

Componente formativo

**Efectos de la temperatura en la producción panelera**

**Breve descripción:**

La temperatura juega un papel importante en el control del proceso y afecta la calidad del producto final. La relación entre esta, la concentración y la pureza de las soluciones de azúcar, es una herramienta de control eficaz para la industria. Se sabe que a medida que aumenta la concentración de una solución, expresada en grados Brix, también aumenta el punto de ebullición.

**Área ocupacional:**

Procesamiento, fabricación y ensamble

**Noviembre 2022**

Tabla de contenido

[Introducción 3](#_Toc195690864)

[1. Combustión utilizados en las hornillas 6](#_Toc195690865)

[1.1. Procesos unitarios 14](#_Toc195690869)

[2. Procesos de transferencia de calor en la hornilla panelera 17](#_Toc195690870)

[2.1. Hornilla panelera 21](#_Toc195690871)

[2.2. Seguridad y salud en el trabajo 25](#_Toc195690872)

[3. Gestión ambiental y residuos en el proceso productivo de la panela 26](#_Toc195690873)

[Síntesis 29](#_Toc195690874)

[Material complementario 30](#_Toc195690875)

[Glosario 32](#_Toc195690876)

[Referencias bibliográficas 35](#_Toc195690877)

[Créditos 38](#_Toc195690878)

Introducción

Apreciado aprendiz, sea bienvenido a este componente formativo, enfocado en los efectos de la temperatura en la producción panelera.

En el siguiente video conocerá, de forma general, la temática que se estudiará a lo largo del componente formativo.

1. Efectos de la temperatura en la producción panelera



[**Enlace de reproducción del video**](https://www.youtube.com/watch?v=s1_GNqiD85A)

|  |
| --- |
| **Síntesis del video: Efectos de la temperatura en la producción panelera** |
| Este momento de aprendizaje está orientado a los efectos de la temperatura en la producción panelera.  Colombia es el mayor consumidor de panela en el mundo y su producción es una de las actividades agrícolas más importantes en la economía nacional. Sin embargo, no ha logrado mejorar su aprovechamiento de los recursos energéticos y es uno de los más deficientes, utilizando combustibles adicionales como madera y llantas para bagazo y para compensar el déficit energético.  La cadena productiva de panela es la segunda agroindustria más grande de Colombia, después del café. Según el Ministerio de agricultura y desarrollo rural y genera más de 353,366 empleos directos y también es el segundo productor más importante del mundo, después de la India, convirtiendo actualmente 108 millones de toneladas de caña de azúcar en panela.  Se han identificado cinco eslabones en la cadena productiva de panela: proveedores, productores, procesadores, comercializadores y clientes.  El tercer eslabón de la cadena, el de los procesadores de la caña panelera, está integrado mayoritariamente por los dueños de pequeñas unidades agroindustriales para la transformación de la caña de azúcar, denominadas trapiches en Colombia.  La asociación también está compuesta por ingenios azucareros cooperativos y varias empresas maquiladoras organizadas en grupos de trabajo.  Para el tratamiento de jugos azucarados, una variable que juega un papel importante es la temperatura, ya que controla el proceso y la calidad del producto final. La relación concentración, temperatura y pureza en soluciones azucaradas, ha sido vía de control efectivo para esta industria.  Cuando se incrementa la concentración de la solución expresada en grados brix, el punto de ebullición se incrementa. Al pasar la caña por el trapiche, se recoge entonces el jugo crudo que debe ser limpiado y es donde se obtiene otro desecho, la cachaza, que se somete al fuego y va limpiando los residuos. Ya con el jugo clarificado se controlan los grados brix entre un 18 y 22%.  En la literatura los valores de temperatura puntual en la producción de miel panela y azúcares naturales son inconsistentes por tratarse de productos diferentes. En la mayoría de las fábricas paneleras, la concentración final de miel se determina por mediciones subjetivas. El producto final variará en color y textura.  Finalmente se empacan de 20 a 30 unidades en bolsa de cuatro panelas y se colocan de forma vertical para que ésta se vaya enfriando. El color claro se conserva empacando a una temperatura ambiente. Si se empaca sin dejarla enfriar, la panela llega a los supermercados de color negra y al consumidor esto no le agrada del todo.  El punto de ebullición del agua dulce a nivel del mar es de 100 grados centígrados a presión atmosférica, por lo que el aumento de temperatura depende de la presión y la altitud. La altitud determina la presión atmosférica y la temperatura ambiente crea las condiciones de crecimiento para la caña de azúcar dependiendo del suelo climático. Esta es la variable evaluada en el proceso de panela.  La evaporación y la concentración son etapas claves que ocurren en los ingenios azucareros y no son diferentes de la industria agrícola de la panela.  La concentración de jugo de caña de azúcar está directamente relacionada con el punto de ebullición de la solución de azúcar. Determinar la temperatura del punto de miel panela y azúcares naturales, según la ubicación de la planta, es importante para que se obtenga un producto final uniforme en color y consistencia. |

# Combustión utilizados en las hornillas

La combustión es el proceso por el cual el combustible reacciona con el oxígeno contenido en el aire para liberar energía interna. Luego, se presentan las propiedades y proceso de combustión del combustible utilizado en el quemador.

**Combustible para quemadores de clarificación y quemadores evaporativos**

Para la concentración de los jugos en las hornillas paneleras, se emplea, como combustible, el bagazo de caña; sin embargo, en algunos casos, para suplir el déficit de bagazo, se hace necesario agregar otros combustibles adicionales como la guadua, la leña, el carbón mineral, el caucho proveniente de llantas usadas, el ACPM, la cascarilla de café o arroz. (Durán, s.f.).

El bagazo se presenta como combustible tanto para el clarificador como para el quemador evaporativo, y también, se realiza un análisis de este para determinar la cantidad de calor disponible.

**Bagazo**

Es el residuo fibroso que queda de la caña de azúcar después de haber sido molida para extraer el jugo. Se guarda en una choza llamada bagacera cerca al trapiche y al quemador.

En los pequeños ingenios azucareros, este almacenamiento se acumula en pilas individuales de 2-3 metros de altura, lo que requiere un uso juicioso, tanto de la superficie disponible en la bagacera, como del flujo de aire que promueve el secado. Así que lo secamos durante 8-20 días para su posterior uso en el horno. En el trapiche grande, hay una gran bagacera contigua al lugar. En estas, el bagazo se almacena en montones formados por la descarga de canastos recolectados del molino. (Vallejo, Peña & Mora, 1995).

