

IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS TECNOLÓGICAS PARA EL MÓDULO DE PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA DE SANTA ROSA DE CHONTA, MONTERO, AYABACA, PERÚ

Prof. Ing. Daniel Marcelo Aldana daniel.marcelo@udep.pe

Universidad de Piura - Perú, Sección Energía

Ing. Raúl La Madrid Olivares rlamadri@gmail.com

Universidad de Piura - Perú, Sección Energía

Resumen. *La agroindustria panelera en Perú está desarrollando a pasos importantes, principalmente en la zona de la sierra de Piura. En tal sentido es importante conocer ampliamente el proceso de producción de panela granulada (azúcar orgánico), desarrollar tecnología local que permita hacer frente a los retos que involucran dicha agroindustria, pasando también por la formación de cuadros tanto técnicos, así como profesionales y científicos. Teniendo como marco la convocatoria de proyectos del Fincyt¹ la Universidad de Piura (UDEP) verificó la necesidad de realizar mejoras importantes al proceso de producción de panela granulada y desarrolló un proyecto² que tuvo como objetivo construir un prototipo mejorado de producción de panela, que incluía un estudio profundo y riguroso del proceso de producción de panela, identificación de principales problemáticas, diseño del prototipo, la construcción y la realización de pruebas de operación.*

Palabras-clave: Biomasa, Bagazo, Panela, Combustión.

1. INTRODUCCIÓN

La panela es un producto alimenticio, que se utiliza como bebida o como edulcorante obtenida mediante la concentración de los sólidos solubles totales, disueltos en el jugo de la caña de azúcar (Roberto Loy, 2002). La producción de azúcar orgánico es una agroindustria típica rural, donde una gran cantidad de pequeños, medianos y algunos grandes cultivadores de caña de azúcar, transforman individual y directamente, este producto agrícola en un alimento. El proceso de elaboración de azúcar orgánico, comienza con la recepción de la caña, seguido por la extracción y acondicionamiento de jugos (molienda, filtración – decantación y almacenamiento de los jugos), obtención de mieles (limpieza y clarificación, evaporación, concentración y punteo) y por último la elaboración de la panela (cristalización – enfriamiento y tamizado) (García *et al*, 2007).

2. GENERALIDADES

El mayor exportador de azúcar orgánico a nivel nacional es la empresa Central Piurana de Cafetaleros – CEPICAFÉ, empresa que ha participado como entidad colaboradora en el proyecto mencionado. En el año 2009 la cantidad de panela que se exportó aproximadamente fue 600 toneladas, con un ingreso aproximado de 720000 dólares, siendo los mayores países compradores Francia, Italia y Suiza. Los formatos en los que se vende este producto son los siguientes; **a granel:** envases por 25 kg, bolsa de polietileno y saco exterior de polipropileno; **envasado:** envases bopp por 500 gramos y cajas de cartón. A nivel interno solamente el 5% de la producción de CEPICAFE es para la venta nacional. Es en este sentido se está trabajando actualmente para incrementar las ventas nacionales, previéndose ventas a Lima y Piura. Una manera de hacer esto sería: ofrecer formatos pequeños para que facilite la prueba del producto, asegurando precios accesibles que reduzcan el temor que siente el cliente a la compra de un producto nuevo. Además promover la prueba del producto a través de degustaciones en los supermercados, y una campaña de comunicación en los principales medios que aumenten el conocimiento del producto.

¹ Programa de Ciencia y Tecnología -FINCYT- financia proyectos que contribuyen al mejoramiento de los niveles de competitividad del país, fortaleciendo las capacidades de investigación e innovación tecnológica www.fincyt.gob.pe

² Estudio e investigación teórica experimental del proceso de obtención de panela granulada a partir de la caña de azúcar. Contrato N° 031-FINCYT-PIBAP-2007

3. BENEFICIOS DE LA PANELA GRANULADA

Lo que diferencia a la panela granulada orgánica sobre productos como el azúcar rubia – blanca y edulcorantes artificiales es:

- Es 100% natural. A diferencia de los otros dos productos no utiliza ningún insumo químico para su fabricación.
- Es más nutritivo que los otros dos productos (Roberto Loy, 2002).
- Es orgánica, el cultivo de la caña de azúcar no utiliza fertilizantes químicos en tal sentido se cuida el medio ambiente.
- Es un producto de comercio justo que además de generar beneficios para la empresa, mejora la calidad de vida de los productores y las comunidades asociadas a CEPICAFÉ.

