



Cálculos básicos para la agroindustria panelera

Josué Israel Sópalo Romero.
Marcia Yomara Proaño Molina
Sandra Lissette Recalde Luna
Walter David Quezada Torres
Janett Cecilia Torres Tambo
Walter F. Quezada Moreno



Cálculos básicos para la agroindustria panelera

Josué Israel Sópalo Romero.
Marcia Yomara Proaño Molina
Sandra Lissette Recalde Luna
Walter David Quezada Torres
Janett Cecilia Torres Tambo
Walter F. Quezada Moreno

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad científica del mismo.

© Publicaciones Editorial Grupo Compás
Guayaquil - Ecuador
compasacademico@icloud.com
<https://repositorio.grupocompas.com>



Cabezas, A. et al. (2024) Cálculos básicos para la agroindustria panelera. Editorial Grupo Compás

Josué Israel Sópalo Romero.
Marcia Yomara Proaño Molina
Sandra Lissette Recalde Luna
© Walter David Quezada Torres
Janett Cecilia Torres Tambo
Walter F. Quezada Moreno

ISBN: 978-9942-33-818-1

El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Dedicatoria

A nuestra familia

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO 1. CONVERSIÓN DE UNIDADES UTILIZADAS EN EL SECTOR	11
1.1 Unidades de masa	11
1.2 Unidades de calor y energía	12
1.3 Temperatura,	13
1.4 Densidad	16
1.5 Unidades de fuerza, presión y potencia	16
1.6 Conversión de unidades de la constante R de los gases.	23
1.7 Calor específico o Capacidad calorífica específica (Ce)	26
1.8 Viscosidad	26
1.8.1 La viscosidad en los fluidos	27
1.8.2 Viscosidad aparente	28
1.8.3 Medición de la Viscosidad	29
1.9 Ejemplos de conversión de unidades	31
CAPITULO 2. AGROINDUSTRIA PANELERA: IMPORTANCIA, DEFINICIONES Y DIAGRAMAS DE PROCESO	34
2.1 Importancia	34
2.2 Definiciones de agroindustria	35
2.3 Definición de agroindustria panelera	38
2.4. Diagramas de proceso aplicados a la agroindustria panelera	39
CAPÍTULO 3. CÁLCULOS BÁSICOS APLICADOS EN EL PROCESO	56
3.1 Índice de madurez y disponibilidad de caña	56
3.2 Extracción del jugo y bagazo de la caña	58
3.2.1 Extracción de jugo	58
3.2.2 Extracción y secado de bagazo	64
3.3. Purificación del jugo (limpieza y clarificación)	68
3.3.1 Limpieza	68
3.3.2 Clarificación	71
3.4 Concentración y cocimiento	74
3.4 1 Concentración en evaporadores abiertos (tinas o pailas)	74
3.4.2 Concentración en evaporador cerrado (simple efecto)	91

3.5	Manejo de terrones y conglomerados	93
3.6	Balance de energía	95
3.6.1	Balance de energía requerida para la clarificación	95
3.6.2	Energía requerida para evaporación	95
3.6.3	Energía requerida para la concentración o punteo	96
3.7	Modelos matemáticos en procesos paneleros con evaporadores de simple efecto	98
3.8	Balance de masa (derivados del proceso agroindustrial panelero)	101
3.9	Balances para el secado de bagazo	102
3.10	Problemas básicos	104
3.10.1	Riqueza de los elementos utilizados en sector panelero.	104
3.10.2	Problemas de extracción y clarificación	108
3.10.3	Problemas de evaporación del jugo	116
3.10.4	Problemas básicos de energía	119
3.10.5	Problemas de secado de bagazo	119
	Referencias bibliográficas	122

INTRODUCCIÓN

Un ancestro de la caña de azúcar se originó al sur de Asia y se extendió hacia el sudeste de Asia a Australia durante el período Cretácico temprano, hace unos 60 millones de años (Glyn James, 2004) convirtiéndose la caña de azúcar una de las plantas cultivadas más antiguas (IPBO/VIB, 2017) y de mayor rentabilidad en el sector agroindustrial azucarero y panelero; éste último de importancia social, económico y en la seguridad alimentaria, especialmente en los sectores rurales de los países de Asia, Centro y Sur de América.

El cultivo de la caña (otros usos) para la producción de miel, panela y azúcar natural es “fundamental en la dieta alimentaria, nutrición y energética de las familias y comunidades rurales” (Quintero, Charao y Charagua, 2019) de manera que la evaluación técnica a través de cálculos de operación en la agroindustria panelera, constituye un aporte para el fortalecimiento de la actividad del sector rural del país.

La agroindustria panelera es un subsector del sector agroindustrial que requiere investigación e innovación como generadores de la información para su desarrollo socioeconómico y tecnológico. Es preciso proporcionar información como alternativa de desarrollo y rentabilidad para este sector, actualmente deprimido, a pesar que genera actividad ocupacional permanente e incrementa la economía del sector rural. La viabilidad de su operatividad y toma de decisiones en el sector rural donde opera, implica comprender integralmente el área de producción y las interrelaciones con otras áreas dentro de la agroindustria panelera. Socializar la información para una rápida toma de decisiones con proyección de aplicación y reanimación del sector considerando aspectos tecnológicos y de intensificación de los procesos incidirá en la calidad, sostenibilidad y bienestar.

El contenido del documento constituye un aporte a la agroindustria panelera, constituye una guía de cálculos básicos para productores e investigadores inmersos en la actividad. Además, presenta nuevos métodos de optimización en las diversas actividades operacionales para la producción de edulcorantes, especialmente miel hidrolizada, panela y azúcar natural (Quezada, Gallardo y Torres, 2016), y subproductos de incalculable valor aun no aprovechados. El

documento es producto de experiencias desarrolladas en actividades paneleras in situ y de varias investigaciones que se plasmaron en documentos científicos y técnicos publicados donde el problema es importante. Por lo tanto, nos aferramos a la máxima de Alfred Hitchcock que “autoplagiarse es estilo” citado por (González et al, 2018), en el libro publicado en Argentina 2018 “Gestión del conocimiento para la industria química y fermentativa con apoyo de la optimización”, del cual comparto la autoría.

CAPÍTULO 1. CONVERSIÓN DE UNIDADES UTILIZADAS EN EL SECTOR

El conocimiento y manejo del Sistema Internacional de Unidades, su equivalencia y nomenclatura es importante para expresar valores y mediciones en las diferentes actividades de la ingeniería agroindustrial panelera. Los cálculos comprenden unidades químicas, físicas y económicas que deben exponerse con claridad para ser analizadas y comprendidas en las diversas operaciones realizadas para llegar a conclusiones y definiciones. Es fundamental cuantificar las diversas actividades en un proceso para alcanzar eficiencia, que permitan evaluar y planificar nuevas acciones.

1.1 Unidades de masa

Las unidades de masa son magnitudes necesarias e importantes para establecer con exactitud cantidades que se expresan. La masa se define como la cantidad de material que tiene un cuerpo. La tabla 1 muestra algunas unidades de masa en el sistema internacional de medida (SI).

Tabla 1. Unidades elementales de masa

Nombre	Nomenclatura	Equivalencia
<i>Kilogramo</i>	<i>kg</i>	<i>1000 g</i>
<i>Gramo</i>	<i>g</i>	<i>1000 mg</i>
<i>Quintal Castilla</i>	<i>q</i>	<i>100 lb</i>
<i>Quintal Castilla</i>	<i>q</i>	<i>46 kg</i>
<i>Quintal corta. EU.</i>	<i>q</i>	<i>45,35kg.</i>
<i>Quintal larga. Brit.</i>	<i>q</i>	<i>50,80 kg</i>
<i>Tonelada</i>	<i>t</i>	<i>20 q</i> <i>1000kg</i>
<i>Tonelada corta</i>	<i>t</i>	<i>2000 lb</i> <i>907,1853 kg</i>
<i>Tonelada larga</i>	<i>t</i>	<i>2240 lb</i> <i>1016,0475 kg</i>
<i>Onza</i>	<i>Oz</i>	<i>28.3495 g</i>
<i>Quintal Castilla</i>	<i>q</i>	<i>4 @</i>
<i>Arroba</i>	<i>@</i>	<i>25 lb</i>
<i>Libra</i>	<i>lb</i>	<i>16 oz</i>
<i>Libra</i>	<i>lb</i>	<i>453,5927 g</i>

1.2 Unidades de calor y de energía

Las unidades de energía y sus cálculos son necesarios para optimizar los procesos energéticos, hacia la reducción de costos e impacto ambiental que genera un proceso.

La energía es la capacidad que tiene un cuerpo para realizar un trabajo. Dentro de las unidades de energía familiarizadas en nuestro entorno encontramos la caloría (cal) y kilocalorías (kcal); sin embargo, en el sistema internacional (SI) el julio (J) es importante para medir la energía y se define como la energía necesaria para mover un objeto en un metro de longitud con la fuerza de un newton.

Existen varias formas de expresar la energía y depende donde se produce. Nuestro objetivo es indicar el calor como un tipo de energía térmica que es: la cantidad de energía que pasa de un cuerpo caliente a otro más frío y que puede viajar por conducción, convección y radiación. El calor, es un tipo de energía que se manifiesta cuando se transfiere energía de un cuerpo caliente a otro cuerpo más frío.

La unidad de energía British Thermal Unit o “Unidad Térmica Británica “(BTU), se define como la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura en un grado Fahrenheit, una libra de agua. En unidades métricas es la caloría (cal), se define como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura en 1°C un gramo de agua. Una caloría equivale a 4,184 julios.

La tabla 2, muestra las diversas unidades de energía que se aplican en los procesos agroindustriales paneleros.

Tabla 2. Unidades básicas de energía

NOMBRE	Nomenclatura	Equivalencia
<i>Caloría</i>	<i>cal</i>	<i>4,1868 J</i>
<i>Caloría</i>	<i>cal</i>	<i>0,0041868 kJ</i>
<i>Kilocaloría</i>	<i>kcal</i>	<i>4186,8 J</i>
<i>Kilocaloría</i>	<i>kcal</i>	<i>4,1868 kJ</i>
<i>Kilocaloría</i>	<i>Kcal</i>	<i>3.9683 BTU</i>
<i>Kilocaloría</i>	<i>kcal</i>	<i>1000 cal</i>
<i>Kilo joule</i>	<i>KJ</i>	<i>1000 J</i>
<i>frigoría</i>	<i>fg</i>	<i>4.185,50</i>
<i>Kilovatio hora</i>	<i>kW.h</i>	<i>3.600.000 J</i>

<i>Kilovatio hora</i>	<i>kWh</i>	<i>3412.14 Btu</i>
<i>Caloría</i>	<i>cal</i>	<i>0.000001163 kWh</i>
<i>Tonelada equivalente de carbón</i>	<i>Tec</i>	<i>29.300.000.000 J</i>
<i>Ergio</i>	<i>erg</i>	<i>1 x 10⁻⁷ J</i>

Calor, es la cantidad de energía que emite un cuerpo. Mientras que la energía es la capacidad que tiene un cuerpo para realizar un trabajo. El calor se expone como (Hugot, 1984; Terry Bull, 2000):

Calor sensible (q) = calor necesario para elevar la temperatura de un líquido o una libra de agua desde 0 °C hasta su temperatura de ebullición en: *kcal/kg; cal/g; BTU/Lb; Joul/kg*

Calor latente (r) = calor necesario para convertir un líquido en ebullición en vapor a la misma temperatura. *kcal/kg; cal/g; BTU/Lb; Joul/kg*.

Calor Total = calor total de 1 kg de agua a t °C.

$$\lambda = q + r$$

Calor de vaporización total (λ), es el número de calorías necesarias para la evaporación de un kilogramo de agua. Según (Hugot, 1984), la ecuación es:

$$\lambda = 607 + t/3$$

Donde t, es la temperatura del producto (vapor)

Ejemplo: a 60°C, el calor total de vaporización es:

$$\lambda = 607 + 60/3 = 627\text{cal.}$$

A 102°C, será: $\lambda = 607 + 102/3 = 641\text{cal.}$

A 154°C, será: $\lambda = 607 + 154/3 = 658,3\text{cal.}$

1.3 Temperatura

Es una medida de intensidad de calor de una sustancia y se relaciona con la energía cinética promedio del sistema. El Calor, es la cantidad de energía que emite un cuerpo. Mientras que la energía es la capacidad que tiene un cuerpo para realizar un trabajo.

En el tratamiento energético de los jugos azucarados de la caña de azúcar, la temperatura es una variable importante de control del proceso, su incidencia se evidencia en la calidad del producto final y en el rendimiento por tonelada de

caña procesada. La temperatura se expresa en diferentes escalas, las más usadas, la escala centígrada y la escala Fahrenheit. La relación entre escalas de temperatura se detalla en la siguiente figura:

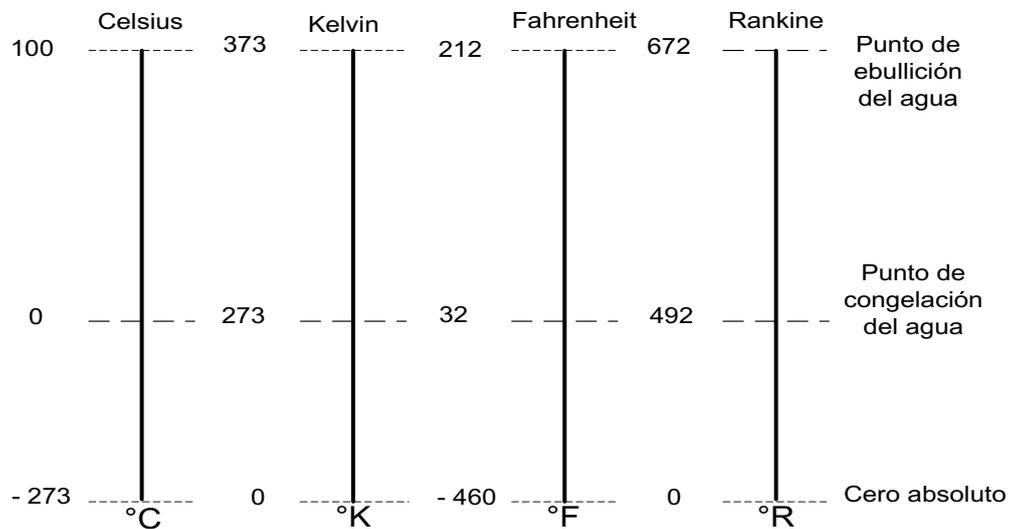


Figura 1.1: Escalas de temperatura

El cero absoluto corresponde a la temperatura más baja posible, que en escala Celsius es -273° y en escala Fahrenheit es -460° . La correspondencia entre estas escalas es:

$$1^{\circ}\text{F} = 1^{\circ}\text{R}$$

$$1^{\circ}\text{C} = 1^{\circ}\text{K}$$

$$1^{\circ}\text{C} = 1.8^{\circ}\text{R}$$

$$1^{\circ}\text{C} = 1.8^{\circ}\text{F}$$

$$1^{\circ}\text{K} = 1.8^{\circ}\text{R}$$

$$1^{\circ}\text{R} = \frac{5}{9}^{\circ}\text{K} = 0.555556^{\circ}\text{K}$$

$$5^{\circ}\text{K} = 9^{\circ}\text{R}, \text{ si } 100^{\circ}\text{K} = 180^{\circ}\text{R}$$

A partir de la figura se deducen las ecuaciones necesarias para la conversión a diferentes escalas:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} (^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$^{\circ}\text{F} = 1.8 (^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 460$$

Utilizando las ecuaciones de conversión determine las siguientes unidades de temperatura.

1.- Expresar 20°C en °F.

Se opera de la siguiente manera:

$20 \times 1.8 = 36$ °F, valor que está por encima del punto de congelación. Como 32, es un punto fijo de congelación del agua, se suma este valor.

$$36 + 32 = 68 \text{ °F}$$

2.- Expresar 100 °F en grados absolutos Kelvin.

El proceso es como sigue, utilizando la ecuación siguiente:

$$^{\circ}\text{C} = (5/9) (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$100 \text{ °F} - 32 \text{ °F} = 68 \text{ °F}$. El valor obtenido se multiplica por 0,55556 o por la fracción de (5/9) $68 = 37.77$ °C. Luego sumamos 273, para calcular la temperatura absoluta kelvin, según la ecuación.

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$^{\circ}\text{K} = 37.77 + 273 = 310.77 \text{ °K.}$$

3.- Expresar la temperatura absoluta de 600 °R a °C. El proceso es.

$$600^{\circ}\text{K} = 5^{\circ}\text{K}/9^{\circ}\text{R} = 333,33 \text{ °K}$$

$$^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{K} - 273$$

$$^{\circ}\text{C} = 333,33^{\circ}\text{K} - 273 = 60,36^{\circ}\text{C.}$$

Para desarrollar cálculos es importante que considere además las siguientes ecuaciones de transformación de temperatura, que se deducen de las anteriormente anotadas.

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} (^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{K} - 273$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 460$$

$$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{R} - 460$$

1.4 Densidad

La densidad (ρ) de una sustancia se refiere como el cociente entre la masa de la sustancia expresada en gramos respecto al volumen en mililitros o cm^3 que ocupa o lo contiene

$$\rho = \frac{m (g)}{V (cm^3)}$$

La densidad puede expresarse de acuerdo a las siguientes unidades: g-mol/cm^3 , kg-mol/m^3 , lb-mol/ft^3 .

*Demostrar que la densidad molar (δm) tiene el modelo matemático siguiente:

$$\delta m = n/V \quad \text{o}$$
$$\delta m = \text{mol/cm}^3.$$

Si el mol (n) es la relación entre la masa (g) del material para su masa molar o peso molecular (P_m), tenemos la ecuación siguiente.

$$n = \frac{g}{P_m}$$

Si el volumen (V) se expresa en cm^3 ; tenemos:

$$\delta m = \frac{\text{mol}}{\text{cm}^3} = \frac{\frac{g}{p_m}}{\text{cm}^3} = \frac{g}{p_m \times \text{cm}^3} = \frac{\cancel{g}}{\frac{\cancel{g}}{\text{mol}} \times \text{cm}^3} = \frac{\text{mol}}{\text{cm}^3}$$

1.5 Unidades de fuerza, presión y potencia

La masa es una de las magnitudes que requiere ser evaluada en el laboratorio de química, ya sea para preparar soluciones con reactivos, especímenes o muestras para un determinado análisis, con la exactitud y precisión que requiere la calidad del estudio a realizar.

La masa se define como la cantidad de materia que tiene un cuerpo. La unidad del Sistema Internacional de Medidas (SI), fundamental para medir la masa es el Kilogramo (kg), sin embargo, en química se utiliza el gramo (g), ya que es una unidad pequeña y conveniente en estudios químicos.

El Newton (N) es la unidad de fuerza en el Sistema Internacional de Unidades, se define como la fuerza (kg) necesaria para proporcionar una aceleración de 1 m/s^2 a un objeto de 1 kg . de masa. La tabla 3, muestra diversas unidades básicas de fuerza importantes para cálculos en procesos agroindustriales paneleros según (Mott y Untener, 2015).

$$N = (kg \cdot m)/s^2$$

Tabla 3: Unidades básicas de fuerza, presión y potencia (Terry Bull, 2000)

<i>Fuerza</i>	<i>Presión</i>	<i>Potencia</i>
<i>kgf</i>	<i>Atm</i>	<i>Hp</i>
<i>Lbf</i>	<i>cmHg</i>	<i>BTU/h</i>
<i>N</i>	<i>PlgHg</i>	<i>Calorías/Seg</i>
<i>Dina</i>	<i>PSI</i>	
<i>J/m</i>	<i>kpa</i>	<i>kw</i>
<i>KNewtons (kN)</i>	<i>Bares</i>	<i>Mw</i>
	<i>kg/cm²</i>	<i>w</i>

Presión:

Es la magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de superficie. La unidad de medida de la presión, es el Pascal (Pa).

$$P = F/A$$

Se conocen los siguientes tipos de presión:

Presión absoluta: es la presión de un fluido con referencia al vacío, conocido como cero absoluto. Cero absolutos es únicamente cuando no existe choque entre las moléculas, lo que indica que la proporción de moléculas en estado gaseoso o la velocidad molecular es muy pequeña. La presión absoluta (P_{ab}) es la suma de la presión atmosférica (P_{at}) y la presión manométrica (P_m). La presión absoluta se expresa como:

$$P_{ab} = P_m + P_{at} \text{ o } P_a = h + P_{at}.$$

Presión atmosférica: es el peso del aire de la atmósfera que ejerce una presión sobre un punto determinado de la superficie de la tierra. Generalmente, cuanto más aire hay sobre una zona, más alta esa es la presión, lo que significa que la presión atmosférica varía con la altitud. La presión atmosférica (p_{at}) es el producto de la densidad (ρ), gravedad (g) y altura (h), según la ecuación: $P_{at} = \rho(Hg)gh$

Presión barométrica: es la presión atmosférica ajustada normalmente a la equivalente al nivel del mar y está condicionada a las variaciones meteorológicas del ambiente.

Presión manométrica: Es una medida que refiere a la presión atmosférica. Se define como la fuerza que se ejerce encima de un área; se expresa según la ecuación:

$$P_m = F/A$$

La unidad de medición de la presión manométrica en el Sistema Métrico Decimal es el hectopascal (hPa) que corresponde a una fuerza de $100 \frac{N}{m^2}$.