**Composición física**

A pesar de la variedad de plantas de trituración y de las máquinas utilizadas para ellas, la composición física del bagazo varía dentro de límites muy estrechos. En términos de exotermia, la característica más importante del bagazo es su contenido de humedad.

El contenido de humedad del bagazo, en molinos de bajo rendimiento, es de alrededor del 50 % y en molinos de buen rendimiento, alrededor del 40 %. Los valores más comunes para el contenido de humedad varían entre 42 % y 48 % y, en todos los casos, no se considera incorrecto asumir un contenido de humedad del 45 %. (Hugot, 1982, p. 617).

Además del agua, el bagazo contiene:

1. Un material insoluble, principalmente celulosa, que forma las fibras de bagazo. El contenido de fibra en la industria panelera es del 35 %.
2. Sustancia que se disuelve en agua (jugo de frutas) y está compuesta de azúcares e impurezas. Estas sustancias ocurren a una tasa de 5 - 10 %.

**Cantidad de Bagazo**

La cantidad de bagazo disponible en un ingenio panelero depende del tipo y calidad de la caña de azúcar y de la eficiencia del ingenio en la extracción del jugo de caña. Generalmente, la cantidad de bagazo está entre el 25 % y el 45 % del peso de la caña molida. 250 y 450 KG por tonelada de caña de azúcar procesada.

El peso de bagazo recuperado es inversamente proporcional a la eficiencia de extracción del molino. Es decir, cuanto más jugo se extrae, menos bagazo se recupera, pero como resultado, el bagazo también tiene menor contenido de humedad, lo que facilita la combustión.

**Composición química**

La composición química promedio de la fibra seca de bagazo es:

**C:** 47 %

**H:** 6,5 %

**O:** 44 %

**Ɛ:** 2,5 %

Donde **Ɛ.** es el contenido de cenizas

**Valor calorífico**

El poder calorífico (CV) es la cantidad de calor que se puede producir al quemar una unidad de peso del combustible en cuestión. Hay dos tipos de poder calorífico: alto poder calorífico y bajo poder calorífico.

Para ampliar la información relacionada con los valores caloríficos del bagazo de la caña, consulte el archivo Anexo 1\_Valor calorífico del bagazo.pdf, que se encuentra en la carpeta **Anexos**, para ampliar la información. FALTA ENLACE

**Combustible utilizado en las hornillas de concentración**

Combustible sólido de color negro o negro parduzco, producido por la descomposición de la vegetación vieja, por ausencia de aire, bajo las influencias bioquímicas, humedad, presión y calor. Se compone esencialmente de carbono, hidrógeno, oxígeno y pequeñas cantidades de nitrógeno y azufre.

Consulte el archivo Anexo 2\_Infografía\_generalidades\_sobre\_el\_carbón.pdf que se encuentra en la carpeta **Anexos**, para ampliar la información. FALTA ENLACE

**Combustión**

La combustión es una reacción química que se produce entre las moléculas de oxígeno y un material oxidable, por lo tanto, es un proceso de oxidación rápido en el que se libera energía en forma de calor.

A continuación, se presentan algunos componentes, reacciones, propiedades de la combustión y cómo esta se da con el bagazo de la caña.

**Composición del aire**

El aire es una mezcla de gases que se forman en la atmósfera; la composición del aire seco es la siguiente:

1. ***Composición del aire***

| Elementos | % en peso | % en volumen |
| --- | --- | --- |
| **Oxígeno** | 23,15 | 20,84 |
| **Nitrógeno y gases inertes** | 76,85 | 79,16 |

Nota. Tomado de Hugot (1974).

**Reacciones de la combustión**

Los elementos combustibles del bagazo son el carbono y el hidrógeno; además de estos elementos, también está presente en el carbón una pequeña cantidad de azufre. Cuando estos reaccionan con el oxígeno, producen:

1. ***Reacciones de la combustión de elementos del bagazo de caña***

| Elementos combustibles | Resultado de la combustión |
| --- | --- |
| C + O2 | CO2 |
| 12 g + 32 g | 44 g |
| 1 + 2,67 | 3,67 |
|  |  |
| H2 + O | H2O |
| 2 g + 16 g | 18 g |
| 1 + 8 | 9 |
|  |  |
| S + O2 | SO2 |
| 32 g + 32 g | 64 g |
| 1 + 1 | 2 |

FALTA FUENTE

**Caracterización de los productos gaseosos de la combustión**

La tabla muestra los principales componentes de los gases de combustión y sus principales propiedades.

1. ***Propiedades de los principales componentes de los gases de combustión***

| Elemento | Peso Molecular | Constante R | p.e. en kg/m2 a 0° / 760 | v.e. en m3/kg a 0° / 760 | Calor específico medio bajo presion constante para el intervalo: | Calor específico medio bajo presion constante para el intervalo: |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | 0° - 100° | 0° - 1000° |
| CO2 | 44 | 19,28 | 1,963 | 0,509 | 0,21 | 0,28 |
| H2 | 18 | 47,11 | 0,804 | 1,244 | 0,48 | 0,62 |
| N2 | 28 | 30,20 | 1,252 | 0,800 | 0,24 | 0,26 |
| O2 | 32 | 26,50 | 1,428 | 0,700 | 0,22 | 0,23 |
| CO | 28 | 30,29 | 1,251 | 0,800 | 0,25 | 0,26 |
| AIRE | 29 | 29,27 | 1,293 | 0,773 | 0,24 | 0,25 |

Nota. Tomado de Hugot (1974)

**Combustión de bagazo seco sin exceso de aire**

Para calcular la cantidad de oxígeno necesaria para la combustión se tiene en cuenta la composición química del bagazo y el porcentaje obtenido por las reacciones anteriores.

**Ejemplo:**

C = 0,470 kg×2,67 = 1,250 Kg O2 H2 = 0,065 kg ×8 = 0,520 Kg O2 Total = 1770 Kg O2

**El bagazo contiene 0,440 Kg O2**

El aire debe ser proporcional, es decir, es igual a 1,330 Kg O2

**El cálculo del nitrógeno se hace de la siguiente manera:**

1,330 (Kg O2)(Kg CO)×(76,85 Kg N2)/(23,15 Kg O2) = 4,420 (Kg N\_2)/(Kg CO)

La masa total del aire necesario por Kg de combustible es igual a 5,750 Kg

**La cantidad de agua formada equivale a:**

0,065 + 0,520 = 0,585 Kg H2 O

Pacheco , A. N. U. A. R. (2016).