4. MÓDULO DE PRODUCCIÓN SANTA ROSA

El módulo de producción de Santa Rosa de Chonta ubicado en Montero - Ayabaca, ha sido el lugar seleccionado para implementar las mejoras tecnológicas desarrolladas en las primeras fases del proyecto, por el grupo de investigadores de la Sección Energía de la Universidad de Piura. Esto incluye la construcción del prototipo de hornilla panelera. El módulo de producción de Santa a partir de su fecha de construcción comenzó a producir con una capacidad nominal de 50 kg/h. Siendo un módulo eficiente se consideró apropiado implementar mejoramientos para aumentar la producción, pero que no tuvieron un buen resultado, por el contrario, hicieron deficiente la hornilla y no autosuficiente. De otro lado problemas ligados al mal mantenimiento y operación, junto con los problemas de gestión del módulo terminaron por hacer que el módulo de producción no sea atractivo desde el punto de vista económico. Bajo estas condiciones es que se propuso construir un nuevo prototipo de hornilla panelera de mayor capacidad para reemplazar a la existente.

A continuación, se muestra algunas de las problemáticas encontradas en el módulo, durante la primera visita que se realizó. En la *zona de molienda*, se podían identificar tres problemas graves:

1. La contaminación del jugo de caña con aceites y lubricantes propios del molino, debido a un mal diseño de fabricación, que no permitía aislar el jugo de los contaminantes. En la Fig. 1 se pueden observar principales focos de contaminación con lubricantes en el molino.

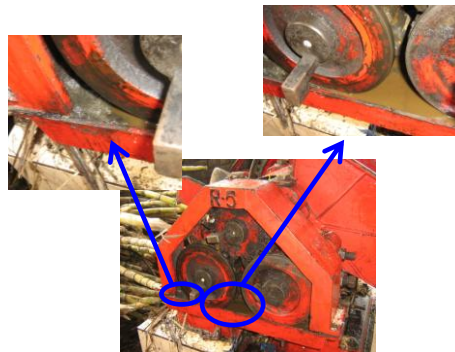


Figura 1. Contaminación con lubricantes

2. Otro de las deficiencias observadas en el molino, era el desgaste de las mazas y la oxidación de las mismas, debido a un inadecuado mantenimiento.

3. El motor Diesel que accionaba el molino, había recibido un mal mantenimiento, además, presentaba el problema que se evacuaban directamente los gases producto de la combustión en el recinto donde se realizaba la molienda (ver Fig. 2).



Figura 2. Deficiencias sistemas del motor y tubo de escape

En la *etapa de hornilla*, la deficiencia fundamental es la cámara de combustión, siendo una cámara tradicional, es decir, tiene el área de parrilla³ demasiado grande y demasiado exceso de aire, originando una combustión ineficiente y altos porcentajes de liberación de CO.

En la Fig. 3 se muestra un corte transversal de la hornilla. Como se puede apreciar las pailas están directamente sobre la parrilla y por lo tanto sobre la llama, lo que origina fallas mecánicas en estos elementos que funcionan como intercambiadores de calor.

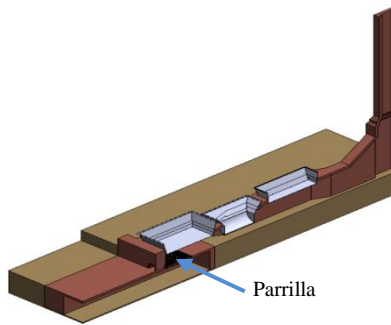


Figura 3. Corte transversal hornilla panelera

En la Fig. 4, debido a la dilatación sufrida por la parrilla efecto de las altas temperaturas, hubo deformaciones en ésta, dado que no se había dejado el juego necesario para la dilatación mencionada, lo que provocó un estrés térmico que culminó en la falla de la parrilla.



Figura 4. Deformaciones en la Parrilla

³ La parrilla es un elemento que sirve como lecho al bagazo permitiendo la entrada de aire y además permite la evacuación de las cenizas.