En el Sistema Internacional de Unidades (SI) la unidad de presión es el Pascal (Pa), de ahí que la presión atmosférica se exprese en atmosfera (at) y también se exprese habitualmente en hectopascales (1 hPa= 100 Pa). A nivel del mar el valor de 1013 hPa =1013 mbar (milibar) = 1 atm = 760 mmHg y 1 MPa = 101900 kg/m^2

A continuación, se indican algunas equivalencias:

$$1 N/mm^2 = 1 MPa = 14,5 PSI = 10,194 kg/cm^2$$

$$1 KN = 101,97 kgf$$

$$1MPa = 1.019 KN/m^2$$

Si la presión (P) es igual a la fuerza (F) sobre el área (A), tenemos:

$$P = F (N)/A (m^2) = 1 Pascal$$

$$1 Pascal = 1 N/m^2 = 0,1019 kgf/m^2$$

Entonces la fuerza (F) será:

$$F = m(masa) \times a(acceleración de gravedad)$$

$$F = m \times a$$

$$F = 1 kg \times 9,81 m/s^2$$

$$F = 9,81 (kg m)/s^2$$

$$F = 9,81 N$$

$$1kgf = 9,81 N$$

$$100 N/m^2 = 1hPa$$

$$1 kg/cm^2 = (9,81 N)/(10mm \times 10mm) = 0,0981 N/mm^2$$

$$1 bar = 10^5 Pascal=100kPas=1,02 kg/cm^2 =14.5 PSI$$

$$1 kg/(cm)^2 = 14,23 PSI= 10^4 mmWC = 10000 mm WC$$

mm WC = milímetros de agua

Ejemplo: Convertir de kN / m² a kg / m²

Considere que: 1 kgf / m² = 1 kg / m².

$$1 kN / m^2 = 101.9716 kgf / m^2 \text{ (con la aceleración de caída libre } g = 9.80665 m / s^2)$$

$$1 kN / m^2 = 101.9716 kgf / m^2 = 101.9716 kg / m^2$$

$$1 \text{ kN} / \text{m}^2 = 101,97 \text{ kgf} / \text{m}^2$$

Ejemplo. Para demostrar que: $1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$; 10.197 kg/m^2 ; 0.750 mmHg ; 0.1 kPa ; 0.0145 PSI , proponemos el siguiente ejercicio.

Como antecedente, el estudio de la presión determinó la existencia de la atmósfera según el experimento del científico Italiano E. Torricelli, quien inventó el barómetro de mercurio en 1643, la atmósfera estándar se define como: la fuerza que ejerce o presiona la atmósfera en todas las direcciones sobre determinada superficie del cuerpo.

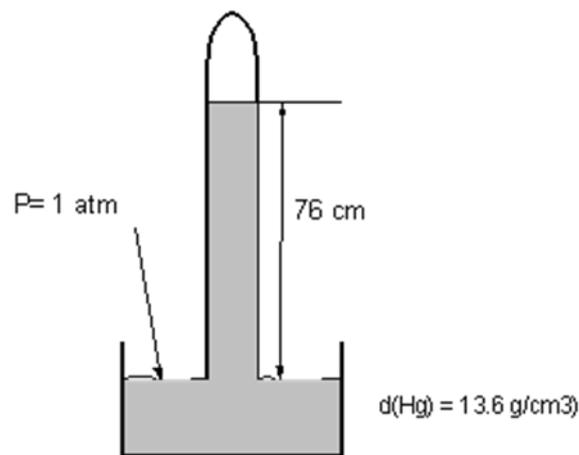


Figura 1.2: Experimento de Torricelli

La expresión matemática es la siguiente:

$$\text{Presión } (P) = \frac{\text{Fuerza } (kg)}{\text{Area } (cm^2)}$$

Se deduce que la presión es directamente proporcional a la altura de la columna de mercurio (Hg). La columna de mercurio desciende debido a que la presión atmosférica ejercida sobre la superficie del mercurio equilibra la presión ejercida por ambos pesos. Si se considera las unidades aplicadas en el experimento de Torricelli, la presión es igual a la altura que alcanza el mercurio por la densidad del mercurio, expresión matemática que se expone:

$$P = h(cm) \times d(g/cm^3) = 1033.6 \text{ g/cm}^2$$

Un gas u objeto ejerce presión sobre cualquier superficie con la que está en contacto, sea cual sea la dirección del contacto. La ecuación será:

Si P (aire fuera) = P (Hg dentro)

Entonces:

$$P(Hg) = P(aire) = (masa\ Hg(g))/(Área(cm^2))$$

Donde el volumen será, según la ecuación:

$$Volumen = altura \times \text{área del barómetro (tubo)} \ 1cm^2$$

$$Volumen = 76cm^3$$

Mientras que la masa es, de acuerdo a la ecuación:

$$Masa(Hg) = Volumen \times densidad$$

$$Masa(Hg) = 1033.6g$$

Si aplicamos el principio de la presión (P)= kg de fuerza que ejerce la masa aplicada a determinada superficie tenemos:

$$P(\text{presión}) = (masa\ Hg)/Área = 1033.6\ g/(cm^2)$$

El valor antes obtenido se demuestra, si se considera las unidades aplicadas en el experimento de Torricelli, entre la altura que alcanzó el mercurio y su densidad, por efecto de una presión atmosférica.

$$P = h(cm) \times d(g/cm^3) = 1033.6\ g/cm^2$$

Las unidades en el SI, para la masa y aceleración son: (kg) y m/s^2 .

Entonces, la fuerza tiene las unidades: $kg.m/s^2$: Una fuerza de $1\ kg.m/s^2$ se llama newton (N). Entonces, una presión de $1N/m^2$, se llama pascal (Pa).

La segunda Ley de Newton establece que la fuerza (F) es igual a la masa del cuerpo (m) por la aceleración de la gravedad (a). La aceleración que adquiere un objeto es directamente proporcional a la suma de las fuerzas que actúan sobre éste e inversamente proporcional a la masa (cantidad de materia) del objeto. Matemáticamente la recordamos así:

$$F = m \cdot a$$

F = Fuerza ($Kg. m/s^2$)

m = masa (Kg)

a = aceleración de la gravedad (m/s^2)

La fuerza de $1\ Kg.m/s^2$ se llama newton (N). La presión de $1N/m^2$, se llama pascal (Pa). La presión atmosférica tiene el siguiente modelo matemático, que es:

$$P(atm) = h\rho g$$

h =altura

ρ = densidad

g =aceleración de la gravedad

Para obtener otras unidades equivalentes a la atmosférica, el mismo cálculo de la presión, se puede realizar utilizando la siguiente ecuación (Moore y otros. 2000), donde h (altura del mercurio alcanzada en el experimento), ρ (densidad del mercurio que es 13,6 g/cm³) y g (gravedad que es de 9.8m/s²).

$$P(atm) = h\rho g$$

$$P(atm) = (0.76m)(13600 kg/m^3)(9.8 m/s^2)$$

$$P(atm) = 1.013 \times 10^5 N/m^2 = pascal(Pa)$$

$$P(atm) = 101300Pa$$

$$P(atm) = 101.3Kpa$$

A continuación, se detallan algunas equivalencias de la presión atmosférica

$$1 atm = 760 mmHg = 76 cmHg = 0,76 mHg = 760 torr = 101,3 Kpa = 101300 Pa = 1,013 bar = 14,7 Lb/pg^2 (PSI) = 1033.6 g/cm^2 = 1013hPa.$$

En el siguiente listado se detalla otras equivalencias necesarias para la conversión de unidades.

$$1hp = 0.74570 kW$$

$$1 hp = 550 ft-lbf/s$$

$$1N = 1Kg.m/s^2$$

$$1pie = 1ft = 0,3046m$$

$$1Kg = 2,204 lb$$

$$1cal \equiv 4,1840 \times 10^7 \text{ergios} = 4,1840 J$$

$$1 cal \text{I} \equiv 4,1868 \times 10^7 \text{ergios} = 4.1868 J$$

$$1 ergio = 1 \times 10^{-7} J \equiv 1 \text{ din.cm}$$

$$1 \text{ din} \equiv 1 \text{ g.cm/s}^2$$

$$1 gf = 980.6 \text{ dinas}$$

$$1 BTU = 252 \text{ calorías}$$

$$J/s = w$$

$$1 J = 1N.m = 1 \text{ kg. m}^2/\text{s}^2$$

Ejemplo. Utilizando conceptos básicos convertir las siguientes unidades:

- a. 1 N a lbf
- b. 1 BTU a cal_{IT}
- c. 1 atm a lbf/in²
- d. 1 hp a Kw

Solución:

$$a.- \quad 1N \times (1Kg - m)/(1N s^2) \times (2.204 Lb)/1Kg \times 1ft / 0.3048m \times (1 lbf s^2)/(32,174 lb - ft) \equiv 0,2248lbf$$

$$b.- \quad 1 BTU \times (lb - ^\circ F)/(1 BTU) \times (1 cal)/(g - ^\circ C) \times (0,4539 Kg)/(1 lb) \times (1000 g)/(1 Kg) \times (1 ^\circ C)/(1.8 ^\circ F) = \llbracket 251,99 cal \rrbracket_{IT}$$

$$c.- \quad 1 atm \times (101325 Pa)/(1 atm) \times (101325 Kg - m)/(1 Pa s^2 m^2) \times (1 lbf s^2)/(32,174 lb - ft) \times (1 lb)/(0,454 Kg) \times (1 ft)^2 / (12 in)^2 \times (0,3048 m)/(1 ft) = 14,6827 lbf / \llbracket in \rrbracket^2$$

$$d.- \quad 1hp \times (550 ft - lbf)/(1 hp s) \times (32,174 lb - ft)/(1 lbf s^2) \times (1 kg)/(2,204 lb) \times \llbracket (0,3048m) \rrbracket^2 / \llbracket (1 ft) \rrbracket^2 = 745,91 \llbracket Kg - m \rrbracket^2 / (s^2 s) = 745,91 J/s = 745,91 w = 0,74591 Kw$$

Proceso para expresar el resultado de 1 N a Kgf, J/m y Dinas.

Considere que 1 Kgf = 9.80665 N

$$e.- \quad 1N \times 1Kgf / (9.81 N) = 0,101937Kgf$$

Considere que 1 J = 1N.m

$$f.- \quad 1N \times (1 J) / (1N.m) = 1 J/m$$

$$g.- \quad 1N \times (1Kg.m) / (1 N s^2) \times 1000g / (1 Kg) \times (100 cm) / (1 m = 100 000(g cm) / s^2 = 100 000 dinas$$

Ejemplo. Demostrar que 760 mmHg es igual a 101.3 Kpa. Utilice el experimento de Torricelli.

Datos:

Presión atmosférica= 760 mmHg

Área del barómetro = 1mm²

Densidad del mercurio = 13.6 g/cm³

Desarrollo:

Cálculo del volumen:

$$V = Axh$$

$$V = 760mm^3$$

Cálculo de la masa, si la densidad es igual a la masa (g) dividido para el volumen en cm³; cuya ecuación es:

$$d = m(g)/v(cm^3)$$

La masa según la ecuación será,

$$m = v d$$

$$m = 760mm^3(13.6 \frac{g}{cm^3} \cdot \frac{1cm^3}{10mm^3})$$

$$m = 10.33g$$

$$m = 0.01033Kg$$

Cálculo de la fuerza (F):

$$F = m a$$

a= aceleración de la gravedad

m= masa

$$N = Kg \cdot m/s^2$$

$$F = 0.01033Kg \times 9.81 m/s^2$$

$$F = 0.1013N$$

Cálculo de la presión:

$$P = F/A = \frac{0.1013N}{1mm^2} \times \frac{1000mm^2}{1m^2}$$

$$P = 101.3 \times 10^3 N/m^2 = Pa$$

$$1 Kpa = 1000Pa$$

$$P = 101.3 Kpa.$$

1.6 Conversión de unidades de la constante R de los gases.

Conocer las unidades, sus equivalencias y generar habilidades de cálculo, ayuda a potenciar destrezas básicas en la interpretación y resolución de ejercicios matemáticos especialmente. Este argumento, permitió considerar la constante R de los gases como ejemplo para este fin. El control de variables de. presión, volumen y temperatura es importante en el proceso agroindustrial de la caña; especialmente en evaporación cerrada (concentración del jugo de la caña) y fermentación de jugos, que constituyen nuevos temas de investigaciones.

Ejemplo. En condiciones normales (CN) de presión de 1 at, temperatura 273.15 °K, el volumen de un gas ideal tiene un valor 22.4 l/g.mol, matemáticamente se conoce como constante de los gases R, según la ecuación:

$$R = \left(\frac{P \cdot V}{T}\right)$$

$$R = (1 \text{ atm} \cdot 22.4 \frac{\text{L}}{\text{mol}}) / (273.16 \text{ oK})$$

$$R = 0.082056 \left(\frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{oK} \cdot \text{gmol}}\right)$$

Ejemplo: Para generar habilidades y destrezas en conversión de unidades, se consideró la constante $R = 0.082056 \frac{(\text{at} \cdot \text{L})}{(\text{°K} \cdot \text{gmol})}$ expresar en otras unidades.

Tabla 4. Valores de la constante R en diferentes unidades.

$R = 0.082056 \frac{(\text{at} \cdot \text{L})}{(\text{°K} \cdot \text{gmol})}$	1	82,056 (atm - cm ³)/(°K - gmol)
	2	8.2056x10 ⁻⁵ (atm - m ³)/(°K - gmol)
	2	82,056x10 ⁻³ (atm - m ³)/(°K - kgmol)
	3	8314,47 J/(°K - kgmol)
		8,31447 J/(°K - gmol)
		8,31447x10 ⁷ ergios/(°K - gmol)
		8,31447x10 ⁷ (din - cm)/(°K - gmol)
	4	1,9858 BTU/(°R - lbmol)
	5	1545,3 (ft - lbf)/(°R - lbmol)
	6	1,9873x10 ³ cal/(°K - kgmol)
		1987,3 cal/(°K - kgmol)
	6	1,987 cal/(°K - gmol)
	7	1,9859x10 ³ Calπ/(°K - kgmol)
		1985,9 Calπ/(°K - kgmol)
	8	7,8045x10 ⁻⁴ (hp - h)/(°R - lbmol)
		0,046827 (hp - min)/(°R - lbmol)
	2,8096 (hp - s)/(°R - lbmol)	
9	5,82x10 ⁻⁴ (kW - h)/(°R - lbmol)	
	0.581982 (W - h)/(°R - lbmol)	

Los valores de la constante R en diferentes unidades (tabla 4), son resultado de ejercicios, que se muestran a continuación.

$$1.- \quad 0.082056 \text{ (atm} - \text{l)} / (\text{°K} - \text{gmol}) \times (1000 \text{cm}^3) / (1 \text{ l}) = \mathbf{82,056 \text{ (atm} - \text{cm}^3) / (\text{°K} - \text{gmol})}$$

2.-

$$0.082056 \text{ (atm} - \text{l)} / (\text{°K} - \text{gmol}) \times (1 \text{m}^3) / (1000 \text{ l}) = \mathbf{8.2 \times 10^{-5} \text{ (atm} - \text{m}^3) / (\text{°K} - \text{gmol})}$$

$$\times 1000 \text{gmol} / 1 \text{kgmol} = \mathbf{82,056 \times 10^{-3} \text{ (atm} - \text{m}^3) / (\text{°K} - \text{kgmol})}$$

3.-

$$0.082056 \text{ (atm} - \text{l)} / (\text{°K} - \text{gmol}) \times 10336 \text{kgf} / (1 \text{atm} - \text{m}^2) \times (1 \text{m}^3) / (1000 \text{ l}) \times 1000 \text{gmol} / 1 \text{kgmol} \times 9.80 \text{N} / 1 \text{kgf} \times$$

$$= \mathbf{8314,47 \text{ J} / (\text{°K} - \text{Kgmol})} \times 1 \text{kgmol} / 1000 \text{gmol}$$

$$= \mathbf{8,3147 \text{ J} / (\text{°K} - \text{gmol})} \times (4,1868 \times 10^7 \text{ ergios}) / (4,1868 \text{ J})$$

$$= \mathbf{83147000 \text{ ergios} / (\text{°K} - \text{gmol})} \times (1 \text{dina} - \text{cm}) / (1 \text{ ergio})$$

$$= \mathbf{8.31447 \times 10^7 \text{ (dina} - \text{cm)} / (\text{°K} - \text{gmol})}$$

4.-

$$8314,47 \text{ J} / (\text{°K} - \text{Kgmol}) \times 1 \text{BTU} / (1055,06 \text{ J}) \times (1 \text{ Kgmol}) / (2,204 \text{ lbmol}) \times (1 \text{°K}) / (1.8 \text{°R}) = \mathbf{1,9858 \text{ BTU} / (\text{°R} - \text{lbmol})}$$

5.-

$$0.082056 \text{ (atm} - \text{l)} / (\text{°K} - \text{gmol}) \times (1 \text{°K}) / (1.8 \text{°R}) \times 453.59 \text{gmol} / 1 \text{lbmol} \times (0.001 \text{m}^3) / (1 \text{ l}) \times (1 \text{ ft}) / (0,3048 \text{ m}) \times 10336 \text{kgf} / (1 \text{ atm m}^2) \times (1 \text{ lbf}) / 0.45359 \text{Kgf} = \mathbf{1545.87 \text{ (ft} - \text{lbf)} / (\text{°R} - \text{lbmol})}$$

6.-

$$1,9858 \text{ BTU} / (\text{°R} - \text{lbmol}) \times (252 \text{ cal.}) / (1 \text{ BTU}) \times (1.8 \text{°R}) / (1 \text{°K}) \times 2,204 \text{lbmol} / (1 \text{ kgmol}) = \mathbf{1985,8 \text{ cal} / (\text{°K} - \text{kgmol})} \times 1 \text{kgmol} / 1000 \text{gmol} = \mathbf{1,9858 \text{ (cal.)} / (\text{°K} - \text{gmol})}$$

También podemos trabajar así:

$$8314,47 \text{ J} / (\text{°K} - \text{Kgmol}) \times (1 \text{ cal}) / (4,1840 \text{ J}) = \mathbf{1987,2 \text{ cal} / (\text{°K} - \text{Kgmol})}$$

7.-

$$8314,47 \text{ J} / (\text{°K} - \text{Kgmol}) \times (1 \text{ cal})(\pi) / (4,1868 \text{ J}) = \mathbf{1985,87 \text{ (cal)}\pi / (\text{°K} - \text{Kgmol})}$$

8.-

$$1545,3 \text{ (ft - lbf)/}(\text{°R} - \text{lbmol}) \times (1 \text{ hp } s)/(550\text{ft} - \text{lbf}) \times 1\text{h}/(3600 \text{ s}) =$$

$$7,8045 \times 10^{-4} \text{ (hp - h)/}(\text{°R} - \text{lbmol}) = 0.0468277 \text{ (hp - min)/}(\text{°R} - \text{lbmol}) =$$

$$2,8096 \text{ (hp - s)/}(\text{°R} - \text{lbmol})$$

9.-

$$7,8045 \times 10^{-4} \text{ (hp - h)/}(\text{°R} - \text{lbmol}) \times (0,7457 \text{ kW})/1\text{hp} = 5,82 \times 10^{-4} \text{ (kW - h)/}(\text{°R} - \text{lbmol}) = 0.582 \text{ (W - h)/}(\text{°R} - \text{lbmol})$$

1.7 Calor específico o Capacidad calorífica específica (Ce).

Es la cantidad de energía que se requiere para elevar la temperatura de una muestra en un grado. El **Ce** depende de la muestra, tamaño y pureza.

$$Ce = q/(m \times \Delta T) = \text{Cal}/(\text{gx } \text{°C})$$

Para calcular el calor necesario para calentar un líquido, se utiliza la siguiente ecuación:

$$q = m \Delta T Ce$$

Donde:

q = Q = Calor necesario

m = Masa del producto a tratarse (kg o lb)

ΔT = Diferencia de temperatura del jugo que entra y sale

Ce = Calor específico Kal / °C Kg o BTU/lb °F o Cal/g °C = Joul/lb°F

1 BTU = 252 cal = 0.252 Kcal = 1055 Joul

El calor específico, para jugos menores de 70°B, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ce = 1 - 0.006(\text{°B})$$

Mientras que, para concentraciones mayores a 70°B, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Ce = 1 - 0.007(\text{°B})$$

El calor específico (Ce) hace uso de la **Capacidad calorífica molar (Ccm)**, que se define como las calorías necesarias para elevar la temperatura de un mol de sustancia. Las unidades son (Cal/mol °C), y se calcula teniendo en cuenta el calor específico (Ce) y la masa molar de la sustancia (Pm o Mm).

$$Ccm = Ce(\text{cal/g}^\circ\text{C}) \times Pm (\text{g/mol})$$

1.8 Viscosidad

La atención a la viscosidad en la agroindustria de la caña, especialmente en el sector panelero surge en el proceso de clarificación y purificación de jugos porque hoy en día se utilizan mucílagos vegetales conocidos como hidrocoloides (Quezada et al 2023). Los no azúcares del jugo de caña se coagulan por la acción de los mucílagos y el calor; y se separan fácilmente por principios de floculación (etapa de sedimentación) y flotación especialmente.



Figura 1.3. Hidrocoloide utilizado en proceso de purificación de jugos de caña

La viscosidad, es la propiedad de un fluido que ofrece resistencia al movimiento relativo de sus moléculas o intentos de moverse en una superficie fija. Fluido con adherencia baja es “líquido” o menos viscoso, mientras que si tiene alta adherencia es “espeso” o más viscoso. La viscosidad incide en la pérdida de energía del fluido cuando se mueve; por efecto de sus tensiones de corte cuya magnitud depende de su viscosidad. Un fluido poco viscoso tendrá más facilidad para deformarse y “fluir” que otro más viscoso. Se denomina fluido ideal (caso del agua) a aquel fluido que presentaría viscosidad nula y fluido no ideal el que tiene alta adherencia caso de la miel de caña. La viscosidad suele disminuir al aumentar la temperatura.