**Combustión de bagazo húmedo sin exceso de aire**

Dado que el bagazo utilizado durante la combustión tiene un contenido de agua, para calcular la masa de aire teórica, o requerida por kilogramo de bagazo, se puede usar la siguiente fórmula:

**m^1=5,75 (I-w)[Kg]**

Donde:

**m^1** = Masa de aire teórico empleado por Kg de bagazo

**w** = Humedad del bagazo con relación a la unidad

**Combustión de carbón sin exceso de aire.**

Para calcular la cantidad de oxígeno necesaria para la combustión, se debe tener en cuenta la composición química del carbón y las proporciones especificadas en la reacción anterior.

**Ejemplo**

C = 0,685 Kg \* 2,67 = 1, 829 Kg O2

H2 = 0,040 Kg \* 8 = 0,320 Kg O2

S = 0,009 Kg \* 1 = 0,009 Kg O2

**Total** = 2,158 Kg O2

El carbón contiene 0,076 Kg O2

El aire debe proporcionar = 2,082 Kg O2

**Para calcular el nitrógeno**

2,082 (Kg O2)/(Kg CO) \* (76,85 Kg N2)/(23,15 Kg O2) = 6,915 (Kg N2)/(Kg CO)

Masa total del aire necesario por Kg de combustible = 8,997 Kg

**Combustión con exceso de aire**

En la práctica, no es posible suministrar solo la cantidad de aire teóricamente necesaria para quemar el combustible. Lograr una combustión completa, sin dejar residuos, sin quemar y convertir todo el carbono en CO2 requiere un exceso de suministro de aire. De hecho, cuando parte del carbono se quema para formar solo CO, se pierde una cantidad significativa de calor.

Calcule la cantidad real de aire consumido por kilogramo de combustible húmedo usando la siguiente fórmula:

**Mar = mgh - m∞**

Donde:

**Mar** = masa del aire empleado por Kg de combustibles

**mgh** = masa de los productos gaseosos de la combustión, en Kg

**m\_∞** = masa del combustible empleada, en Kg

**Exceso de aire**

La relación entre el aire suministrado a la combustión y el aire teóricamente necesario para quemar 1 kg de combustible. Para quemadores, se recomienda que el exceso de aire esté en el rango de 1.4 a 1.6 (CIMPA, 1992, p.61). Un exceso mayor enfría los gases de combustión, un exceso menor puede provocar una mala combustión.

Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

**m=(mar)/mat**

Donde **m** es igual al exceso de aire.

**Contenido de CO2 en los gases de salida**

Dado que, el contenido de carbono del bagazo es constante (47 %), la cantidad de CO2 que se produce al quemar 1 kilogramo de bagazo seco también es constante. Cuando se usa la cantidad de aire requerida teóricamente, el contenido de CO2 en los gases de escape se maximiza, mientras que, con el exceso de aire, la cantidad de CO2 en un volumen de aire dado aumenta al aumentar el exceso de aire y permanece constante. El porcentaje de CO2 disminuye al aumentar el exceso de aire.

**El aire extra es lo mismo a:** m = ( 0,196)/ɻ

Donde:

**m**= (Masa del aire empleado) / (Masa del aire estrictamente necesario)

**ɻ** = Contenido de CO2 de los gases secos con relación a la unidad.

En la práctica se ha encontrado que las mejores condiciones para quemar bagazo en quemadores son cuando el exceso de aire varía entre 40 % y 60 % del aire teórico.

La tabla muestra algunos valores correlativos entre ɻ y m

1. ***Correlación entre el contenido de CO2 de los gases de escape y el exceso de aire***

| y | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,17 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| m | 3,27 | 2,80 | 2,45 | 2,18 | 1,96 | 1,78 | 1,63 | 1,51 | 1,40 | 1,30 | 1,22 | 1,15 |

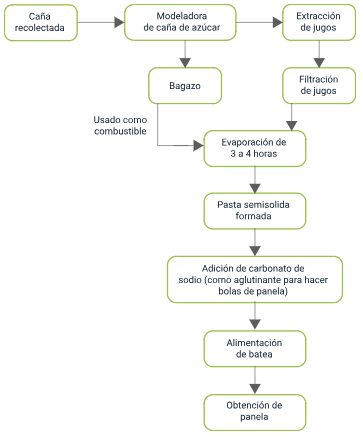
Nota. Tomado de Hugot (1974).

## Procesos unitarios

El Estado colombiano llevará a cabo investigación y desarrollo para modelar matemáticamente los procesos energéticos involucrados en la producción de panela y evaluará alternativas para mejorar procesos claves como la extracción (molienda), evaporación y concentración (punteo) del jugo de caña de azúcar en la producción de la panela.

Como se puede observar en el diagrama de flujo del proceso de transformación de caña en panela, los procesos unitarios del procesamiento de la caña de azúcar para obtención de panela son:

1. Disposición de la caña de azúcar en la zona de molinos.
2. Extracción de los jugos utilizando molinos (molienda).
3. Decantación y clarificación de los jugos.
4. Evaporación y concentración para obtención de las mieles (jarabe).
5. Cristalización.
6. Diagrama de flujo del proceso de transformación de caña de panela



Aunque el Estado colombiano ha tratado de tecnificar las pequeñas empresas productoras de panela, no se ha logrado acceder a recursos para la reconversión tecnológica de sus hornillas y pailas, gracias a esto, en las unidades de producción de panela, se presentan eventos no deseables:

1. Contaminación del aire con gases de combustión y cenizas.
2. Agotamiento de recursos naturales, principalmente madera, para alimentar las hornillas paneleras.
3. Contaminación de fuentes de agua con el vertimiento de cachaza y lodo de caña.
4. Emisiones atmosféricas como resultado del uso de motores Diésel en los molinos de caña.

Debe tenerse en cuenta, que la falta de automatización y control en procesos y operaciones unitarias, genera una inadecuada dosificación de insumos, como el bagazo – suministrado a la cámara de combustión - y las sustancias clarificantes – sobre los jugos. La falta de automatización y de control dificulta la trazabilidad interna de la panela.

Al no integrarse los procesos unitarios se propicia pérdidas energéticas, pérdida de calor por transferencia a las paredes de la cámara de combustión, la no captura de calor residual al interior del ducto de gases y pérdida de temperatura de los gases expulsados por la chimenea. Se estimó que la pérdida de calor alcanza el 41 %.