En lo referente a las pailas éstas estaban en mal estado mecánico, debido al mal diseño de la hornilla, lo que provocaba altas temperaturas en las últimas pailas con deformaciones en las aletas⁴ (ver Fig. 5), y a su vez afectaba el fondo de la paila como se muestra en la Fig. 6.



Figura 5. Deformaciones en las aletas



Figura 6. Estado de pailas

5. FASE DE DISEÑO DEL MÓDULO

En la fase de diseño se determinó los componentes del módulo de producción de panela. A continuación se explican cada uno de éstos:

5.1 Sala de molienda

Para evitar el problema de contacto de aceites con el guarapo, se adquirió un molino R8 de fabricación colombiana, el cual además de tener un mejor diseño, permite una mayor capacidad de molienda (1500 kg caña por hora). Además, con la finalidad de evitar problemas futuros, se ha capacitado a los productores en los siguientes puntos:

1. Procedimiento de montaje del molino.
2. Puesta en marcha del molino.
3. Recomendaciones operación del molino.
4. Mantenimiento preventivo
5. Mantenimiento correctivo.

Del mismo modo se ha capacitado a los productores en lo relacionado al montaje, operación y mantenimiento del motor.

5.2 Hornilla

Una vez analizadas las mayores problemáticas de la hornilla anterior, se hizo un estudio en el cual se investigó acerca de las tecnologías actuales para el proceso de producción de azúcar orgánico. Es así que se llegó en primer lugar a la conclusión de que era más conveniente construir una hornilla tradicional, en lugar de una que funcionara con sistema a

⁴ Superficies extendidas utilizadas para beneficiar la transferencia de calor.

vapor. Esto debido a que se podría utilizar el conocimiento adquirido para aplicarlo en la mejora de otras hornillas de la zona. A continuación se muestran las principales características de los elementos que constituyen la hornilla del prototipo construido:

Cámara de Combustión

Definido el tipo de prototipo de hornilla a construir, se optó por la construcción de una cámara tipo Ward-Cimpa, ya que este tipo de hornilla permite alcanzar mayores temperaturas en la combustión, permite utilizar bagazo con humedades de hasta el 45% y además libera menor cantidad de CO (García *et al*, 2007). En la Fig. 7 se muestra el modelo 3D de la cámara de combustión construida. Como se puede observar este tipo de cámara tiene dos entradas de aire: una primaria y otra secundaria, permitiendo un mejor desarrollo de la combustión. La cámara cuenta con una rampa de pre-secado de bagazo facilitando el uso de bagazo hasta con un 45 % de humedad. La altura de la cámara es otro factor importante, en este caso la altura es de aproximadamente 4 metros, evitando el contacto directo entre las pailas y la llama. Una creencia incorrecta que se tiene, es que si la llama tiene contacto directo con las pailas es beneficioso cuando en realidad es todo lo contrario.

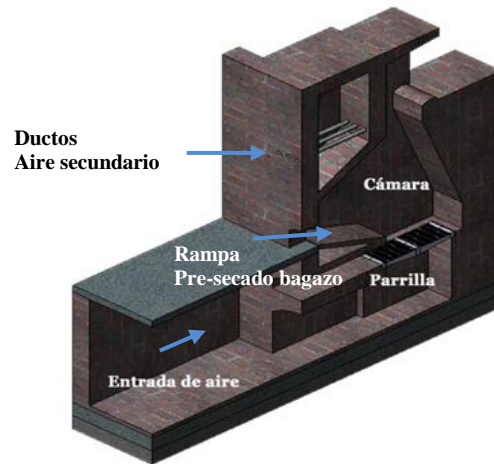


Figura 7. Cámara de combustión tipo Ward-Cimpa

Ducto de humos

La Fig. 8888 muestra la vista del ducto de humos. Cada detalle de este elemento de la hornilla panelera ha sido previsto para favorecer el fenómeno de transferencia de calor de los gases de combustión al jugo de caña. Este ducto ha sido recubierto, al igual que la cámara de combustión con ladrillo refractario en su parte interior. El uso de ladrillo refractario se justifica, a pesar de ser más costoso que el ladrillo común, porque proporciona un mejor aislamiento lo que se traduce en una reducción importante de las pérdidas de calor a través de las paredes de la hornilla. Adicionalmente se puso una doble pared ya que de esta manera se reduce aún más las pérdidas de calor por las paredes.