1.8.1 Viscosidad en los fluidos

En términos de viscosidad, existen dos tipos de fluidos: fluidos newtonianos, y fluidos no newtonianos (Galindo, 2024). **Fluidos newtonianos:** la viscosidad del fluido no depende de las fuerzas de corte que actúan sobre él (la resistencia al flujo es directamente proporcional al movimiento del fluido). Por lo tanto, la adherencia de los fluidos newtonianos depende únicamente de la temperatura y la presión del fluido. Además, para líquidos que no se pueden comprimir, como el agua, la viscosidad depende únicamente de la temperatura. **Fluidos no newtonianos:** Un fluido no newtoniano es aquel fluido cuya

viscosidad varía con la temperatura y la tensión cortante que se le aplica. Se pueden identificar muchos tipos de fluidos no newtonianos, incluyendo aquellos que varían con la duración del esfuerzo cortante aplicado. Para la determinación de la viscosidad aparente se considera la velocidad de rotación, causado por la fricción de partículas del fluido debido a la viscosidad del material

La industria panelera con fines de clarificación utiliza mucilagos en solución para separar los no azúcares para alcanzar jugos claros y brillantes (Quezada y Gallardo, 2015; Quezada et al, 2016). Los mucílago son espesos y viscosos, con alta capacidad de hidratarse y requieren ser investigados en mayor profundidad.

1.8.2 Viscosidad aparente

Es definida como la relación entre el esfuerzo viscoso y la velocidad de deformación, muestra dependencia con los parámetros reológicos, las variables de flujo rotacional, los valores de mezcla crudo-solvente y las condiciones operacionales de presión y temperatura (Urdaneta et al, 2008; Galindo, 2015). La viscosidad aparente es una propiedad compleja que combina la viscosidad dinámica del fluido puro con las interacciones que se producen entre el fluido y las superficies sólidas o partículas presentes en el medio poroso o matriz sólida. El comportamiento heterogéneo confiere al producto características de viscosidad aparente a determinada velocidad de deformación, y que, se infiere (necesidad de mayor rigor de investigación de la viscosidad) según resultados corresponde a un fluido no newtoniano, donde “el propio movimiento del fluido afecta la viscosidad adoptando a valores cambiantes conforme lo hace la velocidad y el esfuerzo cortante (Méndez, Pérez y Paniagua,2010). Valores de viscosidad del mucílago para una concentración de 100g/L medido gradientes de deformación de dos dígitos varía entre 1120 a 1170 mPa.s (Quezada et al, 2024). El comportamiento observado en este fluido es claramente no newtoniano, “dado que la relación entre el esfuerzo de corte y la rapidez de deformación es no lineal (Malsover, Pérez M, López, 2017) que se caracterizan por las tensiones tangenciales dependen únicamente de la velocidad de deformación (Méndez, Pérez y Paniagua,2010) comportamiento observado en este fluido se deduce que se trata de una viscosidad aparente y que merece mayor atención de la variable en futuras investigaciones.

La viscosidad aparente, tiene importantes aplicaciones en diversas industrias, incluyendo alimentos y bebidas, industria petrolera, filtración, biología y medicina, y desarrollo de nuevos materiales. Comprender y medir la viscosidad aparente es fundamental para optimizar procesos, mejorar la eficiencia y seguridad operativa, y desarrollar nuevos productos y materiales (Rojas, Briceño y Abendaño, 2012).

Hay dos tipos principales de histéresis que se observan comúnmente en fluidos no newtonianos: histéresis de adelgazamiento y espesamiento. La histéresis de adelgazamiento por corte se caracteriza por una disminución en la viscosidad aparente a medida que aumenta la velocidad de corte, mientras que la histéresis de espesamiento por corte implica un aumento en la viscosidad aparente al aumentar la velocidad de corte. Estos comportamientos se pueden visualizar trazando el esfuerzo cortante frente a las curvas de velocidad de corte tanto en dirección directa como inversa (Arregui de la Cruz et al, 2017)

1.8.3 Medición de la Viscosidad:

En el Sistema Internacional de Unidades (SI), para la viscosidad dinámica o absoluta la unidad es el Pascal-segundo (símbolo: Pa·s), que corresponde exactamente a $1 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ o $1 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$. La viscosidad de un fluido se puede medir a través de la viscosidad dinámica (μ) y la viscosidad cinemática (ν), para ello se utilizan viscosímetros de Ostwald, Viscosímetro Saybolt y viscosímetros rotacionales de diversas marcas, estos últimos muy utilizados para investigación (Leonardo, B, 2013).



Figura 1.4. viscosímetros de Ostwald, Saybolt y rotacional

La viscosidad puede medirse en diferentes unidades, siendo las más comunes los centipoises (cP) y los pascales segundos (Pa·s). En ocasiones, se utiliza la unidad milipascal segundo (mPa·s) para expresar viscosidades más bajas (Valiente A, 2016).

Viscosidad cinemática (ν): es la relación entre la viscosidad dinámica o absoluta y densidad y se mide en m^2/s .

$$\nu = \eta/\rho$$

También existen otras medidas que no pertenecen al SI, se conoce como las stokes (St) y las centistokes (cSt). Un Stokes (St) es una unidad de viscosidad cinemática en el sistema CGS que equivale a centímetro cuadrado por segundo (cm^2/s). 1 Stokes es la viscosidad cinemática de un fluido con una densidad de $1 g/cm^3$ y una viscosidad dinámica de 1 poise (Gallagher, 2024).

El resultado puntual de la viscosidad no es indicativo de que el fluido es no newtoniano. Se infiere que los resultados mostrados corresponden a la viscosidad aparente a determinada velocidad de deformación. En hidrocoloides es necesarios profundizar estudios para puntualizar el tipo de viscosidad que tienen. Las equivalencias se anotan a continuación (Instrumentación analítica, 2024).

$$1 Pa \cdot s = 1000 mPa \cdot s$$

$$1 mPa \cdot s = 1 cP$$

$$0,06 Pa \cdot s = 60 mPa \cdot s$$

$$5 Pa \cdot s = 5000 mPa \cdot s$$

$$0,002 Pa \cdot s = 2 mPa \cdot s$$

$$1 \text{ stoke (St)} = 100 \text{ centistokes} = 1 cm^2/s = 0,0001 m^2/s; 1 cSt = 1 mm^2/s$$

$$1 \text{ centistoke (cSt)} = 1 mm^2/s = 0,01 St.$$

En el sistema Internacional. MKS

$$\nu = (N \cdot s)/m^2 = kg/(m \cdot s) = Pa \cdot s$$

En el sistema CGS

$$\nu = (dyn \cdot s)/cm^2 = g/(cm \cdot s) = P(Poise)$$

$$1 Poise = 0.1 Pa \cdot s$$

En la práctica:

$$\nu = 1 \text{ mPa} \cdot \text{s} = 1 \text{ cp}$$

Ejemplo:

Convertir 1 poise o $\nu = \text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ (SI) a Sistema Inglés $\nu = \text{Lb}/(\text{ft} \cdot \text{s})$

$$1 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s}) = (2,2 \text{ lb})/1 \text{ kg} (1 \text{ m})/(3,28 \text{ ft}) = 0,671 \text{ lb}/(\text{ft} \cdot \text{s})$$

Ejemplos de unidades viscosas

- Aire: 0,0000174 Pa.s.
- Agua a 20 °C: 0,001 Pa · s.
- Leche a 20 °C: 0,002 Pa · s.
- Aceite de oliva a 25 °C: 0,06 Pa · s.
- Miel a 20 °C: 5 Pa · s.
- Mantequilla de cacahuete: 500 Pa · s.
- Mucilagos de plantas a 24,6°C±1 encontrados entre valores de 50 hasta 14080 mPa.s (Quezada et al, 2023).
- Miel de abejas 3449±43 mPa.s
- Miel de caña hidrolizada de concentración entre 75 a 78 °Brix, arroja valores de viscosidad entre 3200 a 6200 mPa.s (Quezada et al, 2023)

1.9 Ejemplos resueltos de conversión de unidades

En investigación científica las unidades son importantes para el control de variables. Por ejemplo:

La masa como variable de control en los rendimientos de producción de una superficie cultivada o de la unidad experimental investigada. El tiempo como variable de control en la precocidad de un cultivo o desarrollo de un proceso. La viscosidad como variable de control la calidad de un biopolímero. El color como medida de aceptación o rechazo de un producto investigado para el mercado. La temperatura, el volumen, la luminosidad, la longitud, la cantidad, la presión, entre otros.

Ejemplos:

1. Demuestre que: $1 \text{ BTU}/(^\circ\text{F} \cdot \text{lb})$ a $\text{kcal}/(^\circ\text{C} \cdot \text{kg})$

$$1 \text{ BTU}/(^\circ\text{F} \cdot \text{lb}) * (0,252 \text{ kcal})/1 \text{ BTU} * 2,2 \text{ lb}/(1 \text{ kg}) * (1,8^\circ\text{F})/(1^\circ\text{C}) \\ = 1 \text{ kcal}/(^\circ\text{C} \cdot \text{kg})$$

2. Convertir toneladas a quintales.

$$3,5 Tn \frac{1000kg}{1 Tn} \frac{20qq}{1000kg} = 70 qq$$

3. Convertir: PSI a Pa.

Considere que:

$$1 lb = 4,448 N$$

$$1 yd (yarda) = 3 ft (pie)$$

$$1 ft (pie) = 12 in (pulgada)$$

$$1 PSI = \frac{1 lbf}{pulg^2} = \frac{1 lbf}{in^2} ; Pa = \frac{N}{m^2}$$

$$20 \frac{lbf}{in^2} \times \frac{4.4480N}{1 lbf} \times \frac{(12 in)^2}{(1 ft)^2} \times \frac{(3 ft)^2}{(1 Yd)^2} \times \frac{(1 yd)^2}{(0,4194 m)^2} = 137 888,276 \frac{N}{m^2} = Pa$$

4. Convertir 200 Pascales (Pa) a Mega Pascales (MPa)

$$200 Pa \frac{1kPa}{1000Pa} \frac{(1 Mega Pascal (MPa))}{1000kPa} = 0,0002 MPa$$

$$\text{Convertir: } 135 PSI = 135 \frac{lbf}{in^2} \frac{1N}{(0,2248lbf)} \times \frac{1 in^2}{(25,4 mm)^2} = 0,930829 N/mm^2 = 0,930829 MPa$$

$$2800 mPa \frac{1Pa}{1000mPa} = 2,8 Pa$$

$$130 MPa \frac{145,0377psi}{1MPa} = 18854.9 psi$$

5. Determine la fuerza que ejerce 30 kg

$$F = mg$$

$$F = 30 kg \times 9,81 m/s^2$$

$$F = 294.3N$$

6. Encontrar la presión en Pascales (Pa), si la fuerza de 294.3 N ejerce en una superficie de 0,0021m².

$$P = F/A$$

$$P = (294.3 N)/(0,0021m^2) = 140142.86 Pa$$

7. Convertir 140142.86 Pa a miliPascales (mPa)

$$4 Pa = (1000 mPa)/(1 Pa) = 4000mPa$$

8. Convertir 140142.86 Pa a MegaPascales (MPa)

$$140142.86 Pa = (1 MPa)/(1000 000 Pa) =$$

9. Convertir 0.02 Mpa a Pascales

$$0.02 MPa = (1 000 000 Pa)/(1 MPa) = 20 000 Pa$$

$$1N = (1 kg - m)/s^2$$

$$1 Pa = 1 N/m^2$$

10. La densidad de la miel de abejas tiene valores entre 1,40 a 1,42 g/cm^3 a 25°C; exprese el valor en kg/m^3 y revierta el valor a unidades iniciales.

$$\begin{aligned} 1,42 g/cm^3 \times 1kg/(1000 g) \times 1000l/(1m^3) \times (1000cm^3)/(1 l) &= 1420 kg/m^3 \\ 1420 kg/m^3 \times (1000 g)/(1 kg) \times (1m^3)/(1000 l) \times (1 l)/(1000cm^3) & \\ &= 1,42 g/cm^3 \end{aligned}$$

10. Si la producción de miel es 20 kg/d , utilizando el valor de la densidad, ¿cuántos litros de miel obtiene por día (l/d) y $l/año$?

$$= \frac{20 kg}{d} \times \frac{1 m^3}{1420 kg} = 0,0141 \frac{m^3}{d} \times \frac{1000 l}{1 m^3} = 14,1 l/d$$

$$14,1 l/d \times (365 d)/(1 año) = 5140,8 l/año$$

Densidad de la miel de caña: La miel de caña de azúcar es un producto obtenido de la concentración del jugo de caña clarificado hasta valores de 60 a 70 °Bx. En el mercado se encuentra mieles de color oscuro con un alto porcentaje de cristales de azúcar. La miel obtenida en los ingenios azucareros para la cristalización tiene 70°Bx.

11. La miel hidrolizada de caña de azúcar (paneleras) es obtenida por concentración del jugo de caña previamente clarificado (mucílagos naturales) hasta valores promedios de 75 a 76 °Bx (similar a los sólidos solubles de la miel de abejas) y desdoblado la sacarosa por inversión ácida a enzimática, la densidad es = 1,42 g/cm^3 y la viscosidad entre 3200 5500 mPa.s. Al procesar en una agroindustria panelera 10 tc/d , la

producción de miel hidrolizada de caña es de 1330 kg/d ; utilizando el valor de la densidad ($1,39 kg/m^3$), cuántos litros de miel se obtiene por día (l/d); l/mes y $l/año$?

$$= (1330 Kg/d)/(1420 kg/m^3) = 0,9366 m^3/d x (1000 l)/(1 m^3)$$

$$= 14,1 l/d$$

$$14,1 l/d x 22d/1mes = l/mes$$

$$14,1 l/d x (365 d)/(1 año) = 5140,8 l/año$$

CAPITULO 2. AGROINDUSTRIA PANELERA: IMPORTANCIA, DEFINICIONES Y DIAGRAMAS DE PROCESO

2.1 Importancia

La agroindustria panelera se impone como actividad que genera trabajo, alimento y fortalece la economía, especialmente en sectores rurales; y contribuye fundamentalmente al desarrollo social apuntalando aspectos de seguridad y soberanía alimentaria. El subsector agroindustrial panelero con mejoras implementadas en la producción, calidad e inocuidad del producto hoy en día apunta a todos los mercados. Su impacto ambiental es mínimo, ya que está clasificada en la categoría B (agroindustrias de pequeña escala), no necesita tecnología sofisticada y es el medio para acrecentar el valor agregado de la materia prima a través de la manufactura. Es una agroindustria que debe convertirse en rentable, viable y competitiva bajo criterios de bioproducción y biocomercio con orientación bioturística sostenible.

Una salida para la actividad agrícola de la caña, es la agroindustria panelera y azucarera, ya que un país no puede aprovechar su potencial agropecuario, sin recurrir a la agroindustria. “Las agroindustrias no sólo representan una fuerza reactiva, sino que también generan una demanda regresiva en el sector agrícola de mayores o diferentes productos agrícolas; oportunidades de nuevos cultivos y, en consecuencia, elevar el nivel de ingresos” (Austin, 1987); considerando que: Las agroindustrias transforman productos agropecuarios en bruto en productos de consumo, las agroindustrias representan en un país la mayor parte del sector manufacturero, las agroindustrias en muchos países en desarrollo, convierten sus productos en fuente principal de exportación, y finalmente las agroindustrias proporcionan elementos nutritivos para la población rural especialmente.

El apoyo y desarrollo de la agroindustria, hará la diferencia en los países altamente agropecuarios. Entonces, no podemos considerar definiciones similares entre agroindustria e industria. La diferencia se debe a que la agroindustria utiliza materias primas biológicas directamente del sector agropecuario, que son perecibles, variables y temporales (agroindustria panelera), mientras que la industria no (industria de calzado que utiliza las pieles de animales curtido o industria de harinas que utiliza materias primas deshidratadas).

La perecibilidad, se refiere a la fragilidad y velocidad de deterioro de las materias primas, lo que significa que debe tenerse especial cuidado en la manipulación, el almacenamiento y la transformación inmediata. Por ejemplo: la caña es perecible, por lo que debe entrar al proceso de transformación en el menor tiempo, de lo contrario empieza a degradarse.

La temporabilidad de las materias primas obedece a que únicamente están disponibles al final de cada cosecha, según las condiciones de tiempo y de producción.

Variabilidad, se refiere a la cantidad y calidad de las materias primas. La cantidad es incierta según los cambios meteorológicos y productividad. Mientras que la calidad se refleja en tamaño, grado de madurez, y otros aspectos referentes al producto (materia prima) a utilizarse en un proceso agroindustrial. La agroindustria, puede ser tan grande o pequeña como la industria (caso de la agroindustria azucarera conocidos como ingenios azucareros o ciertas agroindustrias paneleras pequeñas o medianas que operan con más de 50 personas llamados ingenios paneleros). El tamaño, depende del número de empleados en la empresa y son importantes por que ayudan significativamente al crecimiento económico de un sector y país, transformando productos agropecuarios en materiales de consumo e incorporando valor agregado a materias primas que entran al proceso según el grado de transformación.

2.2 Definiciones de agroindustria

El término agroindustria ha sido producto de varias definiciones e interpretaciones. A finales de 1950, Ray Goldberg acuñó el término “agribusiness”, que en español es Agronegocios se refiere a la “suma total de las operaciones involucradas en la manufactura y la distribución de la producción agropecuaria, operaciones de la producción en el campo; en el almacenaje, procesamiento y distribución de los commodities agrarios y las manufacturas hechas con los mismos (Zylbersztajn Decio, 2017). El sector agropecuario y el industrial no son dos economías separadas que tienen una relación comprador-vendedor, conceptos que interpretan a la agroindustria (Davis y Goldberg, 1957). Un agronegocio, es una línea de negocios que se enfoca en el procesamiento, almacenamiento, distribución, comercialización y venta minorista de productos utilizados en la agricultura. La interacción de la industria con los agronegocios es relevante; los agronegocios relacionan componentes de agricultura y

alimentación, finanzas y distribución, es la relación entre producción agropecuaria y comercialización para la transformación. Los agronegocios, contempla actividades de mercado son parte integral del desarrollo agrícola y rural (The World Bank, 2010), incorpora el sector de producción agropecuaria, transformación de alimentos y comercialización.

Un agronegocio involucra múltiples cadenas de suministro o valor desde la producción hasta la distribución, comercialización y consumo (Van Fleet, 2016). La agroindustria como actividad de industrialización o transformación de los productos agropecuarios, es un agronegocio con acción en el proceso (manufactura) de cualquier grado de transformación de la materia prima. Agroindustria, es entendida en términos generales como las actividades posteriores a la cosecha relacionadas con la transformación y preservación (da Silva et al, 2013).

La agroindustria surge de la unificación entre agricultura con la industria y se define como la industria basada en la elaboración de materias primas agrícolas y que es un medio de acrecentar el valor agregado interno de una materia prima mediante la manufactura (Austin, 1981). Procesos de producción, almacenamiento y transformación industrial de materias primas de origen agropecuario. Establecimiento de empresas y cadenas productivas para desarrollar, transformar y distribuir insumos específicos y productos en el sector agrícola (Tartanac, 2009). Actividad de beneficio, procesamiento o transformación de productos generados por los subsectores agrícola, pecuario, forestal y pesquero” (da Silva et al, 2013) donde el contexto de investigación, innovación, tecnología con sustento de económico y social deben ser acordados y priorizados.

Lo señalado nos impulsa a definir la agroindustria en sentido amplio y participativo como: el lugar fijo e inteligente donde ocurren una serie de operaciones continuas de producción y transporte de materias primas, procesamiento, distribución y comercialización controlados por un sistema organizativo (empresa) de manera sostenible; donde el nivel de conocimiento sobre las operaciones aumenta la posibilidad de ser eficientes para garantizar crecimiento y rentabilidad para consolidarse en el mercado bajo criterios de sostenibilidad y de biocomercio bajo el paraguas de economía circular.

El Ecuador es un país de producción primaria y exporta recursos naturales como petróleo, banano, camarón, cacao, flores atún, palma africana, caña para azúcar (Camino et al, 2016; Pino et al, 2018; BCE, 2023) pero, no se menciona caña utilizada en la actividad panelera. Respecto al cultivo de la caña de azúcar en Ecuador existen más de 110.000 hectáreas de las cuales entre 80.000 a 85.000 hectáreas destinadas a la producción de azúcar y, lo restante (15.525 a 17.870 hectáreas) para otros usos, producción de etanol artesanal y panela (FENAZUCAR, 2020; ECObusiness, 2020, ESPAC, 2020) y para panela 30.602 hectáreas utilizadas aproximadamente por 519 unidades de producción o agroindustrias paneleras con dos productos elaborados (panela y azúcar natural o azúcar no centrifugado) (Quezada et al, 2021) donde problemas de calidad e inocuidad, rentabilidad, productividad, competitividad y reconocimiento social y falta de tecnología son cuestionados (Quezada W., Quezada W.D, & Molina A., 2018; Quezada et al, 2020).

Optimizar los procesos y sus biomásas con algún nivel de agregación de valor ha cobrado relevancia en directivos para el éxito, siempre y cuando se genere valor económico en la misma para impulsar su desarrollo (Muñoz & Robaina 2023). El proceso de producción de la agroindustria panelera incluye miel de caña hidrolizada, panela y azúcar natural, los dos últimos conocidos como “azúcar sin refinar no centrifugo (UNCS)” (Vera et al, 2019) y comprende actividades de cultivo, corte y transporte de caña, extracción del jugo, limpieza de no azúcares, evaporación, concentración, moldeo (panela), envasado y comercialización (Quezada et al, 2021). En la actividad panelera no se incluye el recurso intangible como alternativa de mejora y no se practica economía de escala, no se cuantifican los productos (balances de masa y energía) y los costos de fabricación, pese a que opera todo el año. Se requiere de nuevas oportunidades (estrategias de exploración) y, por otro lado, búsqueda de ventajas de carácter inmediato (estrategias de explotación) (Nicolau D., Expósito, M. & Tomás J., 2015), de bioeconomía con enfoque holístico (Rodríguez A.; Mondaini A., & Hitschfeld M., 2017) para una agroindustria panelera rentable, competitiva y sostenible, sumado a estrategias de control y mejoramiento de bienes y servicios y aumento en la rentabilidad de la empresa (Cepal, 2021) de forma permanente.