# Procesos de transferencia de calor en la hornilla panelera

La panela es un edulcorante altamente nutritivo que se elabora concentrando todos los sólidos solubles en agua y en el jugo de caña de azúcar. La panela se diferencia de la azúcar refinada en que contiene, además de sacarosa, glucosa y fructosa, una presencia importante de minerales, grasas, compuestos proteicos y vitaminas, desde el punto de vista nutricional.

A continuación, se presentan las fases del proceso de producción de panela.

**Extracción de la materia prima**

El corte y transporte de las cañas de azúcar es muy importante, ya que, es la etapa previa al inicio del proceso productivo de panela y al mismo tiempo, es necesario cortar las cañas en el punto óptimo de madurez para garantizar la excelente calidad de la panela.

La caña de azúcar está madura cuando la concentración de azúcar en la base y el final del tallo es similar. El tiempo de maduración de la caña de azúcar desde el momento de la siembra o entre cortes depende de la variedad, las condiciones climáticas y, sobre todo, la altitud del campo de cultivo.

**Recepción de la materia prima**

Esta etapa se denomina preparación de caña, y consiste en almacenar suficiente caña para permitir el funcionamiento continuo del quemador. Se recomienda cubrir el área con un piso de cemento (en el techo) para evitar que el lodo se pegue a la caña, lo que puede afectar la calidad de la panela.

Un dato útil es que 1 tonelada de tubería ocupa un área de aproximadamente 2 m3, o 1 m2 x 2 m de alto.

**Molienda**

Esta es la primera parte del proceso donde la caña de azúcar se pasa entre los rodillos o martillos de un molino para obtener el jugo de caña de azúcar y un residuo sólido llamado bagazo verde que contiene 50 – 60 % de humedad.

La industria panelera utiliza un proceso de extracción en seco. Es decir, el proceso de trituración se realiza sin añadir agua.

**Prelimpieza**

El jugo crudo obtenido durante el proceso de molienda, o guarapo, es un pre-prensado, elemento compuesto principalmente por bagazo, caña de azúcar, tierra, sobrantes de materia en suspensión, que tiene la función de retener las impurezas dispersas en el jugo, pasar por el limpiador, sustancias, lodos y sustancias precursoras del color.

Los prelimpiadores funcionan separando las impurezas del jugo debido a las diferencias de densidad. La separación en frío, antes del inicio del proceso, evita que los precursores de colorantes se liberen en el jugo por exposición al calor, afectando negativamente la presentación de los azúcares orgánicos. Este proceso se repite hasta que el jugo esté completamente limpio, garantizando mejores productos.

**Almacenamiento de los jugos**

Consiste en recolectar el jugo pre lavado en tanques de almacenamiento o colectores de acero inoxidable. El paso del jugo almacenado al clarificador es por gravedad, por lo que es importante que el colector quede arriba del clarificador.

**Clarificación**

La etapa de clarificación se realiza, tradicionalmente, precalentando el calor generado en los quemadores en combinación sin evaporación y alcalinizando el jugo de caña de azúcar mediante la adición de aditivos básicos a base de corteza vegetal como el guásimo, cadillo, etc.

En algunos lugares se utiliza la ceniza de la cascarilla del café. La clarificación se realiza por flotación. En esta etapa, la cachaza se elimina en forma de burbujas que se forman en la superficie del jugo, lo que garantiza un producto más puro y claro.

La literatura sugiere aumentar la temperatura del jugo en el rango de 1.5 - 2.5 °C / min. Esto permite que los contaminantes floculan debido al efecto combinado de la temperatura, el tiempo de clarificación y el floculante o aglutinante. Es importante tener en cuenta que el tiempo de residencia del jugo en la sartén después de la clarificación debe ser de 1,5 a 2 horas.

Uno de los factores más importantes a controlar al hacer panela es la acidez del jugo. Para medir este factor se utiliza el pH (0 - 7 soluciones ácidas y 7-14 soluciones básicas). El objetivo es trabajar a un pH neutro (7) que no destruya los azúcares reductores presentes y evite la descomposición o inversión de la sacarosa en azúcares reductores (glucosa y fructosa).

**Evaporación y concentración**

Al final de la refinación del jugo de caña de azúcar, el contenido de agua se evapora. Esto aumenta la concentración de azúcar hasta que alcanza un nivel de sólidos solubles de alrededor de 70 ° Brix, llamado miel.

Este proceso se realiza en platos metálicos en módulos de paneles pequeños o en filas de 3 - 4 pailas en módulos grandes. Las pailas aumentan la eficiencia energética, reduce el tiempo de residencia, aumenta la producción y los ingresos de los productores.

En la etapa de concentración, el jugo ya evaporado se concentra evaporando más agua. La diferencia en esta etapa es que se usa menos jugo y que la sacarosa se remueve constantemente para evitar que se queme y se pegue a las paredes de la olla.

**Punteo**

Esta parte del proceso consiste en la evaporación casi completa del agua. Con ello se consigue la mayor concentración de sólidos alcanzando valores superiores a los 90 ° Brix.

Un indicador técnico es el punto de ebullición de la miel, que debe llegar a unos 127 °C para la panela granular. Esta temperatura puede variar hasta 2 °C dependiendo de la altitud y la pureza de la miel.

Sin equipo de control, el módulo panelero se basa en la observación de propiedades específicas como la viscosidad y la adhesión de la miel.

**Cristalización y enfriamiento**

En esta etapa se bate la miel y cuando llega al punto de panela se retira del fogón y se remueve con un batidor de acero inoxidable en un recipiente llamado cazo.

Una vez encontrado el punto, se deja enfriar, batiéndolo por 20 minutos, logrando su enfriamiento y acto seguido se transfiere a las gabelas que pueden ser de 1 libra o de 1 kilo.

Al pasar 20 minutos, ya la panela se ha cristalizado, desarman las gabelas y la panela ya se encuentra lista para ser empacada, sin antes dejar enfriar.

**Tamizado**

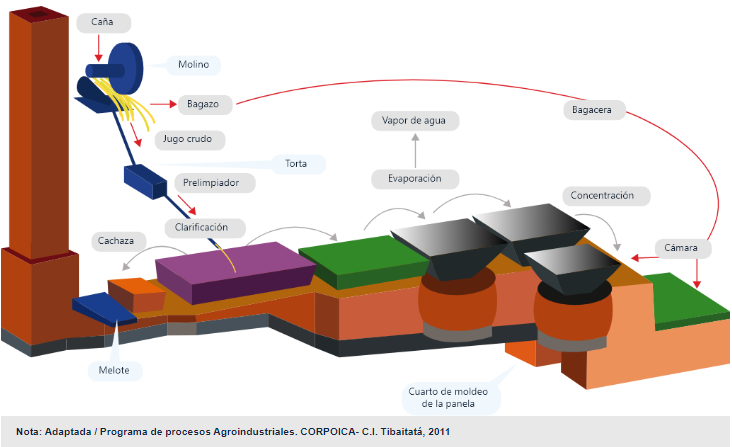
El único caso en que es necesario este paso es en la producción de panela granulada, proceso que consiste en tamizar la panela después de la molienda para obtener un granulado uniforme.