Figura 8. Cámara de combustión tipo Ward-Cimpa

Chimenea

La chimenea cumple la función de dar el tiro⁵ necesario para la correcta evacuación de los gases. Si la altura de la chimenea es muy baja, provoca que la velocidad salida de los gases sea muy alta, lo que a su vez se traducirá en un proceso ineficiente de la transferencia de calor. Por otro lado si la altura de la chimenea es muy alta ocasiona un estancamiento o retorno de los gases de combustión, cosa que tampoco se desea. Como es de entenderse, el clima cambiante de cada zona de producción hace que las características de la combustión cambien y por ende el tiro total requerido debe ser reajustado haciendo uso de una válvula mariposa (ver Fig. 9).

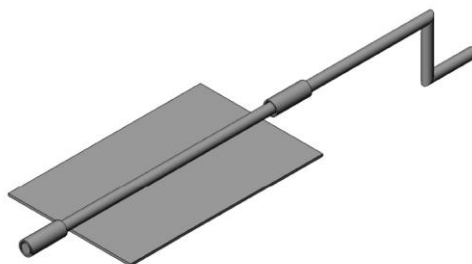


Figura 9. Válvula mariposa

6. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE PAILAS

En el dimensionamiento de las pailas hay que tomar factores técnicos importantes (utilizando conocimientos de mecánica de fluidos y transferencia de calor) y también factores ligados a la manera cómo los productores manejan el proceso de producción de panela granulada. Al productor no se le puede cambiar drásticamente la “manera” como viene produciendo panela. En otras palabras la innovación tecnológica a implementar debe respetar la idiosincrasia en cuanto a la producción de panela de la zona, claramente respetando algunos lineamientos comunes. En el caso del prototipo a construir, se toma en consideración la cantidad de caña disponible de la zona, las perspectivas de crecimiento en cuanto a caña de azúcar a cultivar, la forma como vienen produciendo la panela los agricultores de la zona y también el área disponible para la construcción. Para el prototipo en la fase de diseño y construcción se consideró 5 pailas, con una capacidad de producción de la planta de aproximadamente 80 a 100 kg/h. Como condición imprescindible se tiene que las pailas deben realizar el proceso para el cual han sido diseñadas, respetando los tiempos de calentamiento y evaporación del agua contenida en el jugo. En la Fig. 10 se muestra el resultado, después de validar los diferentes modelos. A continuación se mencionan las características de las pailas utilizadas en la construcción del prototipo.

Paila semicilíndrica (paila 1):

- Se utilizan cuando el paso de los jugos se hace manualmente.
- Tienen la ventaja que ofrecen mayor área de transferencia de calor que una paila tipo plana.⁶

Pailas semiesféricas (pailas 2 y 3):

- De igual manera a las anteriores, se utilizan cuando el paso de los jugos se hace manualmente.
- Se utilizan cuando la relación entre el área de transferencia de calor y el volumen de la paila es baja y el traslado manual de los jugos no requiere grandes esfuerzos humanos.

Pailas Planas aleteadas (pailas 4 y 5):

- Son más eficientes, que pailas planas. Presentan mayor relación del área de transferencia de calor con respecto al área plana. Permiten obtener hornillas relativamente más pequeñas.
- Este tipo de intercambiadores se fabrica agregando estas superficies extendidas (aletas) a pailas planas. Hay que tener en cuenta que se tiene que hacer un cálculo matemático para determinar las dimensiones y el número de aletas para obtener rendimientos óptimos.

⁵ Diferencia de presión necesaria para el movimiento de gases a través del ducto.

⁶ Esta paila es un tronco de pirámide, el cual se encuentra abierto en su base mayor, y su base menor se encuentra expuesta a los humos para transferencia de calor.