La importancia, solidez, sustentabilidad, practicidad y aporte del concepto de agroindustria en el sector alimentario es un sistema integrado, es pragmático y es filosófico por sus razonamientos y reflexiones encaminados a una explicación real de acontecimientos científicos, tecnológicos y ambientales que suceden. En donde la generación de ciencia y tecnología, son necesarias.

En este sentido, si no se identifican los problemas del sistema agroalimentario de forma integral (agroindustria), toda acción estaría condenada al fracaso, tal como sucede en muchos países en desarrollo del centro y sur de América.

2.3 Definición de agroindustria panelera

En realidad, las definiciones anteriores son válidas, fortalecen y se convierten en importantes, al hablar de materias primas, procesamiento y actividades de comercialización a través de un sistema organizativo para su ordenamiento que bien se debe ajustar para el sector panelero.

La agroindustria panelera debe funcionar en la formalidad para convertirse en una empresa que produce caña, la procesa y comercializa sus derivados, aportan al desarrollo con empleo, con alimentos suficientes sanos e inoctrinos y con divisas al país. Entonces, la agroindustria panelera es un subsector del sector agroindustrial entendida como una unidad de producción que corresponde a un sector económico que incluye actividades relacionadas con la producción de caña, transforma y comercializa productos alimenticios (caña, jugos, edulcorantes y cachazas) y el bagazo para otros productos de la industria, (alimento animal, combustible, papel, aglomerados, otros) que respondan a un sistema de economía circular sostenible con beneficios económico, social, tecnológico y en la alimentación para una verdadera seguridad y soberanía alimentaria del país. La definición de agroindustria panelera debe sustentarse en la calidad e inocuidad, sostenibilidad y competitividad; alcanzando un equilibrio de ganar – ganar (mensaje ético de cuidado con el entorno y un acercamiento holístico a la vida con la sociedad) entre estado, sociedad, empresa y ambiente, bajo el lema de sostenibilidad.

De lo analizado, podemos resumir que la agroindustria (AI) es una agroindustria rural (AIR) y la agroindustria rural panelera (AIRP), distribuida a lo largo y ancho de los países (oriente de Asia, Centro y Sur de América) debe convertirse en un sinónimo de integración y desarrollo de las zonas rurales, de lucha contra la pobreza, valorización de su producción y actividad dinámica creando empleo,

aportando ingresos y alimentos y contribuyendo a la seguridad y soberanía alimentaria de un país y región en zonas aisladas dentro de un proceso de globalización.

La mayoría de la agroindustria panelera (AIP) o agroindustria rural panelera (AIRP) operan en la informalidad, razón por la que no pueden ser consideradas como organización o empresa. Las actividades de elaboración de edulcorantes son más de carácter artesanal o tradicional por el escaso desarrollo y tecnología utilizada en toda la cadena de producción (agrícola, transformación-comercialización), realidad que se manifiesta en problemas de productividad.

El concepto de AIP está relacionado con el valor agregado que se proporciona a la materia prima. La importancia de esta agroindustria radica en la generación de trabajo y producción de alimentos nutritivos consumidos en sectores rurales y urbanos contribuyendo al bienestar social, económico y ambiental.

Las agroindustrias juegan un papel importante en el desarrollo agroindustrial incorporando sectores de la producción primario, de fabricación y de comercialización de manera holística y su equilibrio entre ambiente, sociedad, empresa y estado. La agroindustria panelera es una salida para el cultivo de la caña de azúcar para otros usos (fabricación de miel, panela, azúcar no centrifugado y alcohol) y determinante para su desarrollo.

2.4. Diagramas de proceso aplicados a la agroindustria panelera

Optimizar los procesos en la agroindustria rural panelera (AIRP) es una gestión que requiere la participación de diferentes organismos, sean estos estatales, privados y productor. Desarrollar procesos seguros, con alta eficiencia de equipos, genera menor cantidad de residuos y se obtiene mayor cantidad de productos de calidad con menor cantidad posible de materia prima (Simons, 2017). Es esquematizar acciones a tomarse en el proceso de obtención de edulcorantes de calidad, naturales y seguros.

La optimización como mejora de los procesos tradicionales, productos y servicios con índices de calidad contribuyen a reducir los impactos en salud, nutrición y medio ambiente (Suppen Nydia and van Hoof Bart, 2005). Proponer y diseñar rutas y caminos para la optimización, flujos de proceso, control de variables y balances de materia en toda la etapa de fabricación, conduce al mejoramiento en la calidad de los productos finales. Los esquemas de los flujos presentados son productos de estudios realizados en diferentes investigaciones y que deben

ser objeto de nuevos estudios con fines de mejora. La figura muestra una propuesta del flujo para la optimización de una panelera tradicional en diferentes etapas.

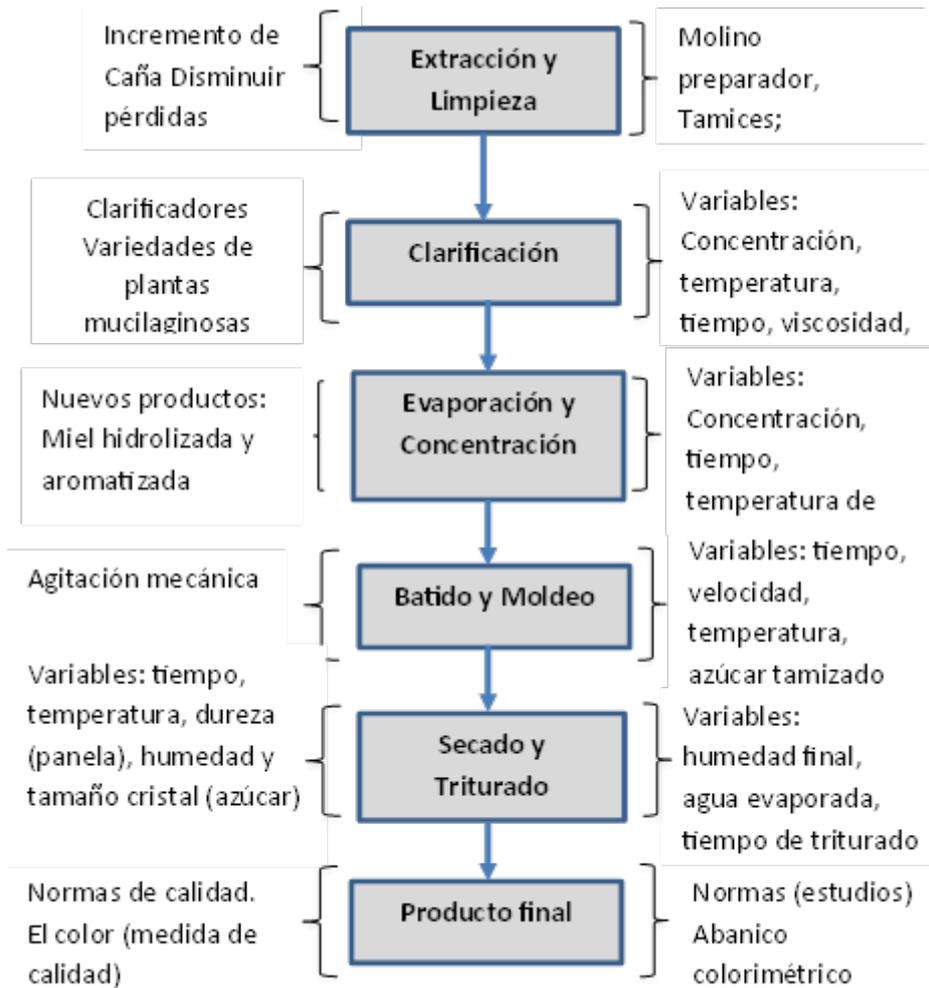


Figura 2.1. Flujo, etapas y variables de estudio para la optimización

Solucionar problemas del sector panelero es prioritario y deben corregirse para afianzar la producción y productividad. Es necesario pensar de manera estratégica, para sobrellevar y cambiar los ineficientes sistemas de producción de estas unidades de producción, que son causa de la escasa diversificación de productos y su baja calidad. Se precisa proporcionar medidas que favorezcan el entorno económico, tecnológico, ambiental social desde el punto de vista de la aceptación del producto y consumo. Llegar a la eficiencia productiva en el sector, requiere de acciones ejecutivas donde el manejo inteligente de todos los recursos se realiza de forma eficiente. Lo tradicional implica retraso y escaso desarrollo, la figura siguiente muestra la realidad del sector.

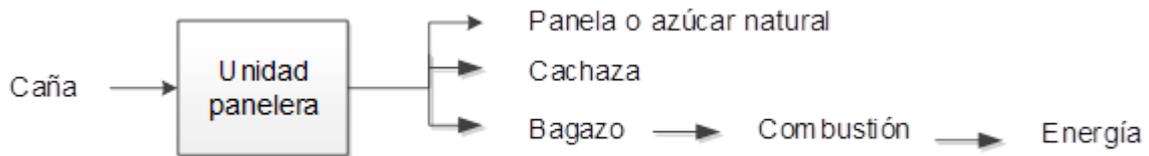


Figura 2.2. Flujo tradicional de la caña en el sector panelero

Proponer nuevas alternativas de mejora en cada una de las actividades según los problemas en el sector agroindustrial panelero, requiere de observación, investigación e innovación para solucionar problemas del sector. Las alternativas de diversificación en la agroindustria panelera son importantes para dinamizar el sector.

Actividad de trabajo 2.1.

De acuerdo a lo indicado realice una lluvia de ideas para la fabricación de nuevos productos a partir del proceso de transformación de la caña de azúcar para otros usos (agroindustria panela, de alcohol artesanal) y que debe incorporar a la propuesta de la figura siguiente.

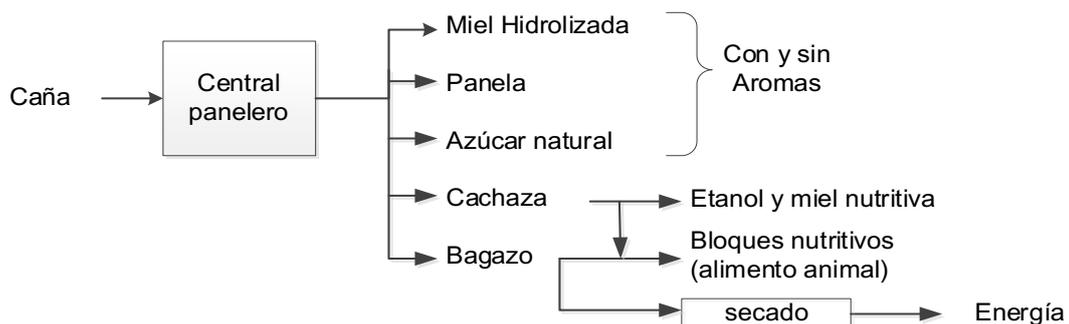


Figura 2.3. Alternativa de flujo de nuevos productos para la diversificación

La diversidad de productos a elaborar en una agroindustria panelera rural (AIRP) depende del grado de conocimiento desarrollado para el sector y de las oportunidades del mercado actual.

El éxito o fracaso del sistema, estará en función de los recursos disponibles del cañicultor panelero, ruralidad y topografía de ubicación de la unidad panelera, producción agrícola, aspectos sociopolíticos, jurídicos y costos de inversión; condiciones determinantes que pueden limitar el proceso de optimización. La figura siguiente muestra el proceso simple (una o dos pailas) de una agroindustria panelera tradicional en el Ecuador.

La eficiencia de una panelera y del mercado, sumado trabajos de purificación del jugo (limpieza y clarificación) y control de variables en concentración de jugos,

mejora la calidad del producto final. Las tres principales causas que afectan en los rendimientos de panela y sostenibilidad de la actividad son:

- a. Grado de madurez de la caña que se utiliza y que afecta a la concentración de sólidos solubles en la solución (grados brix iniciales del jugo).
- b. Porcentaje de extracción del jugo que se obtiene la caña en el molino
- c. Concentración final del producto que se obtiene.

Actividad de trabajo 2.2.

Valore otras causas que afectan el rendimiento y calidad del producto final, considerando que la mayoría de unidades paneleras operan con una a tres pailas en condición tradicional (artesanal), según la figura.

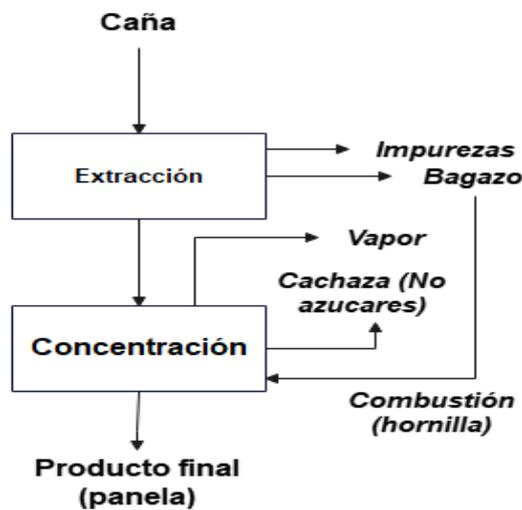


Figura 2.4. Diagrama tradicional de bloques para la obtención de panela

El proceso aplicado en la agroindustria rural es simple y prospera (nuevas actividades) de acuerdo a la calidad del producto (figura 2.5) y consecuentemente de la inversión, demanda y exigencias del mercado.

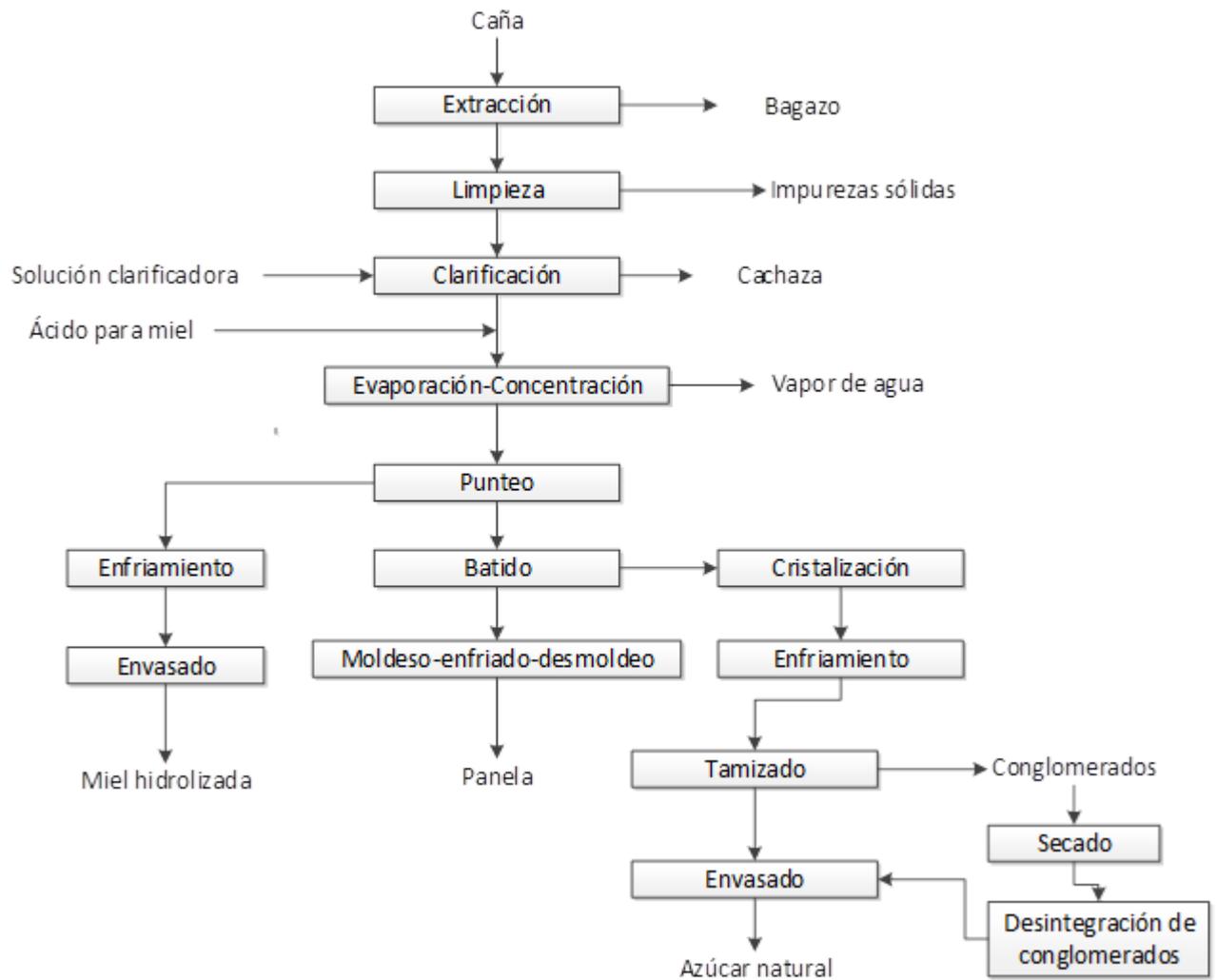


Figura 2.5. Diagrama (bloques) de un proceso integrador de miel, panela y azúcar natural

Actividad de trabajo 2.3.

Realice el diagrama (bloques) de proceso para producir miel, panela y azúcar natural (azúcar sin refinar no centrifugado-UNCS), considerando el proceso de la figura siguiente.

Su desarrollo implica observación, investigación, innovación y tecnología; que involucra todos los sectores para alcanzar procesos seguros y eficientes, que aprovechen al máximo la materia prima sin consumir grandes cantidades de energía, que generen pocos residuos y que contribuyan con el desarrollo sostenible del país (Lutze, P.; Gani, R. & Woodley, J. M., 2010). La integración “problemática ambiental y la problemática energética” (Cubillos, y Estenssoro-Compilador, 2011; Quezada et al, 2022-Chapter 5; Chapter 11) y automatización de los procesos, requiere la intervención y participación de todos los recursos,

para desarrollar el sector. En la figura siguiente se muestra una propuesta del flujo integral para una agroindustria panelera integradora que se ajuste y aporte al desarrollo del sector rural panelero del país.

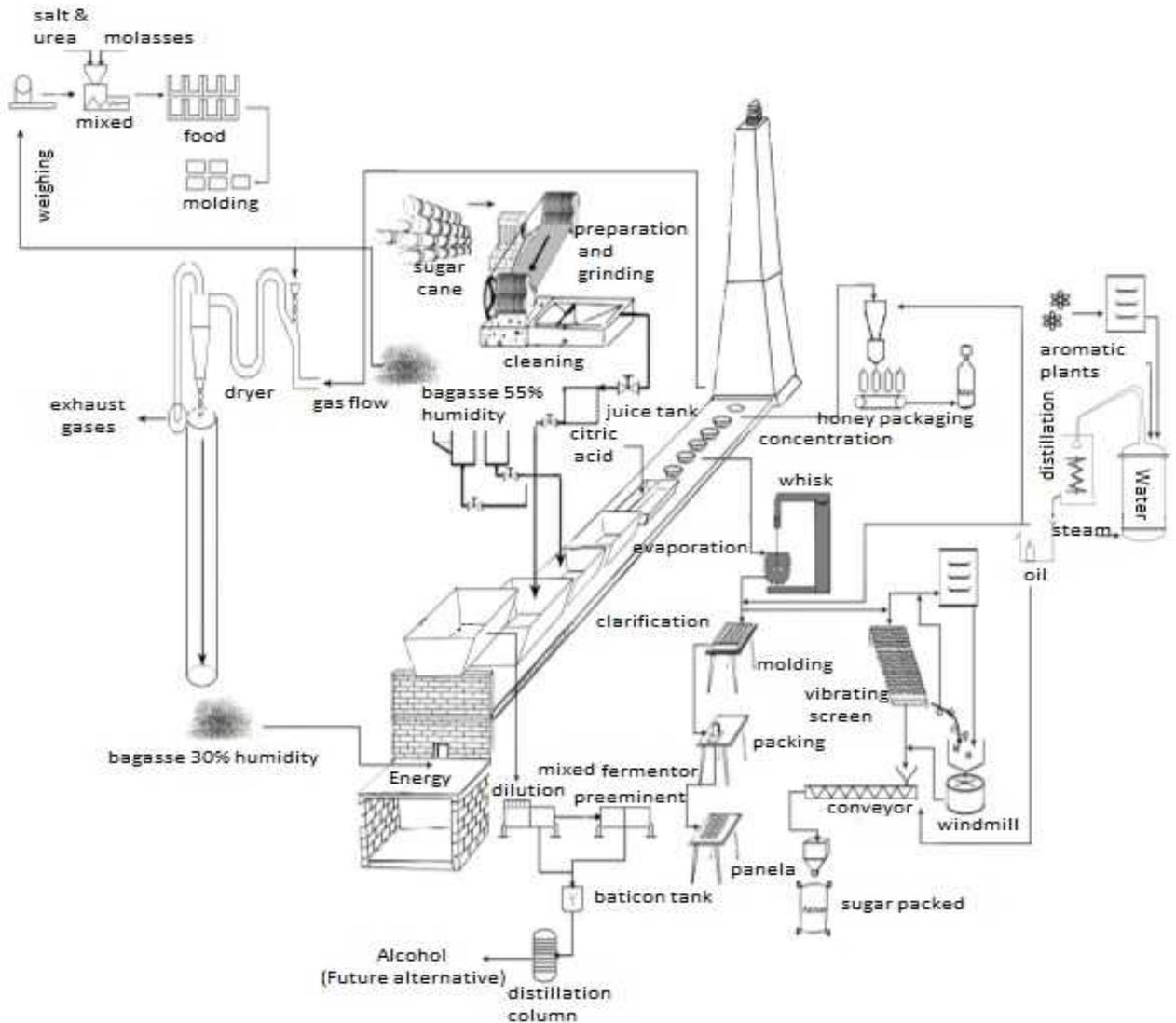


Figura 2.6. Diagrama (ingenieril) del flujo del proceso de una agroindustria panelera con fines de diversificación

Los procesos agroindustriales paneleros requieren de nuevas propuestas que se ajusten al sector rural donde el aprovechamiento de los recursos disponibles a bajo costo hará la diferencia para alcanzar calidad, rentabilidad y competitividad serán aspectos para su desarrollo.