El residuo del tamiz se procesa nuevamente y se envía a evaporación.

## Hornilla panelera

El horno para hacer panela, comúnmente llamado quemador panelero, es un subsistema, dispositivo o equipo en un ingenio azucarero que remueve la mayoría de las impurezas y evapora el agua del jugo de la caña de azúcar para concentrar los sólidos solubles, principalmente azúcar, hasta "punto de la panela". La energía utilizada para calentar el jugo y evaporar el agua proviene del bagazo que se produce al triturar la caña de azúcar.

1. Diagrama en perspectiva de un trapiche panelero



Nota. Adaptada de Programa de procesos Agroindustriales. CORPOICA- C.I. Tibaitatá (2011).

La mayoría de los ingenios azucareros trabajan con un sistema de “evaporación abierta y fuego directo”. Está abierto porque el evaporador (olla) está en contacto directo con los gases de combustión, por lo que el jugo hierve a la presión atmosférica local y tiene llama abierta.

**A continuación, se presentan las partes que componen una hornilla panelera**:

1. **Cámara de combustión**

Una cavidad en la parte delantera del quemador donde se quema bagazo u otro combustible para producir la energía o el calor necesarios para el proceso de fabricación de Panela.

**Tipos de cámaras de combustión**

1. **Plana:** En las cámaras convencionales, la superficie de la parrilla es demasiado grande, lo que permite que el aire falso enfríe el gas, lo que resulta en bajas temperaturas de combustión (850 °C, humedad del bagazo de 30 °C). Además, la superficie relativamente fría de la olla está directamente en la cámara, lo que termina en una combustión incompleta y un alto porcentaje de CO (6-7 %).
2. **Plana-CIMPA:** Esta cámara es un diseño mejorado de la cámara tradicional, donde el bagazo se quema lejos de la primera bandeja y alcanza una alta temperatura de combustión de casi 950 °C. Este tipo de cámara se caracteriza por la combustión de bagazo con una humedad inferior al 30 % (base húmeda, b.h.) y un exceso de aire de casi el 60 %.

Las dimensiones de la cámara dependen de la energía requerida para el proceso y la geometría de la parrilla estándar. En general son más largas que anchas y las dimensiones son la velocidad del gas (3-5 m/s debajo de la primera cubeta y 7-10 m/s debajo de la última cubeta) y el máximo medio La 4ª o 5ª cubeta dada la longitud de la llama del bagazo alcanzando los 6 metros.

1. **Ward-CIMPA:** Este tipo de cámara tiene un diseño especial que aumenta la combustión y la eficiencia del proceso. Esto se debe a una mejor estabilidad en términos de temperatura y potencia a lo largo del tiempo. Este tipo de cámara puede alcanzar temperaturas cercanas a los 1200 °C y, cuando se le suministra un 60 % de exceso de aire y una humedad promedio de 40 bagazo, produce un 3 % en volumen de monóxido de carbono y un 14 % en volumen de dióxido de carbono.

También cuenta con dos características especiales. Primero, hay lámparas que precalientan y secan el bagazo antes de quemarlo.

En esta tolva, la humedad contenida en el bagazo se evapora de las paredes de la cámara bajo la acción de la energía radiante. Esta característica permite la introducción de bagazo con un contenido de humedad de casi 45 % (b.h.). En segundo lugar, el aire necesario para la combustión se suministra en dos corrientes. Uno es el aire primario que fluye a través de la parrilla (un total de 70 litros de aire) y el 30 % restante se alimenta como aire secundario a la cámara por encima de la combustión de los volátiles en el lecho de bagazo (Gordillo & García, 1992).

1. **Cenicero**

El cenicero es el compartimento o espacio justo debajo de la parrilla. Sirve para almacenar la ceniza que se genera al quemar el bagazo, y que se escapa de la parrilla, además, orienta el aire necesario para la combustión.

1. **Puerta de alimentación**

Una abertura para que el panelero inserte el bagazo y encienda fuego.

En la mayoría de los casos, en realidad es una boca de alimentación, ya que no tiene hojas que se puedan abrir y cerrar. Generalmente está hecha de hierro fundido gris y puede soportar temperaturas moderadamente altas sin deformarse.

1. **Parrilla**

La parrilla consiste en una serie de placas de hierro fundido colocadas horizontalmente una detrás de la otra, que actúan como lecho para quemar el bagazo. La parrilla toma aire para la combustión y el paso de la ceniza del cenicero.

1. **Ducto de gases**

También recibe su nombre de gasoductos, carreteras, barcos, etc. Las partes que componen el canal son muros de contención, pisos, arcos y cacerolas. Su función es canalizar los gases de combustión y ponerlos en contacto con la olla, transfiriendo parte de la energía al jugo.

La forma y los materiales de los canales varían, desde el más tradicional, que es la excavación realizada directamente en el sitio de construcción del horno, hasta las ollas sostenidas por paredes y arcos de tierra, que son de ladrillo refractario.

1. **Chimenea**

Se trata de un conducto de ladrillo o chapa que se encuentra al final del quemador y va conectado directamente a la chimenea. Su forma es cilíndrica, trapezoidal o cónica. Sus dimensiones dependen de su forma y del tamaño del quemador.

Su función es crear un diferencial de presión llamado “tiro”. Esto asegura el suministro de aire necesario para la combustión del bagazo y el transporte de gas, a través de los ductos.

1. **Pailas**

Una paila es un recipiente metálico (a veces llamado charola, cacerola o evaporador) en el cual se deposita el jugo para evaporar la humedad durante el proceso de elaboración de la panela. El calor generado durante la quema del bagazo y transportado por el gas se transfiere a través de la sartén al jugo. Estos generalmente están hechos de cobre, aluminio o hierro mediante procesos de fundición o forjado en caliente. (Gordillo & García, 1992).