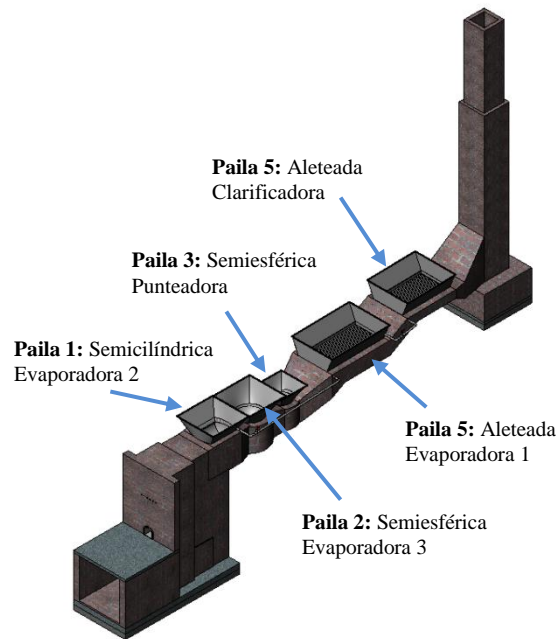


Figura 10. Nombre, posición y uso de las pailas del módulo construido

7. IMPACTOS DEL PROYECTO

Los impactos del proyecto se mencionan a continuación:

7.1 Impactos Económicos y sociales

El fortalecimiento y consolidación de las actividades productivas en la zona, a partir de las propias capacidades de las familias, se ha contribuido a crear las condiciones necesarias para el desarrollo autónomo de los individuos y de la APPAGROP de Santa Rosa de Chonta, para mejorar su calidad de vida.

7.2 Impactos en Tecnología

Al ser una investigación relativamente nueva en Perú, a nivel científico la UDEP y el equipo de trabajo han realizando actividades para identificar mejoras importantes al proceso de producción agroindustrial de azúcar orgánico y actualmente, están a la vanguardia en el desarrollo de tecnologías de producción de azúcar orgánica.

7.3 Impactos Ambientales

El factor clave en la disminución de emisiones nocivas al medio ambiente se ha centrado en la cámara de combustión. Actualmente, en otros módulos de producción de la zona, el quemado del bagazo en las cámaras de combustión es realizado de manera no eficiente y por ende con impacto sobre el ambiente, por las emisiones de CO emitidas. En tal sentido en este prototipo se ha tratado directamente el quemado con combustión completa del bagazo en la cámara reduciendo las emisiones debido al diseño optimizado de cámara de combustión.

8. INDICADORES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

8.1 Cálculo del rendimiento del cultivo

Este indicador se define como el cociente entre la panela producida y la caña procesada.

$$I_1 = \frac{m_{panela}}{m_{caña\ procesada}} \quad (1)$$

Según Velásquez *et al.* (2004), este parámetro usualmente tiene un valor de 0.1 (10%). El valor obtenido durante las pruebas de operación del prototipo para el I_1 es de aproximadamente 9%, lo que es bastante aceptable ya que está muy próximo al valor usual del 10%.

8.2 Cálculo del rendimiento del bagazo

En los trapiches se busca el autoabastecimiento energético mediante el uso del bagazo como combustible, por lo tanto se define un índice que da cuenta del bagazo sobrante o faltante en los trapiches. Como la humedad con que se produce y se consume el bagazo varía con el nivel de extracción de jugo y el proceso de secado, la cantidad de bagazo húmedo no ofrece una comparación directa de los trapiches. Por esto se define el índice con base en el bagazo seco consumido y producido:

$$I_2 = \frac{m_{bs, producido} - m_{bs, consumido}}{m_{bs, producido}} \times 100\% \quad (2)$$

Donde la *masa de bagazo seco producido* ($M_{bs, producido}$) se calcula utilizando la Ec. (3).

$$m_{bs, producido} = \frac{m_{bh, producido} (100 - w_{bg})}{100} \quad (3)$$

Y la *masa de bagazo seco consumido* ($M_{bs, consumido}$) se calcula utilizando la Ec. (4).

$$m_{bs, consumido} = \frac{m_{bh, consumido} (100 - w_{bc})}{100} \quad (4)$$

Donde w_{bg} y w_{bc} son respectivamente, la *humedad del bagazo generado* y del *bagazo consumido*. Valores positivos indican una autosuficiencia energética de la hornilla, por el contrario valores negativos indican que es necesario el uso de combustibles adicionales. En el módulo construido se ha obtenido un $I_2 = 9.8\%$ lo que demuestra la autosuficiencia del prototipo.

8.3 Cálculo del índice de pérdidas de los gases de combustión

El índice de pérdidas por la chimenea se calcula mediante el cociente entre la energía que se pierde por chimenea, y la energía generada en la cámara de combustión.

$$I_3 = \frac{Q_{chimenea}}{Q_{generado}} \quad (5)$$

Para el prototipo construido se ha calculado un índice de 24.4%, que muestra bajas pérdidas de los gases de combustión.