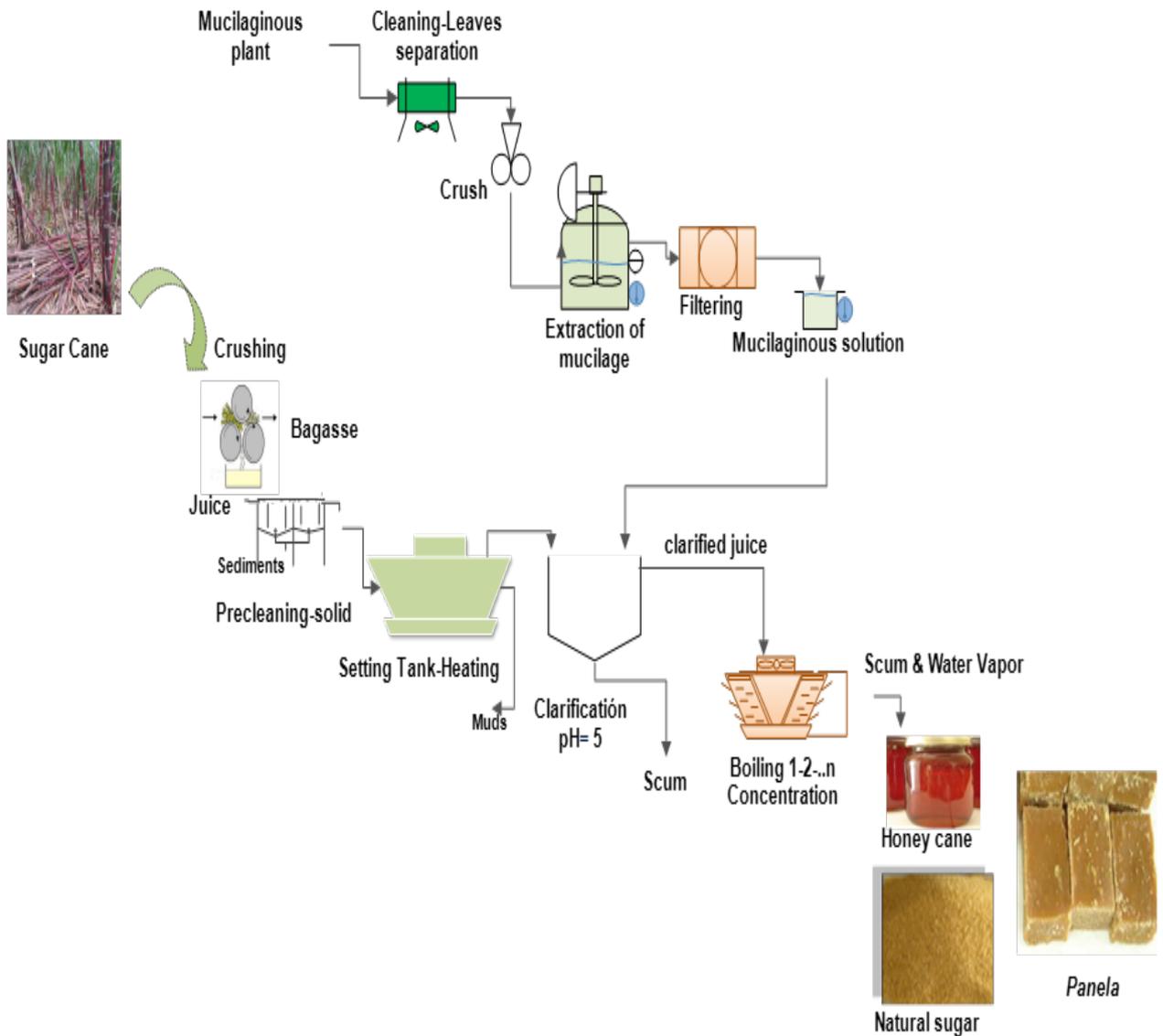


Figura 2.7. Propuesta para proceso de elaboración de miel, panela y azúcar natural-Clarificación natural

Desarrollar procesos seguros, eficientes (equipos), disminución de la carga de residuos y obtener mayor cantidad de productos con el menor uso posible de materia prima implica políticas de estado, investigación e inversión

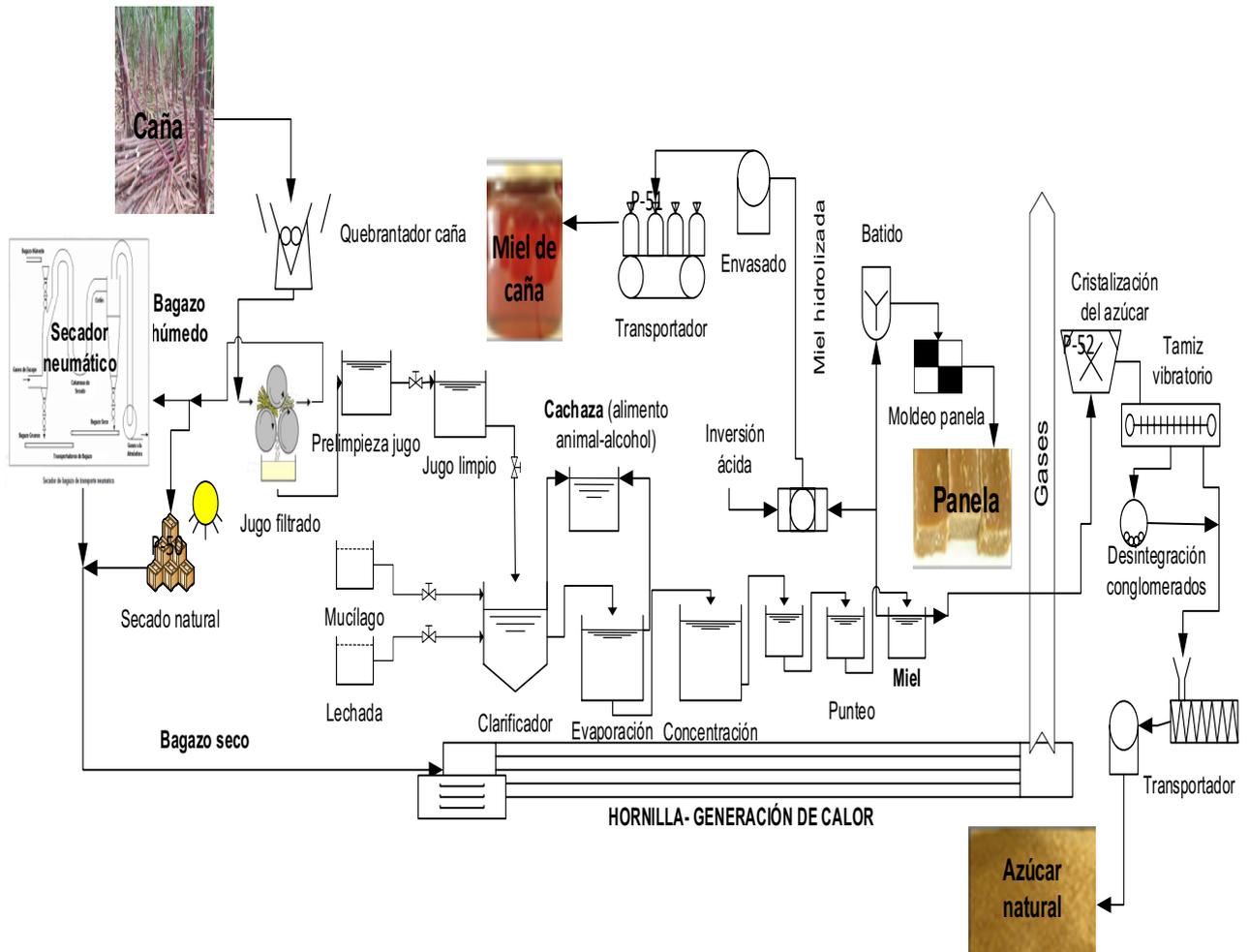


Figura 2.8. Proceso integral de elaboración de miel, panela y azúcar natural-Clarificación mixta

Las alternativas que se proponen son orientadas a nuevas investigaciones y con criterio técnico, económico y ambiental alcanzar mejoras en el sector agroindustrial panelero.

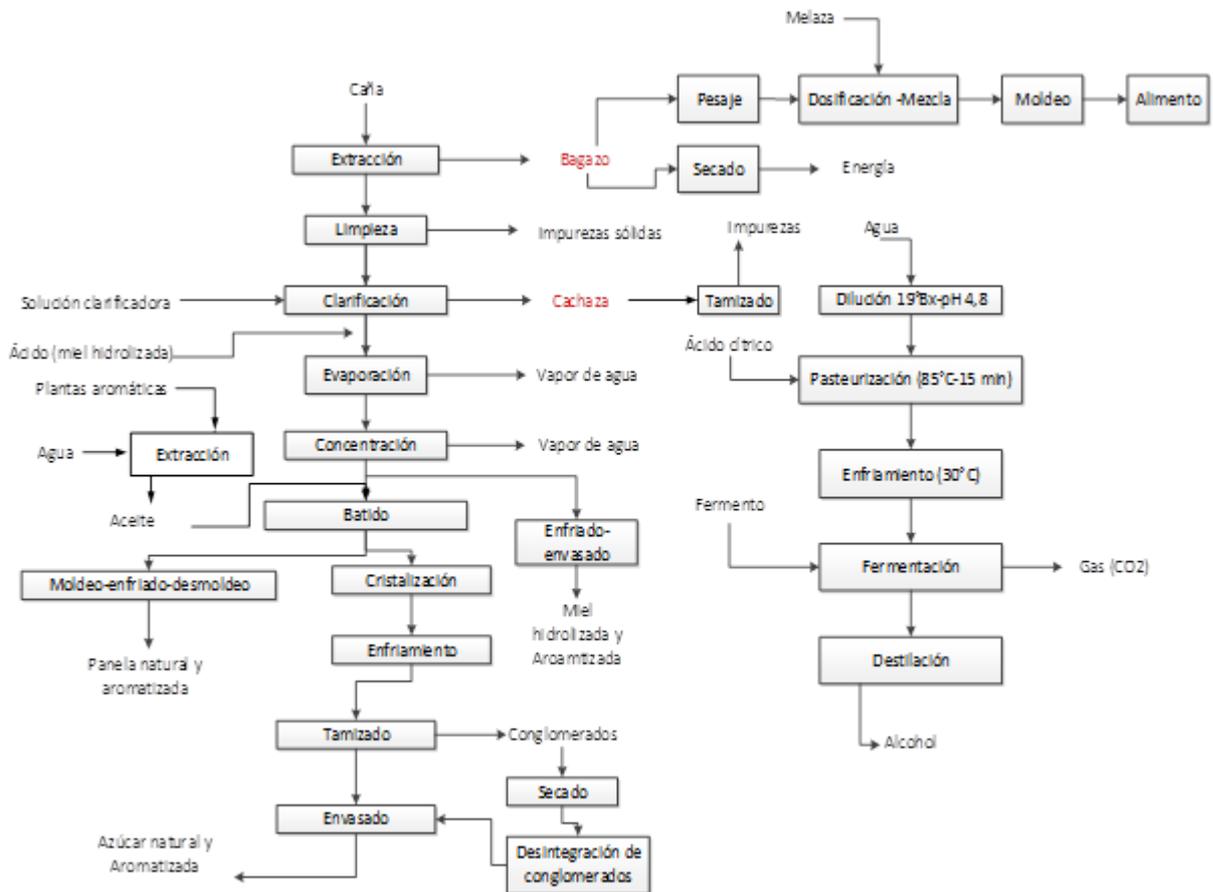


Figura 2.9. Diagrama de bloques del proceso de una agroindustria panelera diversificada y mejorada

Ajustar variables en cada actividad del proceso, implica implementar el control para valorar la producción y con ello la rentabilidad y sostenibilidad de la unidad de producción. La figura muestra el control de variables en ciertas etapas del proceso. La aromatización de edulcorantes es una alternativa viable que debe ser investigada para bebidas calientes aromatizadas.

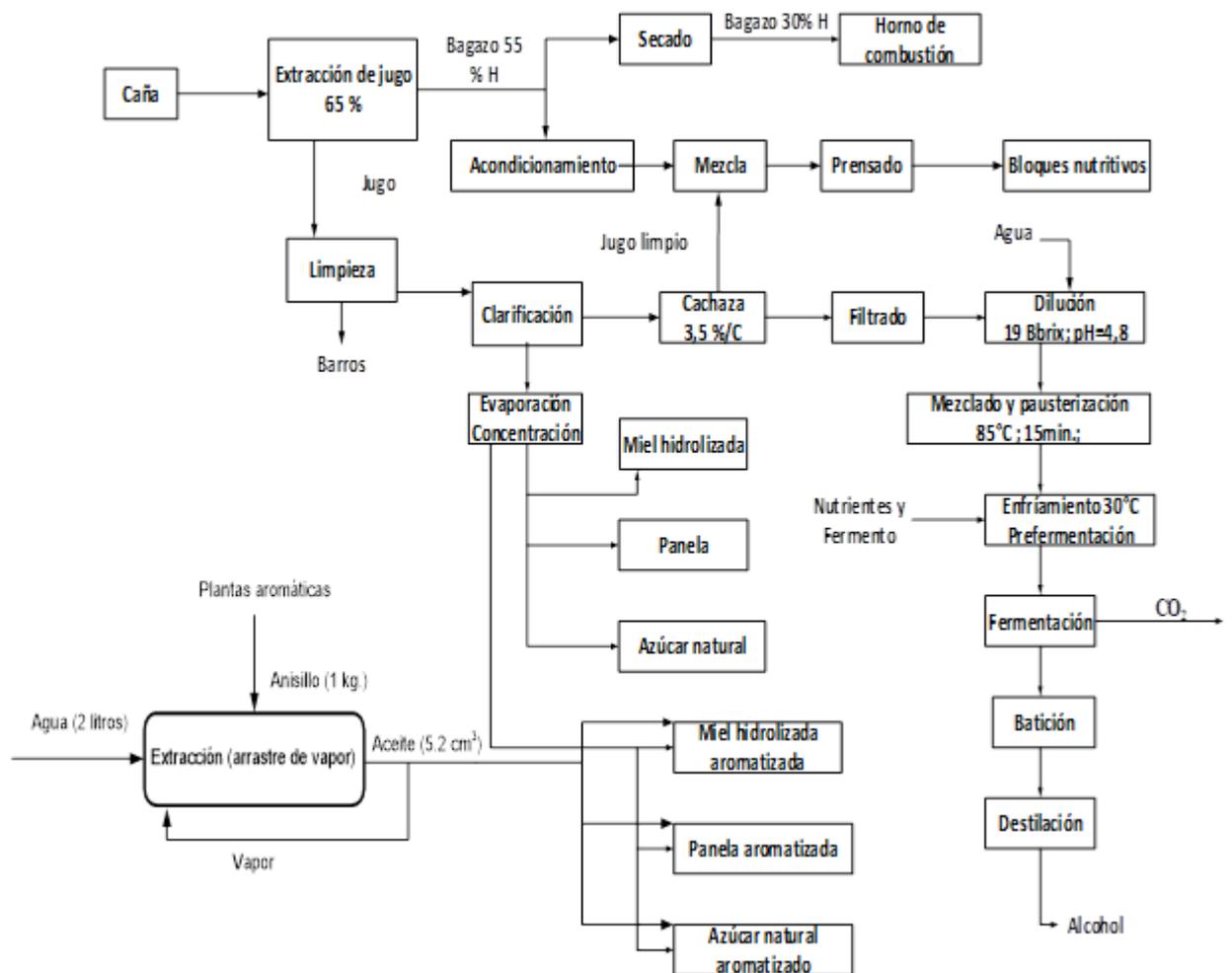


Figura 2.10. Diagrama del proceso con algunas variables de control

La investigación como proceso de indagación con fines de mejora y sostenibilidad, debe definir las debilidades y proponer alternativas de estudio que viabilicen mejoras al sistema con fines de potenciar su actividad. Las oportunidades de mercado del sector son amplias y deben generar inversiones seguras y rentables. En la figura se propone nuevas investigaciones para el sector.

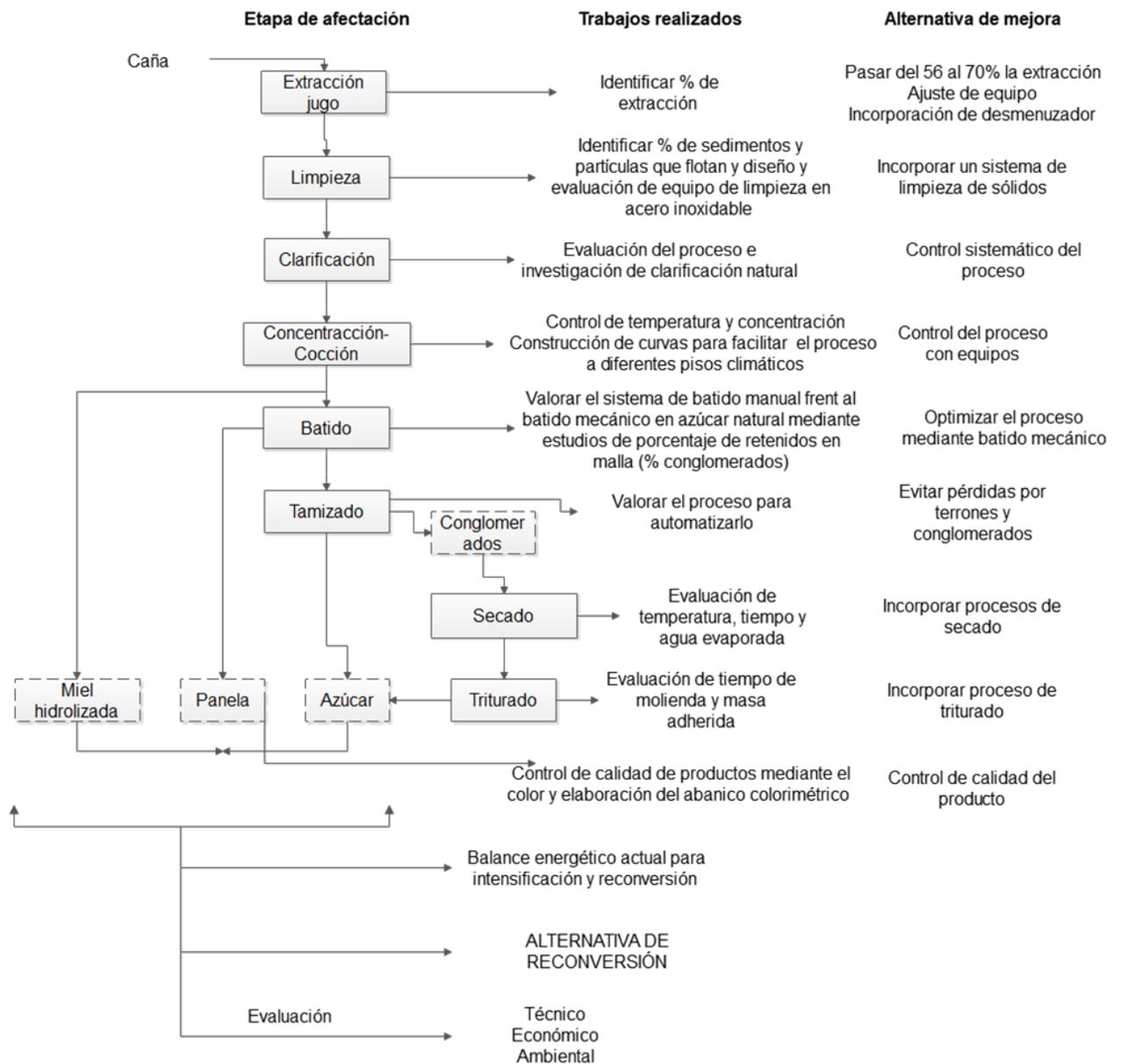


Figura 2.11: Propuesta de estudio para intensificar la agroindustria panelera con importancia en evaluaciones: técnica, económica y ambiental

Actividad de trabajo 2.4.

De acuerdo a la figura anterior, proponga un diagrama donde aparezcan variables de investigación para control en cada etapa.

Puntualizar necesidades de mejora y de intensificación en cada actividad del proceso de elaboración de edulcorantes, donde los desechos (biomasas) adquieran valor agregado.

En la siguiente figura se evidencia el aprovechamiento de cogollos y hojas producto del corte de la caña; bagazo en la etapa de extracción. En la purificación

(limpieza y clarificación), limpieza (barros, espumas, hojas, insectos, etc.) y clarificación (cachazas negras y blancas) en el proceso de calentamiento, evaporación y cocimiento (mieles); cenizas en etapa de combustión y aguas de lavado de moldes de panela especialmente.