**Tipos de pailas**

1. **Paila semicilíndrica:** Se utiliza una cubeta semicilíndrica cuando el paso del jugo se realiza manualmente. Tiene la ventaja de poder reducir el ancho del quemador con la misma superficie de transferencia de calor que una olla plana. Están en la zona más caliente del quemador.
2. **Paila semiesférica:** La cuba hemisférica se utiliza cuando el paso del jugo se hace de forma manual y en la parte final de evaporación y concentración. También se usa cuando la relación entre la superficie de transferencia de calor y el volumen de la olla es baja y la transferencia manual de jugo no requiere mucho esfuerzo.
3. **Pailas planas y aleteadas:** Son más eficientes en términos de transferencia de calor que las sartenes planas. Esto se debe a que el área de superficie adicional proporcionada por las nervaduras aumenta el área expuesta al líquido, aumentando así el flujo de calor por convección de los gases de combustión a la caña.

Esto permite longitudes de quemador más cortas para la salida de calor requerida. Tenga en cuenta que se deben realizar cálculos para determinar las dimensiones y el número de las nervaduras para lograr un rendimiento óptimo. Suelen colocarse en la zona fría del quemador y requieren una mayor área de transferencia para asegurar el flujo de calor requerido.

1. **Pailas pirotubulares:** Al igual que con las bandejas acanaladas, el uso de revestimientos se limita a la primera parte de la etapa de evaporación. Esto se debe a que es más eficiente en la zona fría de la cámara de combustión donde el mecanismo dominante de transferencia de calor es la convección. Debido a la alta relación entre el área de transferencia de calor y el volumen, la longitud de la bandeja se puede reducir en comparación con las bandejas planas y con aletas planas con el mismo flujo de calor y tiempo de residencia.

## Seguridad y salud en el trabajo

Los temas de seguridad y salud en el trabajo han cobrado mucha importancia en Colombia, esto se debe a que a lo largo de los años progresivamente se han hecho cumplir leyes, normas y reglamentos que son más que beneficiosos para la empresa y sus empleados. Es deber de los empresarios velar por el cumplimiento de esta normativa, por la seguridad y salud de los trabajadores y evitar riesgos y peligros que tengan efectos sobre la salud.

**Profundice en el estudio de este tema**

Consulte el archivo Anexo 3\_ Seguridad y salud en el trabajo.pdf que se encuentra en la carpeta **Anexos**, para ampliar la información. FALTA ENLACE

# Gestión ambiental y residuos en el proceso productivo de la panela

A lo largo de los años, la industria de la panela ha evolucionado su proceso de producción a través de la artesanía sin agregar valor a sus productos ni realizar cambios importantes en el proceso de producción. A continuación, se presenta un video que muestra cómo se ve la gestión ambiental y de residuos del proceso de producción de panela en Colombia.

1. Gestión ambiental y residuos del proceso de producción de panela



[**Enlace de reproducción del video**](https://www.youtube.com/watch?v=f_Vk-TuAcFI)

|  |
| --- |
| **Síntesis del video: Gestión ambiental y residuos del proceso de producción de panela** |
| Las unidades de producción tradicionales de panela se conocen como ingenios azucareros. Estos se encuentran ubicados a lo largo y ancho del territorio del país en algunas zonas con más arraigo. Los parámetros de los procesos de producción de panela incluyen muchos procesos tradicionales utilizados por los pequeños fabricantes agremiaciones o sociedades campesinas.  Esta producción convencional ha dado lugar a muchos problemas ambientales causados por el proceso de producción, tales como contaminación del aire por la quema de leña y bagazo durante el proceso de combustión, debilitamiento de los componentes edáficos por vertido directo al suelo y cambios en la calidad del agua por disposición inadecuada de residuos como cachaza y linaza.  Cuantitativamente, de las 9.909.080 toneladas (100 %) de caña de azúcar para producción de panela, unas 2.140.361 toneladas (21.6 %) de hoja verde, hoja seca y corazón; 3.107.487 toneladas (31.36 %) de bagazo; 311.145.112 toneladas. (3,14 %) y 3359172 toneladas de vapor (33,9 %). la panela solo constituye el 10 % del producto final, el resto es bagazo y el sobrante se recicla como combustible, generando calor durante el proceso de fabricación. Está claro que, la cantidad de residuos de cachaza aún no está técnicamente controlada en el proceso de fabricación, y se deben incluir técnicas de control que puedan utilizar este residuo.  La industria panelera colombiana busca nuevas estrategias ecoeficientes y amigables con el medio ambiente y que le permitan implementar y fortalecer las buenas prácticas agrícolas que contribuyan al manejo óptimo de los residuos generados en la cadena productiva de la panela, disminuyendo así, los efectos y residuos contaminantes que se genera de este proceso.  Considerando, así mismo, que la recepción de residuos tanto orgánicos como inorgánicos provoca efectos ambientales negativos, se ha podido identificar una de estas fuentes de contaminación.  Se le conoce como cachaza, que se crea a través del proceso de purificación del dulce de caña. En un primer momento, la caña se muele a través de una trituradora que exprime el dulce sin tratamiento, el cual pasa por el canal hasta que se sumerge en la primera batea en la que se esparce y se aplica el balso.  Con la ayuda del calor que produce la hornilla, sobre el que se coloca la mencionada paila, se produce un proceso de separación, durante el cual el residuo se condensa en una espesa espuma, comienza a flotar sobre los caramelos, sale y se deposita en otros contenedores. Considerando prácticas como el vertimiento de la cachaza en ciertas fuentes de agua (ríos, lagunas, etc.) y cañaverales ya fermentados (que les producen nutrientes negativos); esta situación hace que los diversos impactos ambientales derivados de este proceso agroindustrial se profundicen.  El impacto de estos constituyentes en la disposición inadecuada de los residuos de cachaza, se evidencia en el hecho de que por cada tonelada de caña de azúcar procesada se producen aproximadamente 30 - 50 kg de cachaza. |

Síntesis

El siguiente mapa integra los criterios y especificidades de los conocimientos expuestos en el presente componente formativo.

Efectos de la temperatura en la producción panelera.
En Colombia la producción de panela es una actividad de las más importantes y se realiza a través de tres procesos de hornillas:
1. Hornilla de clarificación: Se llevan los jugos en el tanque de almacenamiento a prelimpieza y luego al proceso de evaporación.
2. Hornillas de evaporación: Se evaporan los jugos durante 30 minutos y se llevan a las hornillas de concentración.
3. Hornillas de concentración: Se elimina agua residual del jugo, se concentran las mieles y se obtiene la panela.
En la producción de panela es importante tener en cuenta:
1. No logra la eficiencia energética.
2.Uso de combustibles adicionales como el bagazo, madera y llantas.
3. Evaluar técnicos de gestión de la producción panelera.
4. Identificar efectos generados en cada etapa del proceso de producción.
5. Genera residuos que impactan de manera negativa al medio ambiente. 

