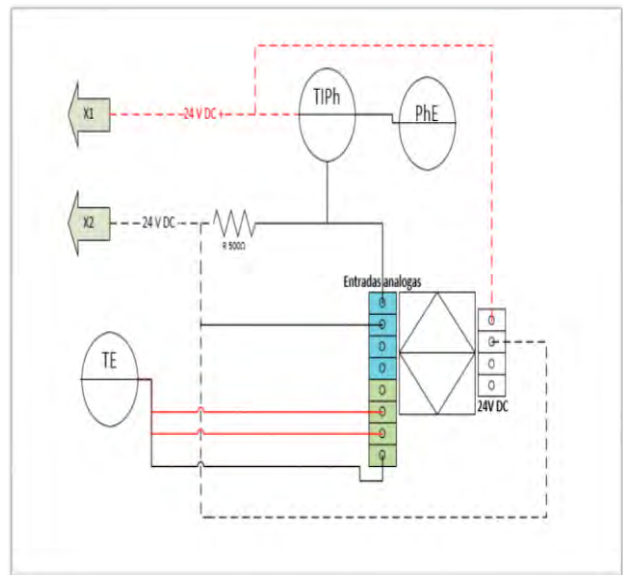


Fig. 2 Diagrama P&I del sistema de monitoreo.

En la figura 3, se observa la relación entre temperatura vs pH, esta prueba se realizó sin ajuste de pH ni adición de floculantes, debido a que era una mezcla de agua y panela el volumen corresponde a 3 litros de esta solución y se observa un descenso significativo en el pH a medida que aumenta la temperatura.

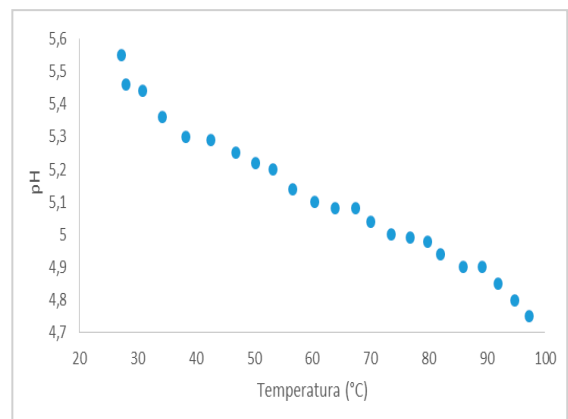


Fig. 3 Relación de Temperatura y pH.

En la figura 4, se aprecia el avance de la temperatura con relación al tiempo, la correlación es lineal, el aumento de temperatura es de 3.18 °C, siendo superior a lo recomendado que está entre 1.2 y 1.8 °C; cuando es menor las partículas no se aglutinan muy fuerte y cuando es muy elevado la aglutinación de partículas es óptima pero induce

la formación de azúcares reductores [4]. La fuente de calor empleada fue la misma en todas las pruebas.

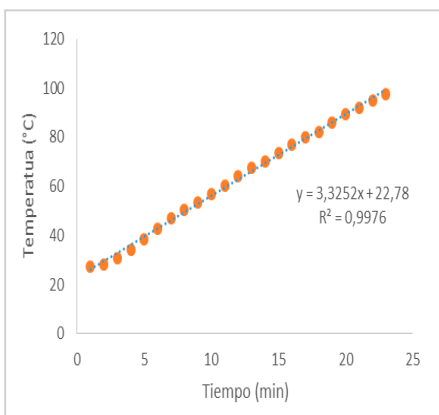


Fig. 4 Relación del tiempo vs temperatura.

La segunda prueba se realizó con 3 litros de jugo de caña, en donde se analizaron las variables de temperatura, tiempo y pH. En esta prueba se adicionó  $\text{CaCO}_3$  en dos oportunidades al producto, la primera a los 66 °C y la segunda a los 82 °C. La medida de grados Brix fue de 15.3% al momento de iniciar el calentamiento, la adición de cal se preparó en forma de lechada: 10 gramos de  $\text{CaCO}_3$  y 50 milímetros de jugo, se adicionaron 20 milímetros de esta solución hasta llegar a un valor de pH de 6.15. La segunda adición se realizó a los 82 °C con la misma solución y se ajustó a 6.78 de pH.

En la figura 5 se observa el comportamiento del pH en relación a la temperatura, se adiciona  $\text{CaCO}_3$  en dos oportunidades pero la tendencia del pH es a disminuir.

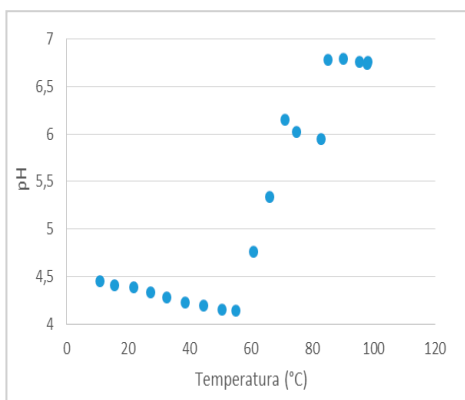


Fig. 5 Comportamiento de la temperatura respecto al pH con adición de  $\text{CaCO}_3$ .