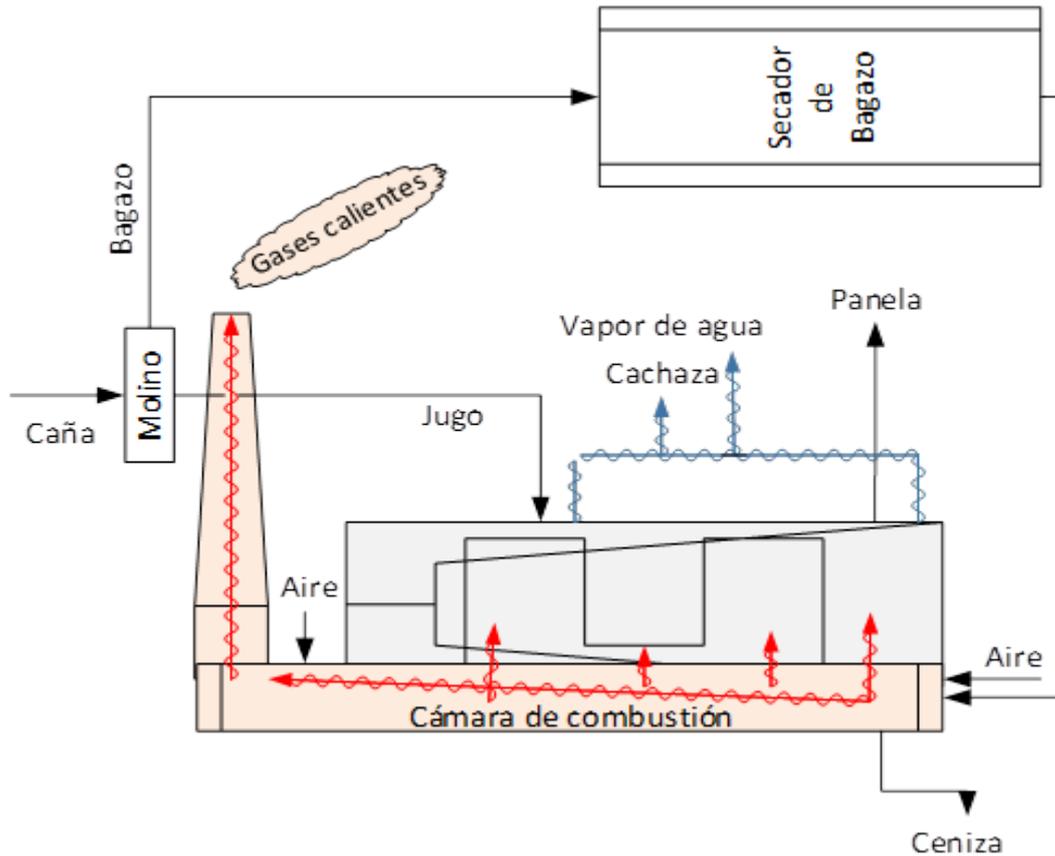


Figura 2.12. Diagrama ejemplificador de una panelera

La actividad agroindustrial panelera con sus productos miel, panela y azúcar natural, tiene como objetivo fundamental, lograr productos con calidad, inocuos y con valor agregado a través de actividades sostenibles “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus necesidades propias” definición de según las naciones Unidas 1987. Deben ser eficientes, productivas y rentables, que garanticen el reconocimiento ambiental y económico sumado a un enfoque social.

Gestionar la energía en el sector agroindustrial panelero significa que se apremia principios de eficiente con enfoque ambiental; esto implica que el panelero debe agendar sus actividades considerando que el producto fácilmente se ajusta a

una agroindustria bioproductiva y de biomercado donde la calidad del producto sea imagen para alcanzar rentabilidad y competitividad. La figura siguiente muestra un primer acercamiento de gestión energética para el desarrollo de la agroindustria panelera

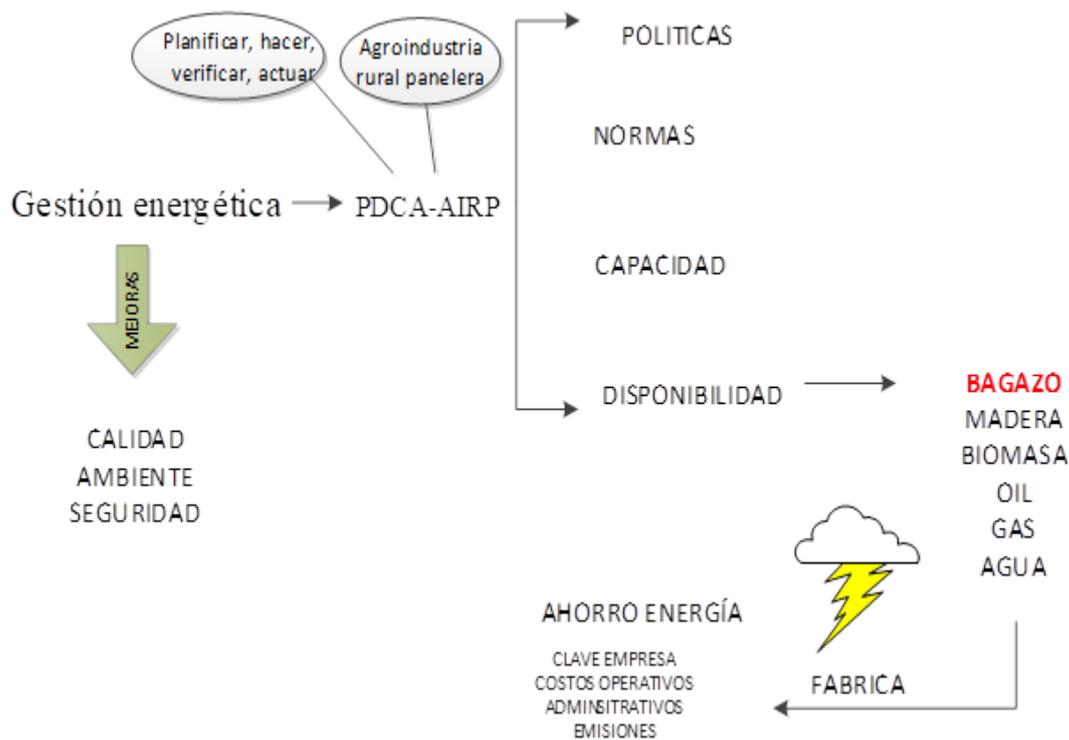


Figura 2.13. Síntesis de un modelo de gestión energético

Propiciar el bienestar, mantener criterios de sostenibilidad y competitividad en un mercado globalizado y exigente de productos naturales y orgánicos, es una realidad. El conocimiento busca la perfección para mercados exigentes que demandan inocuidad y calidad de servicios y productos. La calidad de alimentos es ya un hecho, como condición de bienestar social

Las empresas hoy incorporan nuevas tecnologías en procesos y equipos para modernizar sus plantas con la finalidad de mantenerse en el mercado.

Las figuras siguientes muestran esquemas de trabajo a investigar para la deshidratación del bagazo, combustión en la hornilla (generación de calor) necesario para el calentamiento y concentración de jugos.

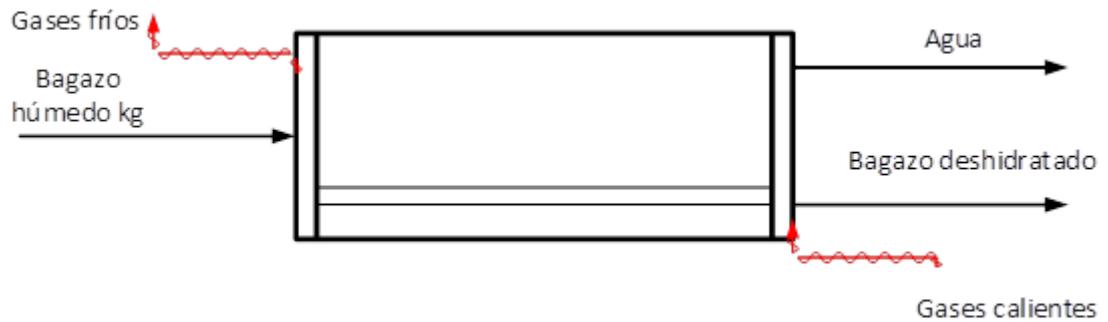


Figura 2.14. Diagrama para el secado bagazo

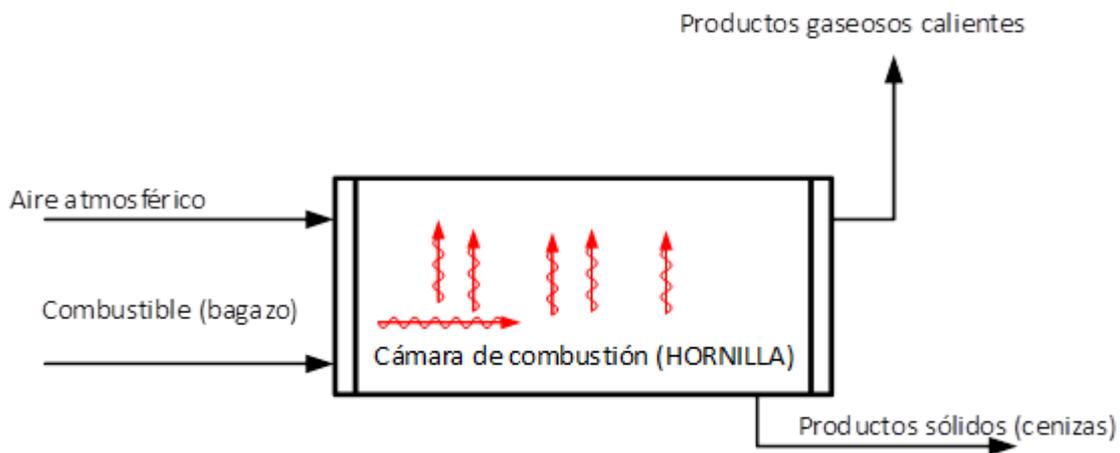


Figura 2.15. Diagrama de combustión del bagazo

En la agroindustria panelera ecuatoriana se produce panela y azúcar natural. Estos productos se conocen como “concentrado de panela y panela en polvo” (Espinal, 2005) y la producción de miel de caña, se realiza de forma eventual. Para obtener edulcorantes de calidad como azúcar no refinado en bloque (panela), granulado (azúcar natural) o líquida (miel de caña hidrolizada por inversión ácida o enzimática) se requieren procesos mejorados, adecuadas labores agrícolas y buenas prácticas de manufactura, con sus respectivos balances y control de variables de producción; junto a una conveniente administración con capacidades empresariales y de comercialización del producto.

Para obtener miel, panela y azúcar natural, después de la cosecha y transporte de caña a la fábrica, se realiza la extracción del jugo, limpieza y clarificación, evaporación, concentración y envasado del producto terminado, etapas importantes para certificar calidad e inocuidad del producto. Las etapas de clarificación natural, concentración (punteo final de jugo concentrado) y control

de variables como: pH, temperatura, concentración y tiempo del proceso, son importantes para resaltar características de calidad como la viscosidad, turbidez, brillo, color, sabor y olor y estabilidad (Quezada et al 2023), que contribuyen a asegurar la calidad e inocuidad y su desarrollo. Si bien, a nivel de factorías la agroindustria panelera ecuatoriana es tradicional, artesanal y/o rudimentaria, existen oportunidades para mejorar los procesos y el control de variables es indispensable para su calidad y desarrollo.

Tecnificar los procesos en especial en etapas de limpieza, clarificación, concentración son temas que deben abordarse con mayor dedicación. El uso de sistemas de evaporación y concentración de jugos de múltiple efecto para mejorar la eficiencia térmica y productividad en panelea (García et al, 2010) son alternativas tecnológicas viables que se vienen desarrollando en Colombia para alcanzar competitividad.

El uso de evaporadores simples en la agroindustria panelera es una alternativa viable y que merece investigación. La figura muestra un evaporador cerrado de simple efecto ajustado a la agroindustria panelera (CIDE-COLOMBIA), equipo fabricado para el proyecto “Bio Alimentos Ecuador” “Sistema móvil para producción de panela pulverizada”.



Figura 2.16 Sistema móvil para panela pulverizada (evaporador simple efecto)
(Tomado: CIDEColombia).

La alternativa debe permitir la intensificación del proceso y se ajusta para la producción de miel hidrolizada, que para azúcar natural comúnmente conocido como panela granulada o pulverizada (alternativa que merece mayor investigación). El esquema de funcionamiento del sistema de evaporación cerrado, se muestra en la figura siguiente.

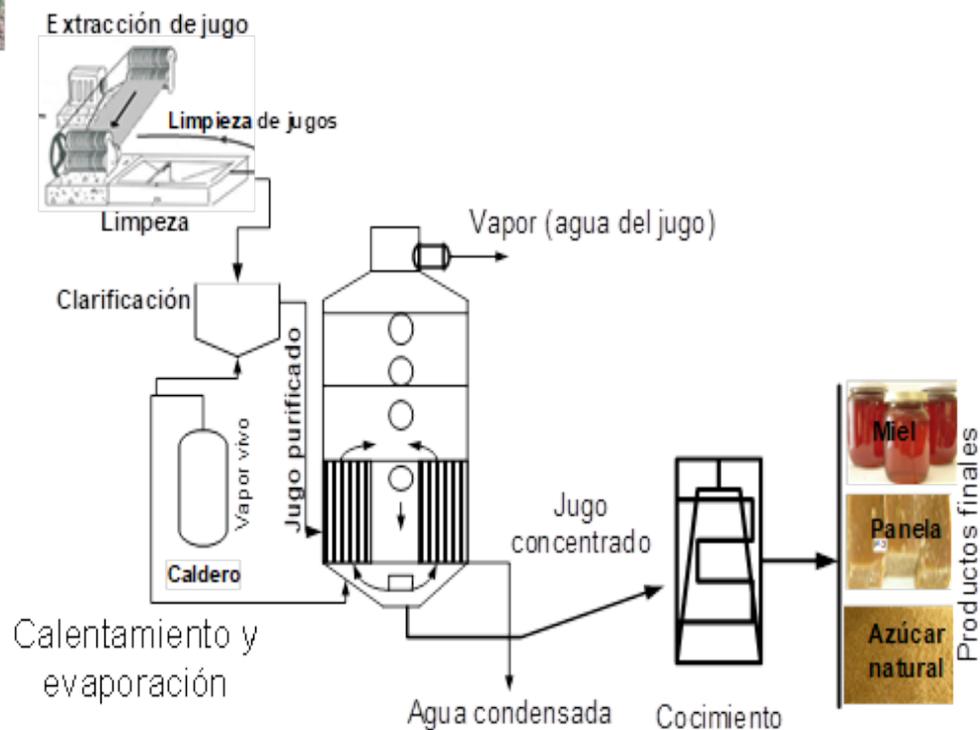


Figura 2.17. Esquema con evaporador cerrado.

El azúcar natural actualmente fabricado en la mayoría de países paneleros de Asia (India y Pakistán), Centro y Sur América (Colombia especialmente) se aplica el método natural (cristalización natural del azúcar, donde los cristales de azúcar nacen y crecen) y sucede en la zona lábil a sobresaturaciones entre 1.4 a 1.6. La oportunidad de aprovechar el vapor de agua obtenido del jugo (evaporadores cerrados) es amplia para otras actividades adicionales: aglomeración de bloques de bagazo-melaza para alimentación animal, concentrados de frutas, aprovechamiento de plantas aromáticas (aceites esenciales), entre otras.

En el esquema de trabajo con evaporador abierto, en la siguiente figura considera de 9 tinas, imagen tomada de una panelera de capacidad de 4 ± 1 tc/h), obteniendo producto final cada 20 a 30 minutos a partir de la primera sacada o punteada.

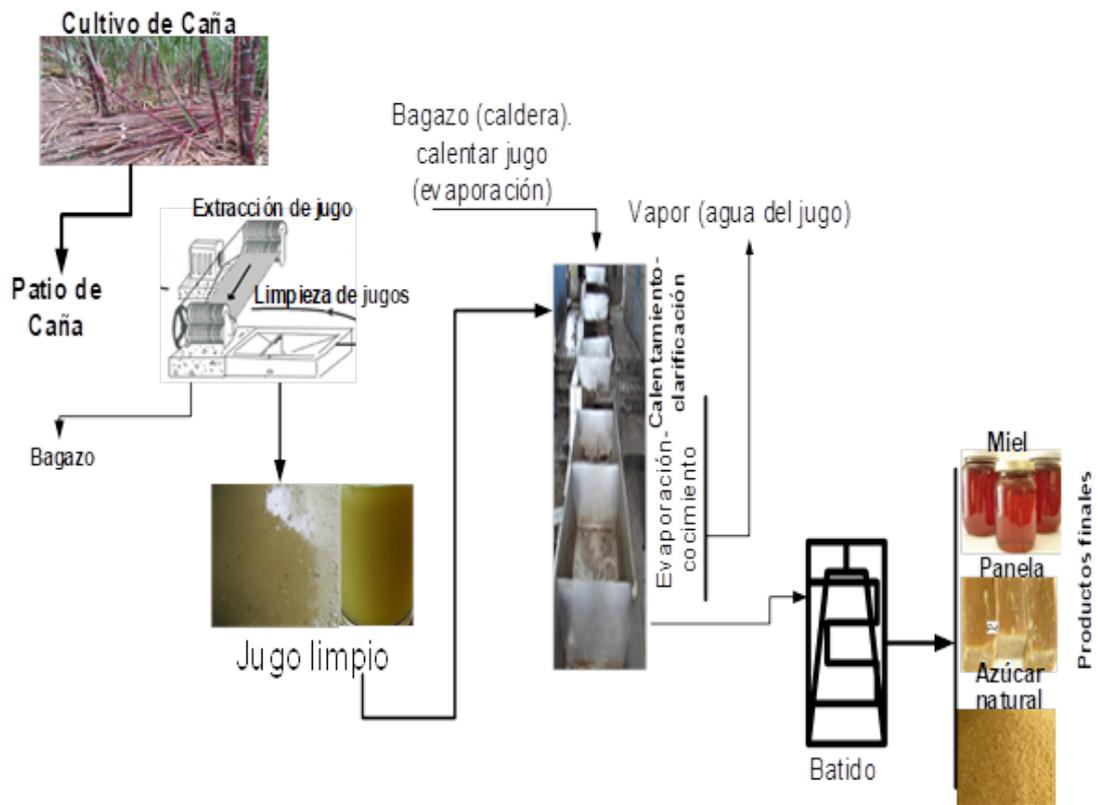


Figura 2.18. Esquema con evaporador con tinajas (sistema de evaporación abierto)

CAPÍTULO 3. CÁLCULOS BÁSICOS APLICADOS EN EL PROCESO

3.1 Índice de madurez y disponibilidad de caña

El abastecimiento de la caña de azúcar al lugar del proceso debe ser una acción planificada y controlada, que permita realizar ajustes en campo orientados a incrementar la producción y la productividad de la materia prima. Antes del corte, es necesario determinar el estado o índice de madurez (IM) de la caña debiendo ajustarse a valores entre 0,95 a 1 bajo los siguientes criterios: inmadura menor a 0,95; madura entre 0,95 a 1 y sobre madura mayor a 1; valores que se obtienen al dividir los brix de la parte superior de la caña para la inferior (Carlosama, 2009; Aguiar, 2001). En cañas maduras, otros valores con mayor rango varían entre 0,85 a 1 (Barona R., 2002). Por lo general, la caña destinada para elaborar los productos mencionados debe estar en estado de madurez óptimo (22 a 24 ° brix), limpia (libre de hojas y materiales extraños) y fresca (almacenada máximo 24 horas después del corte).

Para resolver el Índice de Madurez se utiliza un refractómetro para medir los grados Brix (sólidos solubles en la solución) del jugo de caña. Se valora los Brix de varias muestras de jugo de la parte inferior de las cañas (tomar a partir del tercero o cuarto cañuto desde la parte inferior) y los Brix de la parte superior del tallo (aproximadamente entre el 70 a 80% de la altura total del tallo). El IM, se calcula aplicando la ecuación siguiente:

Ecuación 3.1:

$$IM = \frac{Brix\ superior}{Brix\ Inferior} \times 100$$

Los resultados que deben responder a:

Caña tierna:	IM (menor a 85 %)
Caña madura:	IM (entre 85 a 100 %)
Caña sobre madura:	IM (mayor a 100%)

La capacidad de molienda de una agroindustria panelera (C_m) en toneladas/hora, está en función de la disponibilidad (D) de materia prima (caña) para procesar en la fábrica en toneladas/año, la ecuación de cálculo es la siguiente:

Ecuación 3.2:

$$Cm = \frac{D \left(\frac{t}{\text{año}} \right)}{8 \frac{h}{d} \times 5 \frac{d}{\text{sem}} \times 52 \frac{\text{sem}}{\text{año}}}$$

Para una fábrica que dispone de 1050 tc/año, la capacidad de procesamiento en tc/h y tc/d, será:

$$Cm = \frac{1050 \left(\frac{t}{\text{año}} \right)}{8 \frac{h}{d} \times 5 \frac{d}{\text{sem}} \times 52 \frac{\text{sem}}{\text{año}}}$$

$$Cm = \frac{1050 \left(\frac{tc}{\text{año}} \right)}{8 \frac{h}{d} \times 5 \frac{d}{\text{sem}} \times 52 \frac{\text{sem}}{\text{año}}} = \frac{1050 \frac{tc}{\text{año}}}{2080 \frac{h}{\text{año}}}$$

$$Cm = 0,5 \frac{tc}{h} = 4,0 \frac{tc}{d}$$

Si se opera 8 horas/día, la necesidad de caña será:

$$Cm = 0,5 \frac{tc}{h} = 4,0 \frac{tc}{d}$$

Ejemplo 3.1:

La producción de caña para una panelera al norte de la Provincia de Imbabura dispone de una superficie de 10 Ha, cuya producción es de 66 tc/ha. utiliza camiones con capacidad de carga de 4 toneladas con un tiempo de recorrido de 120 minutos ida-retorno incluido carga-descarga del camión y, que pueden realizarlo de 8H00 a 16H00. ¿Cuál es el tiempo en días y número de vehículos necesarios para transportar toda la caña a la panelera, si la capacidad de molienda es 2 t/h?, el trabajo debe ser la jornada laboral

Respuesta:

Cantidad de caña a trasladar 660 toneladas de caña

Número de horas hábiles de trabajo para camión: 8

Número de viajes que debe realiza el camión por día: 4

Cantidad de caña que traslada el camión por viaje: 4 toneladas

Cantidad de caña que traslada el camión por día: 16 toneladas

Número de viajes del camión: 165 viajes

Número de días utilizados por el camión= 41 días y un viaje extra.