Material complementario

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tema | Referencia APA del Material | Tipo de material | Enlace del Recurso o  Archivo del documento material |
| Combustible utilizado en la hornilla | Díaz, A. & Iglesias, C. E. (2012). Bases teóricas para la fundamentación del proceso de extracción de jugo de caña de azúcar para la producción de panela. *Revista Ciencias técnicas agropecuarias,* 21(1), p. 53-57. | Artículo | <http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542012000100010&script=sci_arttext&tlng=en> |
| Combustible utilizado en la hornilla | Guevara Enciso, J. I. (2014). *Modelo computacional de la combustión del bagazo de caña en una cámara de combustión tipo ward-cimpa de una hornilla panelera*. | Tesis de grado | <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/12574/u686426.pdf?sequence=1> |
| Combustible utilizado en la hornilla | García Rincón, J. G., Arévalo Toscano, J. & Guerrero Gómez, G. (2021). Análisis exergético de un horno de lecho fijo en la producción de panela. Revista Colombiana De Tecnologías De Avanzada (Rcta), 1(25), p. 32-39. | Artículo | <http://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/rcta/article/view/409> |
| Proceso de transferencia de calor en la hornilla panelera | Delgado Ramírez, L. O. (2015). *Modelación unidimensional de la transferencia de calor en intercambiadores de una hornilla panelera.* Universidad de Piura, Perú. | Artículo | <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2265> |
| Proceso de transferencia de calor en la hornilla panelera | Cortés Sanabria, P. J. (2016). *Estudio computacional de la transferencia de calor por convección en hornillas con pailas aleteadas de la industria panelera.* Universidad de los Andes. | Trabajo de grado | <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/13598> |
| Seguridad y salud en el trabajo | Díaz Orozco A. y Victoria Carmona P. (2015). *Identificación de peligros en el proceso de fabricación de la panela en dos (2) trapiches ubicados en la ciudad Pereira (Risaralda).* | Trabajo de grado | <https://bdigital.uniquindio.edu.co/handle/001/4187> |
| Gestión ambiental y residuos en el proceso productivo de la panela | García, H. R., Albarracín, L. C., Toscano LaTorre, A., Santana, N. & Insuasty, O. (2007). *Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera*. | PDF | <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13454/42610_46668.pdf?sequence=1&isAllowed=y> |
| Gestión ambiental y residuos en el proceso productivo de la panela | González Campaña, P. J., & Zúñiga Cabrera, D. C. (2022). Impactos ambientales en la producción de panela en la parroquia de Pacto del Distrito Metropolitano de Quito. *Esferas*, 3, p. 94-111. | Documento investigativo | <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/esferas/article/view/2430> |
| Gestión ambiental y residuos en el proceso productivo de la panela | Pico Poma, L. P. (2018*). Simulación del proceso de digestión anaerobia para predecir la producción de biogás a partir de residuos de la industria panelera en la Provincia de Pastaza (Bachelor's thesis*, Universidad Estatal Amazónica). | Trabajo de grado | <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/690> |
| Gestión ambiental y residuos en el proceso productivo de la panela | Castillo Quiroga, B., García Castellanos, E. H., León Quiroga, L. & Moreno Díaz, D. M. (2020). *Implementación de prácticas que generen la disminución de agentes contaminantes que se liberan en el medio ambiente en los centros de producción panelera en el municipio de Santana, Boyacá.* | Trabajo de grado | <https://repository.libertadores.edu.co/handle/11371/3463> |

Glosario

**Acción de mejora:** medidas para optimizar el sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo, SGSST, para lograr mejoras en el desempeño de seguridad y salud ocupacional de la organización de acuerdo con las políticas organizacionales.

**Amenaza:** un evento físico natural o accidental causado o inducido por la acción humana suficiente para causar la muerte, lesiones u otros efectos en la salud, daños y pérdidas a la propiedad, la propiedad, la infraestructura, los medios de subsistencia y los riesgos inherentes a la provisión de servicios y recursos ambientales de gran importancia.

**Auto-reporte de condiciones de trabajo y salud:** es un procedimiento para que los empleados o contratistas informen por escrito a su empleador o contratista cualquier condición adversa de salud y seguridad que observen en su lugar de trabajo.

**Buenas Prácticas Agrícolas (BPA):** conjunto de prácticas destinadas a garantizar la inocuidad de los productos agrícolas, la protección del medio ambiente, la seguridad y el bienestar de los trabajadores y la sanidad agropecuaria (García, Albarracín, Toscano, Santana & Instasti, 2007)

**Buenas prácticas ambientales (BPAs):** es una serie de acciones sencillas que promueven una relación amigable con el medio ambiente y significan un cambio de actitudes y comportamientos en las actividades cotidianas (Secretaría de ambiente del municipio del distrito metropolitano Quito, 2020).

**Cachaza:** es creado por residuos que se acumulan durante la clarificación del jugo de caña de azúcar durante la producción de azúcar cruda.

**Ciclo PHVA:** un enfoque lógico, paso a paso, que permite la mejora continua al hacer un plan: Planificar: Debe planificar cómo mejorar la seguridad y la salud de los trabajadores, identificar qué está mal, qué se puede mejorar y proponer ideas para resolver esos problemas. Hacer: Implementación de las contramedidas planificadas. Verificar: Comprobar si los procedimientos y medidas adoptadas están consiguiendo los resultados deseados. Actuar: Implementación de medidas correctivas para el máximo beneficio de la seguridad y salud de los trabajadores.

**Contaminación ambiental:** la presencia de uno o más contaminantes que provocan la degradación de los recursos naturales como el agua, el suelo, el aire, las plantas y los animales, y tienen efectos adversos sobre la salud humana (Sánchez & Guiza, 1989).

**Desarrollo sostenible:** el proceso de transformación del medio natural, socioeconómico, cultural e institucional. Su objetivo es asegurar la mejora de las condiciones de vida humana, la producción de bienes y la prestación de servicios sin dañar el entorno natural ni poner en peligro la base del desarrollo. (CAR, 2019).

**Evaluación del riesgo:** es un procedimiento para determinar el nivel de riesgo asociado con la probabilidad de que ocurra un riesgo y la gravedad de las consecuencias de esa ocurrencia.