8.4 Cálculo del índice global de rendimiento de un trapiche

Se calcula como el cociente entre el *bagazo seco consumido* y la *panela producida*.

$$I_4 = \frac{m_{bagazo consumido}}{m_{panela}} \quad (6)$$

El valor del índice 4 depende del éxito en la extracción de jugos, en el secado del bagazo, en el proceso de combustión, y en el aprovechamiento de la energía en el proceso productivo. Entre más bajo sea este índice, mejor será el rendimiento global (energético y productivo) de la hornilla.

El módulo analizado tiene un $I_4=1.18571$, el cual es bajo, lo que representa un buen rendimiento global (energético y productivo) de la hornilla.

8.5 Redimiendo de panela - tiempo

Se determina mediante el cociente entre la masa de panela producida (en kilogramos) respecto al tiempo de proceso en la evaporación del agua (en horas). Este rendimiento indica la capacidad de producción de la hornilla.

$$\eta_{\text{panela-tiempo}} = \frac{m_{\text{panela}}}{\text{tiempo}} \quad (7)$$

El valor obtenido es de 80 kg/h, siendo este la capacidad de producción de la hornilla.

8.6 Cálculo del porcentaje de extracción en peso

Es el término utilizado para expresar la cantidad de jugo recuperado. Se expresa en kg de jugo por cada 100 kg de caña.

$$Ep = \frac{P_j}{P_c} \times 100 \quad (8)$$

Siendo, P_j el jugo recuperado y P_c el peso de la caña, las unidades de ambos parámetros son kilogramos.

Un porcentaje de extracción en peso del 60% se puede considerar como uno bueno para un molino de tres masas. En el cuarto de molienda de la hornilla construida, se obtuvo un porcentaje de extracción en peso del 69%.

9. CONCLUSIONES

- Gracias a la innovación implementada en el prototipo ha sido posible obtener mayores índices de operación, respecto al que presentan las otras hornillas.
- Debido a los menores tiempos de residencia y a una mayor eficiencia en la combustión del bagazo ha sido posible aumentar la cantidad y mejorar la calidad de panela producida.
- En el tema de investigación: se han optimizado los tiempos de análisis, diseño y simulación con el uso de herramientas como las técnicas de simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD).
- Hay un impacto ambiental positivo debido a que se han disminuido las concentraciones de CO, NO y SO₂ gracias a una combustión “más completa” del bagazo.
- Se ha mejorado la eficiencia térmica del módulo de producción de panela.

REFERENCIAS

Proyecto panela. www.ing.udep.edu.pe/proyectopanela

Fincyt. www.fincyt.gob.pe

Gerardo Gordillo, Hugo R. García B. 1992. **Manual para el diseño y operación de hornillas paneleras.**

Héctor Iván Velásquez Arredondo, Farid Chejne Janna, y Andrés Felipe Agudelo Santamaría. 2004. **Diagnóstico energético de los procesos productivos de la panela en Colombia.**

Hugot. **Handbook of Cane Sugar Engineering.** 1986.

Hugo R. García B, Luis C. Albarracín, Adriana Toscano Latorre, Natalia J. Santana, I.A. Orlando Insuasty. 2007. **Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de caña panelera.**

Roberto Loyo Joachin. 2002. **Métodos y estrategias para el perfeccionamiento de la agroindustria panelera.**

IMPLEMENTATION OF IMPROVED TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION MODULE OF ORGANIC SUGAR "SANTA ROSA DE CHONTA", MONTERO, AYABACA, PERU

ABSTRACT. *Panela agro-industry in Perú is developing important steps, mainly in the area of the "Sierra de Piura". In this sense it is important to fully understand the production process of organic sugar also call "panela", develop local technology that can cope with the challenges that involve the agricultural industry, as well as the training of technicians and also professionals and scientifics. Taking as a framework the call for FINCYT projects, the University of Piura (UDEP) demonstrated the need for major improvements to the production process of "panela" and developed a project that aimed to build an advanced prototype production of organic sugar, which included a deep and rigorous study of the production process of organic sugar, identifying major problems, prototype design, construction and operation testing.*

Keywords: Biomass, Bagasse, Panela, Combustion.