La planta procesará toda la caña en 41 días.

Se necesita 1 vehículo y debe iniciar el abastecimiento un día antes del proceso.

3.2 Extracción del jugo y bagazo de la caña

3.2.1 Extracción de jugo

La extracción del jugo en el molino tiene por objeto separar el jugo por medio de la compresión de las masas a la caña, al hacerla pasar a través de tres mazas metálicas que giran en sentido contrario. Puntualizar acciones de mejora en esta etapa del proceso merece atención ya que de ella depende el rendimiento (porcentaje de extracción del jugo) y rentabilidad de la actividad a más de otras variables.

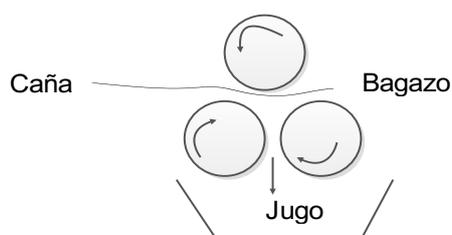


Figura 3.1. Giro de las masas de un molino panelero

La extracción de jugo en un molino se realiza por presión. El término “extracción” se utiliza para denotar el total de azúcar extraído por el tándem y se expresa como el porcentaje (por ciento) de azúcar presente en la caña. La optimización de extracción de los molinos se cualifica en función de los siguientes porcentajes.

Óptimo: 70%

Muy Bueno: superior al 60 y menor 70 %.

Bueno: 50-60%

Malo: Menor al 50 %

Sin embargo, a nivel de industria panelera se puede obtener extracciones entre el 20 hasta 70 %. Entre el 20 al 35 % se obtiene en trapiches donde los molinos son accionados por tracción animal entre 1 a 2 animales (burros, caballos, mulares o bueyes) en molinos de masas verticales. Superiores a estos valores se logra en trapiches donde los Molinos son accionados mecánicamente y

depende de la capacidad del molino, ajuste de masas, variedad de caña (cañas duras, semiduras o suaves).

Porcentajes de extracción del jugo del 65 % es importante mantenerlo en una agroindustria panelera y es propia de unidades de producción mejoradas. La cantidad de producto obtenido (jugo) y producto final (miel, panela o azúcar) depende del porcentaje de extracción en el molino o trapiche, concentración de sólidos solubles (grados Brix) del jugo y concentración final según el producto. En los molinos paneleros una extracción normal está entre 40 y 65% y la concentración de los sólidos solubles en el jugo crudo entre 16 y 22° Brix dependiendo de la variedad y grosor de la caña (Rojas, 1998; Aguiar, 2001; Velásquez et al, 2005).

El trabajo efectivo de un molino o trapiche está determinado por su tamaño y fuerza. La capacidad del molino (trapiche) está dada por el volumen o cantidad de caña que muele en un tiempo determinado. Esta capacidad se mide en toneladas de caña por hora (TCH).

La capacidad de molienda también depende del abastecimiento regular de caña al molino, velocidad de las mazas y separación entre las mazas (maza cañera – maza superior - maza bagacera). La disposición de las mazas se muestra en la figura.

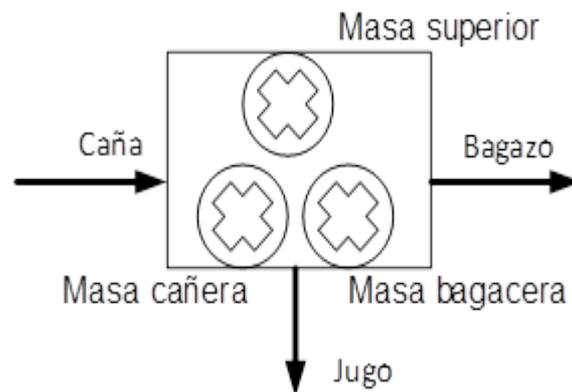


Figura 3.2. Ubicación de las masas en un molino panelero

La ecuación básica de la extracción y de la cantidad de jugo extraído en los molinos se expresan:

Ecuación 3.1:

$$C = Jc + B$$

$C = \text{caña}$

$Jc = \text{jugo caña}$

$B = \text{Bagazo}$

Ecuación 3.2:

$$\text{Jugo extraído} = \text{Caña} - \text{bagazo}$$

Se considera que la extracción (E), es la relación entre la cantidad de jugo que se extrae y la cantidad de jugo que contiene la caña.

Ecuación 3.3:

$$\begin{aligned} E &= (\text{jugo extraído}) / (\text{Jugo en la caña}) \\ &= (\text{Caña} - \text{bagazo}) / (\text{Caña} - \text{fibradelacaña}) \end{aligned}$$

En la etapa de extracción del jugo, se debe cuantificar las siguientes variables: cantidad de caña en kilogramos, determinada por la cantidad de jugo crudo obtenido más la cantidad de bagazo obtenido. La fibra es una variable que requiere ser analizada ya que depende de la variedad de la caña.

Aumentar el número de mazas para preparar la caña, facilita el proceso de extracción e incrementa la extracción del jugo, considerando que en la etapa de preparación de la caña no se extrae jugo. Además, debe entenderse que el bagazo contiene fibra y jugo residual. La ecuación básica del comportamiento de la caña en la extracción de jugo es:

Ecuación 3.4:

$$\text{Caña} = \text{Jugo extraído} + \text{Bagazo}$$

$$100 = J + B$$

La caña al someterla a la extracción, se obtiene el jugo crudo (Jc) y bagazo (Bc). El jugo, es la materia prima que se destina a la producción de panela, azúcar natural o miel de caña; mientras que el bagazo se emplea como material combustible para la hornilla después de secado, con una humedad entre 50 y 60%, o en la “cogeneración de energía” (Velásquez et al, 2005). La mayoría de las fábricas utilizan bagazo con humedad del 30 %, resultado de varios días de almacenamiento bajo sombra o al sol.

Un buen ajuste en los molinos paneleros permite obtener adecuados porcentajes de extracción de jugo y bagazo con bajo contenido de humedad que se utiliza posteriormente en la caldera.

Llegar a extracciones cercanas al 70 %, se consigue con una adecuada preparación de la caña y para esto se utiliza mazas desmenuzadoras o preparadores de caña.

Extracciones inferiores al 40 % se considera que los rendimientos de producto final son bajos. Extracciones entre el 55% y 65%±2 se consideran porcentajes muy buenos que generan rentabilidad en la actividad.

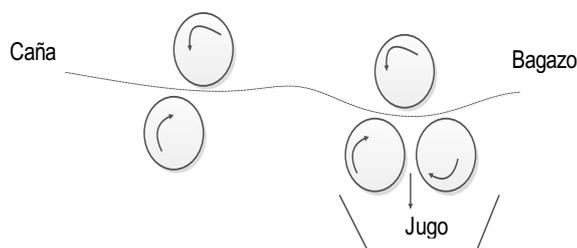


Figura 3.3. Diagrama de un molino panelero con mazas de preparación de caña.

Durante el proceso de extracción se debe determinar el porcentaje de extracción del jugo en peso (% E_p), cálculo sencillo en una actividad agroindustrial panelera. Para ello se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 3.5

$$\%E_p = \frac{P_j}{P_c} \times 100$$

Donde:

P_j = Peso del jugo extraído

P_c = Peso de la caña

La velocidad promedio de rotación de los molinos varía entre 6 a 15 rpm, a velocidades superiores se muele más caña por hora, pero disminuye la capacidad de extracción, ya que reduce el tiempo de permanencia de la caña entre las mazas (presión), el jugo no tiene tiempo a escurrirse y es arrastrado con el bagazo.

El contenido de fibra en la caña varía entre 10 al 18 %, dependiendo de la variedad. Valores entre 13 al 15 %, se consideran normales en cañas paneleras

y azucareras. Para determinar el peso de la fibra de la caña (Pfc), es necesario conocer el porcentaje de la fibra de la caña ($\%fc$) y la cantidad de caña en kilogramos (Pc). El cálculo se realiza por una regla de tres que se expresa en la siguiente ecuación.

Ecuación 3.6:

$$Pfc = \frac{(Pc \times \%fc)}{100}$$

Con esta información podemos calcular el peso del jugo en la caña (Pjc), que por diferencia entre el peso de la caña y el peso de la fibra en la caña se logra la ecuación siguiente.

Ecuación 3.7:

$$Pjc = Pc - Pfc$$

El porcentaje de jugo extraído ($\%Ej$) en el proceso de molienda, lo calculamos de la siguiente manera.

Ecuación 3.8:

$$\%Ej = Pj / (Pc - Pfc) \times 100$$

Donde:

Pj = Peso del jugo extraído

Pc = Peso de la caña

Pf = Peso de la fibra en la caña

Otra forma de cálculo es con la siguiente ecuación:

Ecuación 3.9:

$$\%Ej = \frac{Pj}{Pjc} 100$$

Ejemplo 3.1. Al hacer pasar en un molino 50 kilos de caña se logró obtener 35 kilos de bagazo. Determinar la cantidad de jugo obtenido.

Ecuación 3.10

$$\begin{aligned} \text{Jugo obtenido (J)} &= \text{caña} - \text{bagazo} \\ \text{Jugo obtenido (J)} &= 50 \text{ kg} - 35 \text{ kg} = 15 \text{ kg} \end{aligned}$$

Ejemplo 3.2. Determinar el porcentaje de extracción si de 50 kg de caña se obtiene 15 kg de jugo.

Según la ecuación 3.9, tenemos:

$$\%Ej = \frac{\text{Masa de jugo (mj)}}{\text{Masa de la caña (Mc)}} \times 100$$

$$\%Ej = (15 \text{ kg}) / (50 \text{ kg}) \times 100 = 30\%$$

Ejemplo 3.3

Se pasaron 10 toneladas de caña y se obtiene 6,8 toneladas de bagazo. ¿La cantidad de jugo extraído es?: la extracción del jugo será?

Ecuación 3.11

$$\text{Caña} = \text{Jugo extraído} + \text{Bagazo}$$

$$\text{Caña} - \text{Bagazo} = \text{Jugo extraído}$$

$$10000 \text{ kg} - 6800 \text{ kg} = 3200 \text{ kg jugo}$$

La extracción será:

$$\%Ej = \frac{Mj}{Mc} \times 100$$

$$\%Ej = \frac{3200}{10000} \times 100 = 32$$

Ejemplo 3.4:

En un proceso de extracción del jugo de caña al 34 % se obtiene 3,4 toneladas de jugo ¿La cantidad de jugo, las toneladas y porcentaje de bagazo será?

$$\%Ej = \frac{Mj}{Mc} \times 100$$

$$Mc = \frac{Mj}{\%E} \times 100$$

$$Mc = \frac{3400}{34} \times 100 = 10000 \text{ kg caña} = 10 \text{ tc}$$

Cantidad de Bagazo:

$$\text{Caña} = \text{Jugo extraído} + \text{Bagazo}$$

$$\text{Bagazo} = \text{Caña} - \text{Jugo extraído}$$

$$kgb = 10000 \text{ kg} - 3400 \text{ kg jugo} = 6600 \text{ kg}$$

$$\%Eb = 100 - \%Ej = 66,6$$

Ejemplo 3.5.

Se pasaron 20 toneladas de caña y se obtuvo 8,8 toneladas de bagazo. El porcentaje de extracción será:

$$\% E = (20 \text{ t caña} - 8,8 \text{ tm de bagazo}) / (20 \text{ ton caña}) \times 100 = 56\%$$

El resultado muestra un porcentaje bajo propio de una agroindustria panelera poco eficiente en la etapa de extracción del jugo, valor que afecta directamente al rendimiento y consecuentemente la rentabilidad.

Problema.

De acuerdo a la figura que se indica a continuación, la extracción de jugo corresponde al del 61%.

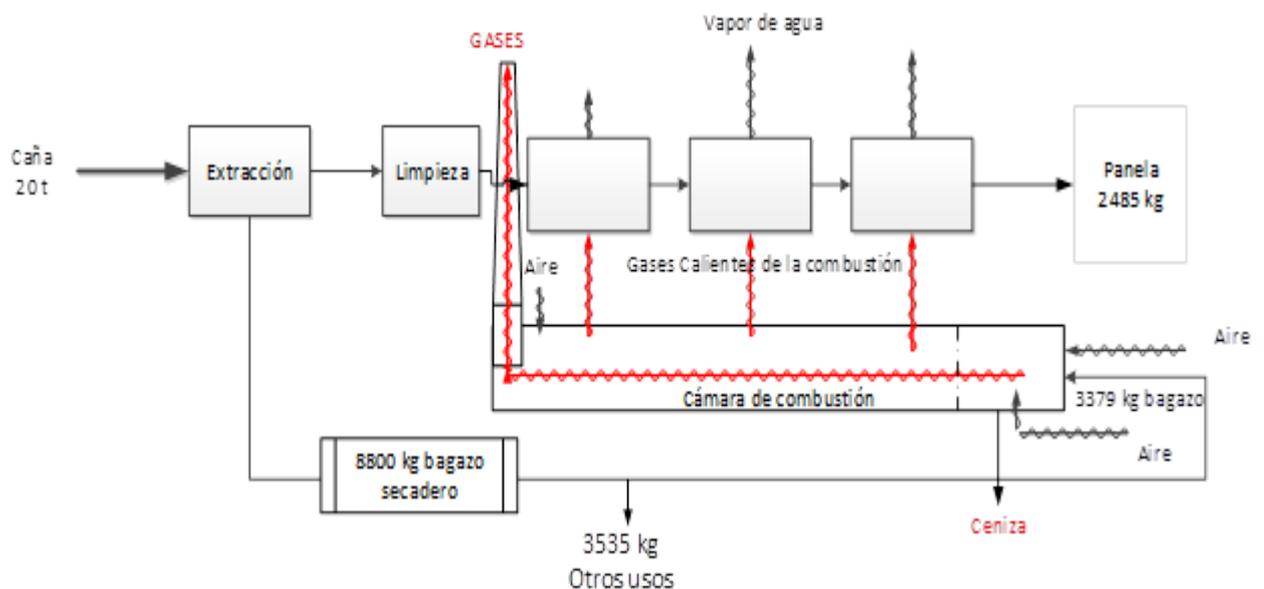


Figura 3.4. Diagrama de proceso de flujos de gases calientes y líquidos

3.2.2 Extracción y secado de bagazo

El secado o deshidratación del bagazo para ser utilizado como combustible en la producción de energía, se convierte en determinante en la eficiencia de la agroindustria panelera.

Ejemplo 3.6

Generalmente en un proceso agroindustrial panelero en un día en condiciones normales y favorable el 50 % de la caña procesada es bagazo. Si la fábrica tiene una capacidad de procesamiento de 20 tc/d al 50 % de extracción, tendrá 10 tb/d (toneladas de bagazo por día). La cantidad de bagazo (masa del bagazo) se calcula:

Ecuación 3.12.

Extracción o molienda

$$\%b = \frac{mb}{mc} \times 100$$

$mb = \text{masa del bagazo}$

$mc = \text{masa de la caña}$

La masa de bagazo podremos calcular, utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 3.13:

$$mb = mc - mj$$

$mj = \text{masa del jugo}$

Despejando la ecuación anterior tenemos:

$$\%b = \frac{mb}{mc} \times 100$$

$$(mb)100 = (mc) \%b$$

Ecuación 3.14:

$$mb = \frac{(mc \times \%b)}{100}$$

$$mb = \frac{50 \% \times 20 t}{100 \%}$$

$$mb = \frac{1000}{100} = 10 \text{ toneladas de bagazo} = 10000 \text{ kg bagazo}$$

Las 10 toneladas, corresponde al 50 % de bagazo respecto de la cantidad de caña procesada.

De la definición de extracción, el porcentaje de bagazo ($\%b$), también se obtiene a partir del contenido de la fibra de caña (fc) y fibra del bagazo (fb); método largo y costoso.

Ecuación 3.15:

$$\%b = \frac{f_c}{f_b} \times 100$$

De acuerdo a la información de la figura siguiente, determinar la cantidad y porcentaje de bagazo que se obtiene en el proceso

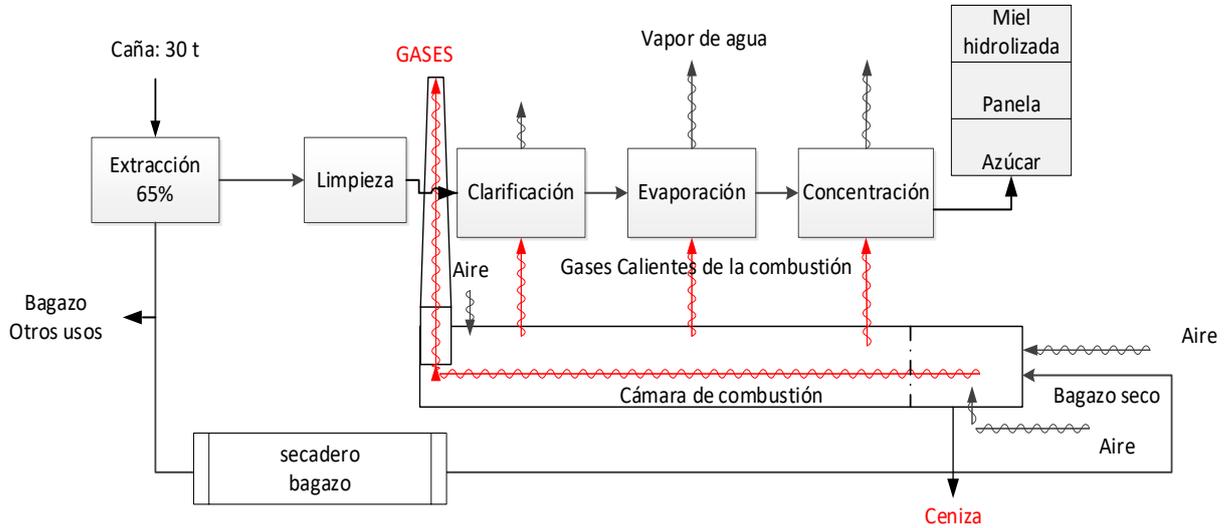
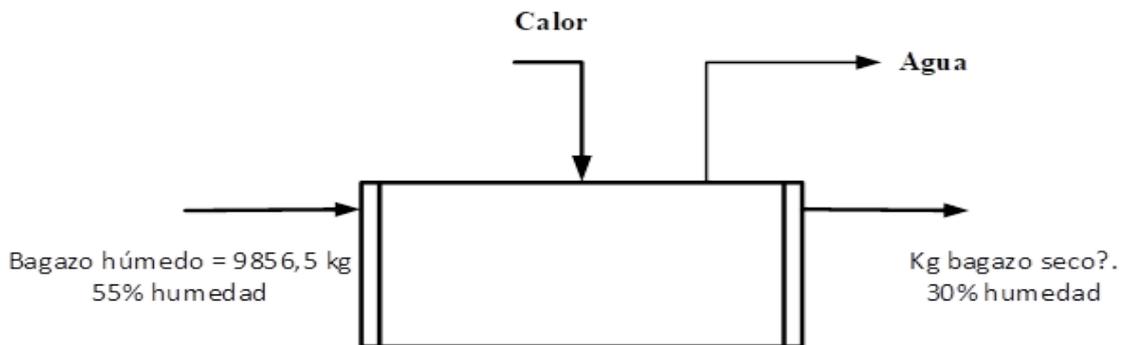


Figura 3.5. Diagrama de flujo de gases para agroindustria de capacidad de 30 toneladas de caña

Ejemplo 3.7

Determinar la cantidad de bagazo seco al 30 % de humedad, si la cantidad de bagazo húmedo a secarse que sale del molino tiene 55 % de humedad. El balance de masa según el esquema de la figura es:

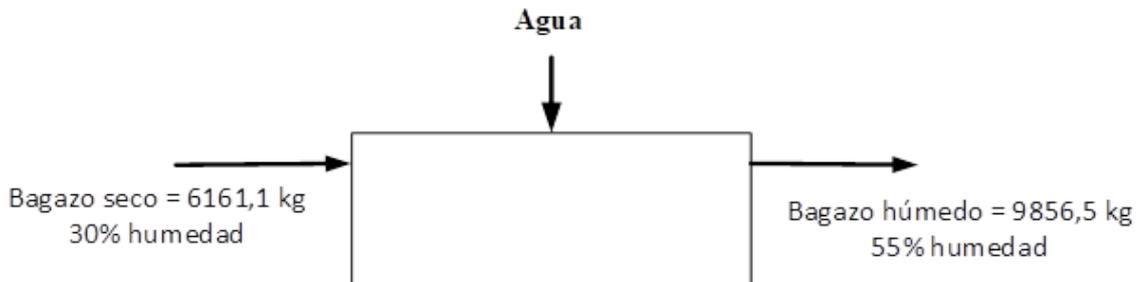


$$\begin{aligned}
 mbh \cdot hbh &= (mbh - w) hbs + w \cdot 1 \\
 9856,5 \cdot 0,55 &= (9856,5 - w) 0,3 + w \cdot 1 \\
 b &= 3425,1 \text{ kg} \\
 bs &= bh - w \\
 bs &= 6161 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Figura 3.6: Diagrama de flujo en el secado de bagazo

Ejemplo 3.8

Determinar la cantidad de agua (recuperación de humedad) que hay que incorporar a un bagazo cuya humedad es del 30 % para alcanzar una humedad del 55%, según datos de la figura.



$$\begin{aligned}
 m_{bs} \cdot h_{bs} + w \cdot 1 &= (m_{bs} + w) h_{bh} \\
 6161,1 \cdot 0,3 + w \cdot 1 &= (6161,1 + w) 0,55 \\
 W &= 3417,3 \text{ kg} \\
 m_{bh} &= m_{bs} + w \\
 &= 9856,9 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Figura 3.7: Diagrama de flujo en la hidratación del bagazo

Ejemplo 3.9

Establecer la ecuación general para calcular la cantidad de bagazo seco considerando la información de la figura.