**Gestión ambiental:** gestión participativa de las condiciones ambientales locales por parte de diversos actores mediante el uso y aplicación de herramientas legales, de planificación, técnicas, económicas, financieras y de gestión para lograr mejorar el funcionamiento de los ecosistemas y la calidad de vida de la población. En el marco de la sustentabilidad (Guhl & Leyva, 2015).

**Grados Brix (° Brix):** la concentración de sólidos solubles, expresada en azúcares, presentes en la muestra.

**Hornilla:** un horno de ladrillo y barro que hierve y espesa el jugo de la caña de azúcar.

**Hornillero:** operador responsable de suministrar bagazo a un quemador o cámara de combustión.

**Humedad:** la determinación de humedad o volátiles se basa en la pérdida de peso que sufre el alimento al calentarlo a 100°C. Este valor incluye, además del agua propiamente dicha, las sustancias volátiles que acompañan al alimento.

**Identificación del peligro:** el proceso de determinar si existe un peligro y definir sus características.

**Impacto ambiental:** cambios en el entorno físico, químico, biológico, cultural y socioeconómico resultantes de las actividades humanas relacionadas con las actividades del proyecto (CAR, 2019).

**Jugo crudo:** se obtiene directamente de la molienda de la caña de azúcar y contiene todos los sólidos en solución excepto la fibra.

**Molino:** equipo que se utiliza para la extracción de los jugos de la caña o establecimiento donde se produce la panela.

**Política de seguridad y salud en el trabajo:** es el compromiso declarado formalmente de la alta dirección de la organización con la seguridad y salud en el trabajo lo que define el alcance de la organización y compromete a la organización en su conjunto.

**Residuo orgánico:** se refiere a todos los residuos de origen biológico. Incluye diversos residuos que ocurren naturalmente durante el "ciclo de vida" como resultado de las funciones fisiológicas de preservación y mantenimiento, o que son productos de la explotación humana de los recursos biológicos (García, et al., 2007).

**Riesgo:** una combinación de la probabilidad de que ocurran una o más exposiciones o eventos peligrosos y la gravedad del daño resultante.

Referencias bibliográficas

Beltrán Martínez, C. (2021). *Evaluación de técnicas para gestión de los residuos de la producción panelera (cachaza) en la vereda Nacederos municipio de Quebradanegra-Cundinamarca*. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/3431>

Diaz Delgado, N. Y., Sarasty Ruano, L. C. & Tobar Zambrano, D. M. (2021). *Diseño de un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo en la empresa “Trapiche Divino Niño*” Municipio de Ancuya-Nariño–2020. <https://hdl.handle.net/20.500.12962/803>

Díaz, A. & Iglesias, C. E. (2012). Bases teóricas para la fundamentación del proceso de extracción de jugo de caña de azúcar para la producción de panela. *Revista Ciencias técnicas agropecuarias*, 21(1), p. 53-57. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=93222722010>

Durán Sánchez, E. (2019). *Estudio térmico, económico y de calidad en sistemas de producción de panela.* <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76063>

Esquivel Barrios, L. C. & Arenas Quimbayo, J. M. (2016). Análisis externo en el sector panelero. *Temas y Reflexiones*, (5). <http://repositorio.unibague.edu.co:80/jspui/handle/20.500.12313/216>

García, H. R., Albarracín L., Toscano A., Santana N. & Insuasty O. (2007). *Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera.* Mosquera: Produmedios (editorial para el sector agropecuario). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13454>

Gordillo, G. y García, H. R. (1992). *Manual para el diseño y operación de hornillas paneleras.* Barbosa. ICA-Holanda.

Hugot, E. (1974). Manual para ingenieros azucareros. Editorial continental. S.A. 2da Edición. (México).

Jaramillo Gómez, D. A., Sánchez López, S. A. & Meneses Suarez, E. J. (2018). *Criterios de implementación ISO 14001: 2015 caso de estudio sector Panelero*. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/23421/dajaramillog.pdf?sequence=1>

La Madrid Olivares, R. (2015). *Modelación numérica del proceso de transferencia de calor en intercambiadores de calor abiertos utilizados en la industria panelera*. <https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5446/DOC_ING_AUT_001.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Leguízamos, S. G. I. & Yepes. G. N. V. (2014). Estudio Descriptivo Mediante Análisis Multicriterio de la Cadena Agroalimentaria de La Panela. Publicaciones e Investigación, 8, p. 161-183. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1298>

Marcelo, D., La Madrid, R. & Santamaría, H. (2013). Evaluación mediante indicadores productivos y energéticos de tres módulos de producción de panela granulada. *17 th Latin American and Caribbean conference of engineering and technology* LACCEI. <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP252.pdf>

Medina Moreno, R. A. (2016). *Estudio computacional de la transferencia de calor en una paila panelera tipo semiesférica*. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/13708>

Mejía Restrepo, A. M. (2007). *Propuesta para la implementación del sistema de gestión ambiental en el trapiche panelero-HVC*. <https://repositorio.utp.edu.co/items/2a289c49-1854-4bb8-9d9d-832cc77e5a69>

Montoya Armenta, L. & Romero Ruíz, H. (1998). *Estudio hidrotérmico para la determinación de los coeficientes de transferencia de calor en tres tipos de pailas para hornillas paneleras.* <https://www.researchgate.net/publication/306376361_ESTUDIO_HIDROTERMICO_PARA_LA_DETERMINACION_DE_LOS_COEFICIENTES_DE_TRANSFERENCIA_DE_CALOR_EN_TRES_TIPOS_DE_PAILAS_PARA_HORNILLAS_PANELERAS>

Sánchez Castro, Z. & Mendieta Menjura, O. A. (2014). Ajuste de un modelo matemático para la combustión de bagazo de caña en una cámara Ward-Cimpa. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(2), p. 133-151.

Suárez Guevara, I. C. (2019). *Estrategias para la producción más limpia en el sector de cacao y caña panelera en el Valle del Cauca bajo el marco del Plan Nacional de Negocios Verdes en Colombia.*

Vallejo Carabalí, C. E., Peña Medina, H. & Mora Muñoz, L. S. (1995). *Evaluación de la producción y consumo de energía en hornillas paneleras*. Universidad Autónoma de Occidente. <https://red.uao.edu.co/handle/10614/2588>

Velásquez, H. I., Janna, F. C. & Agudelo, A. F. (2006). Diagnóstico exergético de los procesos productivos de la panela en Colombia. *Energética,* (35), p. 15-22. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=147019422003>

Créditos

Elaborado por Innovative Education