La figura 6 evidencia el comportamiento de la temperatura en el tiempo, para esta prueba el aumento de la temperatura fue de 5.12 °C por minuto, siendo mayor al registrado en la prueba anterior, la correlación al igual que la prueba 1 es lineal y la fuente de calor es la misma. Según

el estudio de Pérez, et al. [11], en los trapiches el jugo va pasando de un fondo a otro, aumentando cada vez la temperatura debido a que se acerca al área de combustión de la hornilla.

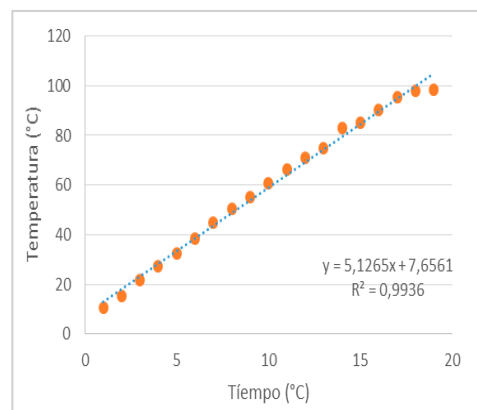


Fig. 6 Relación del tiempo vs temperatura con adición de  $\text{CaCO}_3$ .

## V. CONCLUSIONES

El sistema de monitoreo permite visualizar el comportamiento en tiempo real de las variables de pH y temperatura, ayuda a conocer en qué momento es preciso adicionar  $\text{CaCO}_3$  en el proceso.

La adición oportuna y en cantidades exactas de  $\text{CaCO}_3$  durante el proceso, es un factor determinante para obtener un producto de buena calidad, ya que afecta de manera directa el color, grano y azúcares reductores.

La selección de la instrumentación es importante para obtener un buen desempeño del equipo o máquina que se desee diseñar, y aún más cuando se presentan factores externos como la temperatura, humedad, corrosión y suciedad.

Por medio del sistema de monitoreo, es posible hallar un modelo del proceso para llevar a cabo la adición de  $\text{CaCO}_3$  mediante un sistema de dosificación.

Un sistema de dosificación es importante para los productores de panela, ya que con este es posible realizar este proceso de acuerdo a lo requerido por los jugos de caña y ofrecer al mercado productos de mejor calidad.

## REFERENCIAS

- [1] W. Jaffé, 2012. AZÚCAR NO-CENTRIFUGADO (PANELA): PRODUCCIÓN MUNDIAL Y COMERCIO. [Online]. [http://www.panelamonitor.org/media/docepo/document/files/azucar-no-centrifugada-\(panela\)-produccion-mundial-y-comercio.pdf](http://www.panelamonitor.org/media/docepo/document/files/azucar-no-centrifugada-(panela)-produccion-mundial-y-comercio.pdf).

- [2] Superintendencia de Industria y Comercio, (2011). Cadena Productiva de la Panela, Diagnóstico de Libre Competencia. [Online]. Available: [http://www.sic.gov.co/recursos\\_user/documentos/promocion\\_competencia/Estudios\\_Economicos/Panela2012.pdf](http://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/Panela2012.pdf). (20.p).
- [3] D. A. Gómez Vesga, *Reestructuración del sector panelero en el municipio del Socorro, Santander, durante el periodo 1994 a 2013*, (master en desarrollo rural). Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C. 2014. (104.p)
- [4] N. D. Castro, 2010. *Reingeniería Panelera*, primera edición, Tunja, Buos Editores, (244 p).
- [5] G W Jaffé. (2015). Nutritional and functional components of non centrifugal cane sugar: A compilation of the data from the analytical literatura (p 194 – 202).
- [6] A. F Arias y L. V. Tamara (2006), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Social. El sector panelero colombiano. Bogotá. [Online]. Available: <http://www.minagricultura.gov.co/archivos/Sector%20Panelero%20Colombiano.pdf>.
- [7] H. García, L. Albarracín, A. Toscano, N. Santana, and O. Insuasty, *Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de caña panelera*. Bogotá D. C.: Produmedios, 2007.
- [8] Ministerio de la protección social (2006, 17 de marzo de 2006) *Resolución 779 de 2006*
- [9] G. Osorio Cadavid, 2007. *Manual Técnico, Buenas Prácticas Agrícolas -BPA- y Buenas Prácticas de Manufactura -BPM- en la producción de panela*. [Online]. Available: <http://www.fao.org/co/manualpanela.pdf>. Fecha de consulta: julio de 2015.
- [10] E. Hugot. Manual para Ingenieros Azucareros. La Habana Edición Revolucionaria.
- [11] A. Pérez, A. Bortone. Medición in situ de los valores de las principales variables asociadas al proceso de fabricación de miel y panela de caña de azúcar (*Saccharum spp. Híbrido*). [Online]. <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/29298/1/articulo1.pdf>. Fecha de consulta: octubre de 2015.