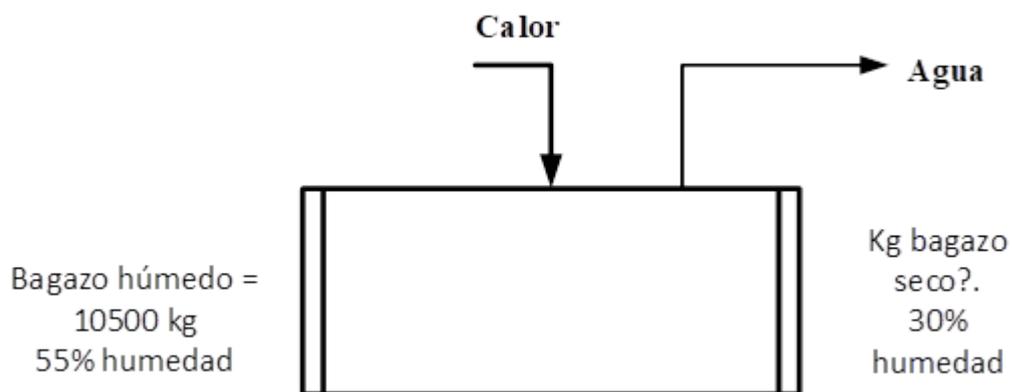


Figura 3.8: Diagrama de secado de bagazo

Balance general

Ecuación 3.16

$$mbh = mbs + w$$

Balance con sólidos

Ecuación 3.17

$$mbh = (mbh - w)hbs + w.1$$

Ejemplo 3.10

Calcular la cantidad de bagazo con 48 % de humedad que debe alimentarse a un secador para producir 15000 kg/h de bagazo deshidratado con 30 % de humedad listo para alimentar a la hornilla y generar calor en un proceso panelero.

Masa de bagazo deshidratado (*mbd*) en kg/s:

$$Mbd = 15000 (kg) / h \times 1h / (3600 s) = 4,16 \text{ kg/s}$$

La cantidad de extracto del bagazo:

$$MEsb (100 - 48) / 100 = 0,52 \text{ (kg Ex. seco del bagazo) / (Kg de bagazo)}$$

La cantidad de extracto seco del bagazo deshidratado:

$$MEsbd = (100 - 30) / 100 = 0,7 \text{ (kg Ex. seco del bagazo) / (Kg de bagazo deshidratado)}$$

Ecuación 3.18

$$mb (Eb) = mbd(Ebd)$$

$$mb (0,52) = 4,16(0,7)$$

$$mb (0,52) = 4,16(0,7)$$

$$mb = 5,6 \text{ kg/s} \text{ o } = 5,6 \text{ kg/s} \times (3600 s) / 1h = 20160 \text{ kg/h}$$

3.3 Purificación del jugo (limpieza y clarificación)

3.3.1 Limpieza

Las etapas de limpieza y clarificación del jugo (purificación) contribuyen a la calidad del producto final, por lo que merecen especial cuidado y control.

La limpieza del jugo se realiza en frío por filtración, flotación y sedimentación (métodos físicos) de impurezas y la clarificación en caliente (separación de no azúcares) por coagulación de no azúcares ayudado por sustancias químicas o naturales (principios físicos y químicos). Los modelos matemáticos básicos para la limpieza son:

Ecuación 3.19:

$$JC = JL + Id + F$$

Jc = Jugo de caña

JL = Jugo limpio

Ld = Lodos o Barros

F = Flóculos

Clarificación:

Ecuación 3.12

$$JL + Scl = Jcl + Cz$$

JL = Jugo Limpio

Scl = sustancias Clarificadoras

Jcl = Jugo clarificado

Cz = Cachaza

Ejemplo 3.20.

Con datos que se presenta en la figura siguiente determinar los porcentajes obtenidos de los productos que salen.

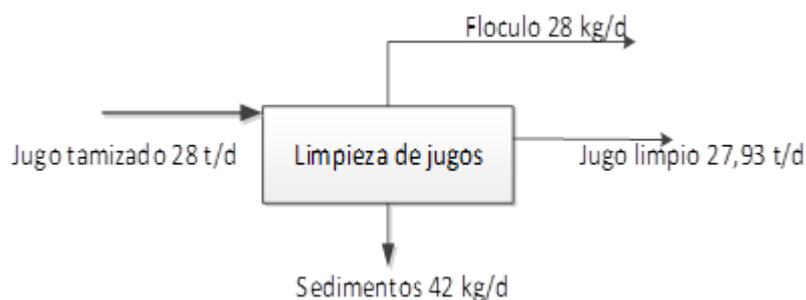


Figura 3.9. Diagrama del flujo de jugo crudo tamizado

Ecuación 3.21.

$$Jugo\ Tamizado = flóculos + sedimentos + jugo\ limpio$$

Ecuación 3.22.

$$\%R = \frac{\text{material que sale}}{\text{Material que entra}} \times 100$$

$$\%Flóculos = \frac{mf}{mjt} \times 100 = 0,10\%f$$

$$\%Sedimentos = \frac{ms}{mjt} \times 100 = 0,15\%s$$

Ecuación 3.23.

$$\%Impurezas = \%Flóculos + \%Sedimentos$$

$$\%Imp. = 0,10 + 0,15 = 0,25$$

$$\%jugo\ limpio = \frac{jl}{jt} \times 100 = 99,75\%jl$$

Ejemplo 3.13.

Determinar el porcentaje de extracción del mucílago utilizado en la clarificación del jugo y materiales que salen de cada etapa del proceso de extracción, limpieza y clarificación de jugo.

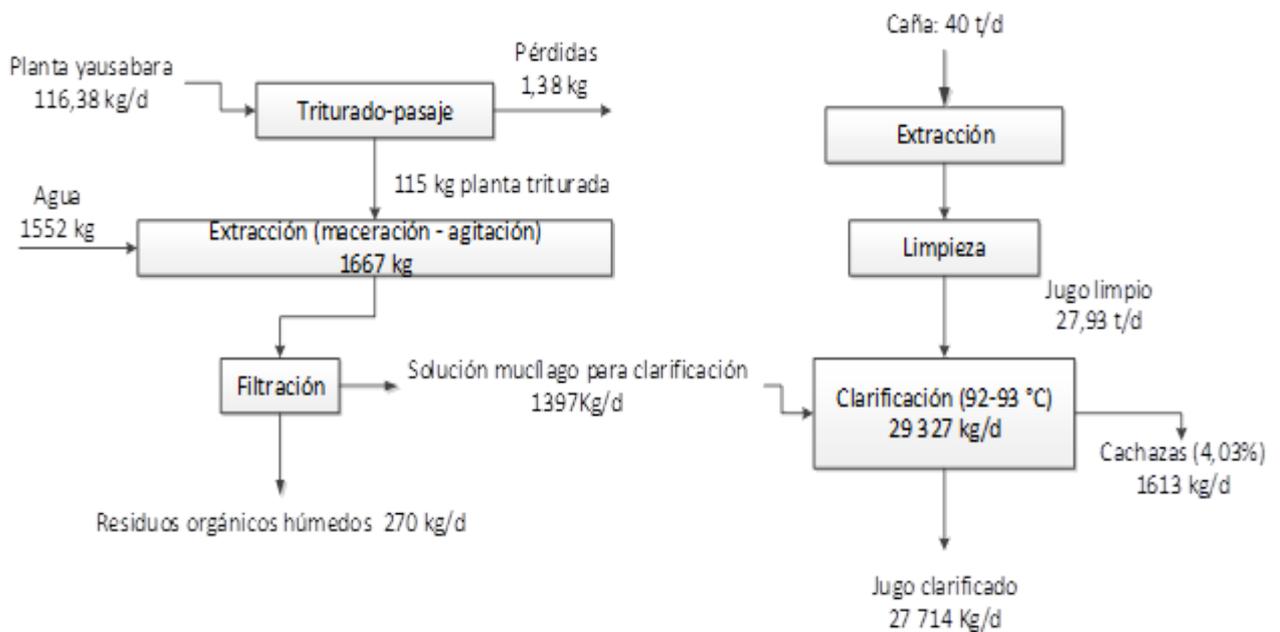


Figura 3.10 Diagrama de clarificación natural del jugo

Material inicial: 40 t. = 40000 kg.

Jugo después de la limpieza: 27930 kg

Considere el porcentaje de extracción del 70%

% jugo limpio: %E - % impurezas

% jugo limpio = 70 - 0,25 = 69,75%.

%Extracción es:

$$kg\ jugo\ limpio = \frac{\% E}{100} \times masa\ caña$$

$$kg \text{ jugo limpio} = \frac{69,75 \%}{100} \times 40000$$

$$kg \text{ jugo limpio} = 27900$$

La cantidad de jugo impuro o crudo de 27930 kg (jugo antes de la filtración y prelimpieza) que se realiza en equipos de prelimpiadores. El porcentaje de impurezas en el jugo (material arena, tierra, hojas adheridas, insectos, otros) en función de la limpieza en la caña, se estima entre 0,20 al 0,30%.

Porcentaje de extracción del jugo: 70 % (28000 kg jugo)

Cantidad de impurezas= 70 kg que corresponde al 0,25 %.

Cantidad de bagazo = 40000-28000= 12000 kg

$$\%b = \frac{\text{masa de bagazo}}{\text{masa de la caña}} \times 100$$

$$\%E = \frac{12000 \text{ kg}}{40000 \text{ kg}} \times 100$$

$$\%E = 30$$

3.3.2 Clarificación del jugo

El objeto de la clarificación es separar los no azúcares disueltos en el jugo (gomas, ceras, grasas, proteínas, pigmentos, minerales, otros), en las tinas de clarificación, donde la temperatura es menor que en las tinas de ebullición y punteo. La separación de los no azúcares, se realiza coagulándolos por calentamiento a temperaturas muy cercanas a la de ebullición y por la acción de sustancias clarificadoras que pueden ser naturales (mucílagos) y químicos (Quezada W., 2007^a; Quezada W., 2015). El uso de sustancias químicas como el hidrosulfito de sodio, óxido de calcio, es frecuente en forma de lechada, con el objetivo de regular la acidez de los jugos a un valor de pH 5,8 (Ortega y Cabrera, 2006; Osorio, 2007; Pérez y Ablan, 2008). Algunos autores plantean filtrado únicamente o incorporar solución de cal (Castillo y Ganchozo, 2004; Mejía, 2007) utilizada por muchas factorías afectando el color del producto consecuentemente su calidad.

El jugo recién extraído contiene tierra, arena, bagazo, insectos y otros materiales que se separan por sedimentación y flotación, en equipos llamados

prelimpiadores. Estos equipos tienen forma de “V” provistos de orificios que permiten la evacuación de sedimentos y paso del jugo limpio.

Los prelimpiadores, son de material impermeable no poroso con capacidad de soportar la corrosión que producen los jugos. Los hay de ladrillo-cemento, otros revestidos de cerámica en la parte interior y exterior para facilitar la limpieza. El uso de acero inoxidable para estos equipos es una alternativa viable y generalizada para el panelero, que favorece la asepsia y facilita la limpieza del jugo.

Cuando el volumen de molienda es de una tonelada de caña por hora, con extracciones de jugo mayores al 55%, es recomendable ubicar un segundo preliminar a continuación del primero, para asegurar una limpieza completa de los jugos (Osorio, 2007; Quezada et al, 2022). Sin embargo, el uso, número y diseño de clarificadores debe ser objeto de estudios más rigurosos. Las fábricas deben contar con dos tipos de pre-limpiadores, tipo uno y tipo dos, con ángulos de inclinación de 45° y 30°, respectivamente. Para trapiches con capacidades de molienda hasta 2 toneladas de caña por hora, se recomienda utilizar 1 preliminar de cada tipo. Para capacidades superiores a 2 toneladas por hora, utilizar 1 preliminar del tipo uno y 2 preliminar del tipo dos (Prada, 2002; Osorio, 2007).

Los separadores de impurezas, conocidos como pre-limpiadores se pueden construir muy cerca del molino. La ventaja de esta disposición es que el operador que trabaja en el molino puede retirar las impurezas acumuladas en los pre-limpiadores. El jugo pasa del preliminar primario al secundario, por gravedad. En la figura siguiente, se muestra el diseño e imagen detallado del primer preliminar y segundo preliminar, que se construye usualmente a un costado o a continuación del primero. Ambas propuestas son recomendables, depende de la disposición y espacios en la fábrica.

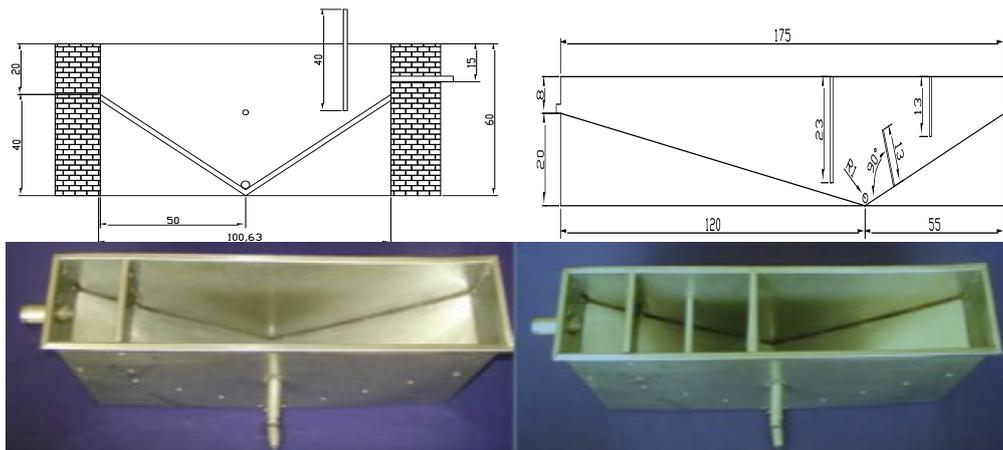


Figura 3.11. Limpiadores de impurezas para jugo de caña

Estos son equipos que operan de forma continua y la separación de impurezas se realiza cuando el jugo no haya sufrido tratamiento térmico alguno y se realiza bajo principios de flotación y sedimentación (Batule, 2004). La ecuación matemática para determinar la cantidad de jugo limpio a partir del jugo de caña obtenido es:

Ecuación 3.24 y 3.25:

$$Jc = JL + I + F$$

$$JL = Jc - I - F$$

Donde:

Jc = jugo de la caña

JL = Jugo limpio

I = Impurezas que sedimentan

F = Impurezas flotantes

En la clarificación se obtiene cachaza, material de color negro, espeso y viscoso que se forma en la superficie del jugo caliente, que debe ser retirada antes de que el jugo empiece a hervir (94° C). Una vez que el jugo empieza la ebullición se forma la cachaza blanquecina, que también se separa. Con jugo limpio y clarificado, se logra un producto final (miel, panela o azúcar) libre de impurezas, con excelentes características de calidad. La ecuación para calcular la cantidad de jugo clarificado a partir del jugo limpio es la siguiente:

Ecuación 3.26:

$$JL + Scl = Jcl + Ch$$

$$Jcl = JL + Scl - Ch$$

Donde:

JL= Jugo limpio

Scl= Sustancia clarificadora

Jcl= Jugo Clarificado

Ch= Cachaza

Productos como hidrosulfito de sodio utilizado en el sector panelero como blanqueador (debe regularse su uso y aplicación para el sector), cambia el color al jugo de obscuro a claro amarillento.

El control de la clarificación se realiza de forma visual o utilizando la variable turbidez (equipo turbidímetro en unidades de NTU o FTU). Según estudios utilizando clarificadores naturales se ha llegado a valores menor a 100 NTU y aplicando mucílago de ciertas especies vegetales (*Pavonia sepium*, *Malva peruviana* y *Malachra alceifolia*) de 27 NTU (Quezada, Quezada, Gallardo 2016). El jugo de la caña dependiendo de la limpieza muestra valores de turbidez entre 800 y superior a 1000 NTU. Considerando valores de 800 NTU, el porcentaje de clarificación será:

Ecuación 3.27.

$$\begin{aligned} \%Jcl &= \frac{(TJcc - TJcl)}{TJcc} \times 100 \\ \%Jcl &= \frac{(800 - 27)}{800} \times 100 \\ \%Jcl &= \frac{773}{800} \times 100 = 96,62 \end{aligned}$$

TJcl = Turbidez de jugo caña clarificado

%Jcl = Porcentaje de clarificación del jugo

TJcc = Turbidez de jugo caña crudo

Valores de purificación superiores al 90 % como el de 96,62%, significa que el proceso de clarificación de jugo de la caña es eficiente (jugos claros y brillantes) características para obtener productos finales de buen color y aceptable en el mercado.

3.4 Evaporación y cocimiento

3.4 1 Concentración en evaporadores abiertos (tinajas o pailas)

La evaporación es una etapa compleja, delicada y costosa en la agroindustria panelera. Proceso que permite separar parte del disolvente volátil de una solución, de un soluto no volátil, por medio de la vaporización del solvente; para obtener una solución concentrada a partir de una solución diluida. Consiste en la separación del agua por evaporación, por calentamiento de la solución (jugo de caña). El jugo claro obtenido de la purificación contiene azúcar disuelto en agua y una mínima cantidad de impurezas.

La operación se realiza en evaporadores abiertos y cerrados (simple o hasta de triple efecto). Los evaporadores abiertos, pueden ser tinajas abiertas de diferente capacidad construidos en acero inoxidable o latón, cobre o bronce, o marmitas.

Los principios básicos de la ingeniería de los procesos, son diversos y complicados; no obstante, si se aplican correctamente, se reducen a simples operaciones básicas.

Los balances de materia se fundamentan en la ley de la conservación de la materia de Lavoisier, que dice que “la materia no se puede crear ni destruir”. Solamente existe un cambio o modificación de la materia. Dicho de otra manera, cualquier cantidad de materia que entra, debe ser igual a la cantidad de materia que sale.

De la misma manera, la ley de la conservación de la energía, establece que la energía para un proceso químico no se puede crear ni destruir, solo se transforma. La energía total obtenida que entra a un sistema más la energía añadida al sistema debe ser igual a la energía total que sale del sistema. También, la ley de la conservación de la energía se puede aplicar a parte de un proceso y cada proceso se aplicará una ecuación.

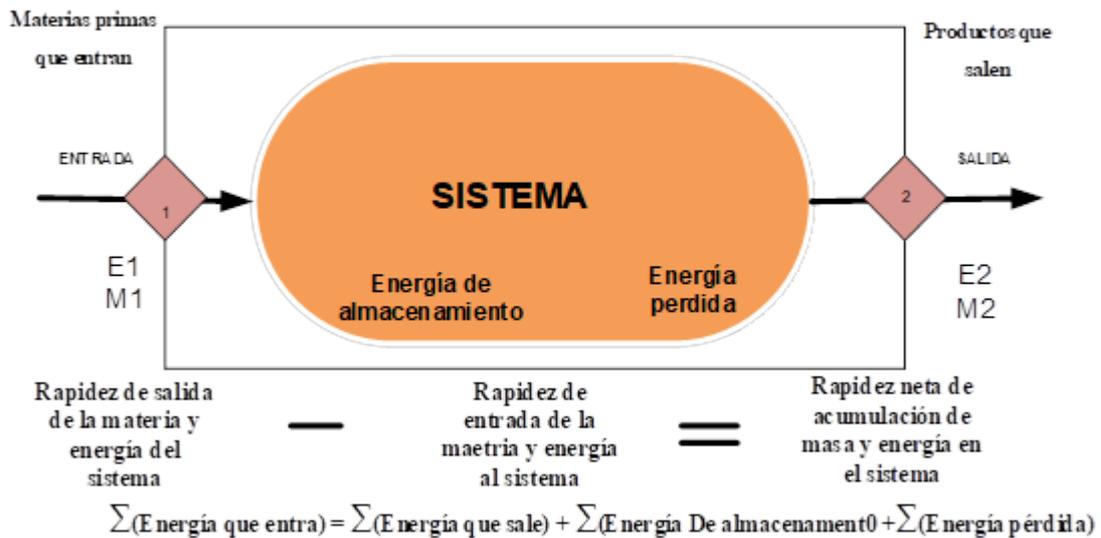


Figura 3.12. Entradas y salidas de materiales en un sistema

El balance general de masa es:

$$M_e = M_s$$

El balance general de la energía es:

$$E_e = E_s$$

En el gráfico se observa el evaporador abierto (marmita y tina o paila) y el evaporador cerrado de simple efecto, generalmente utilizado en la concentración de jugos.

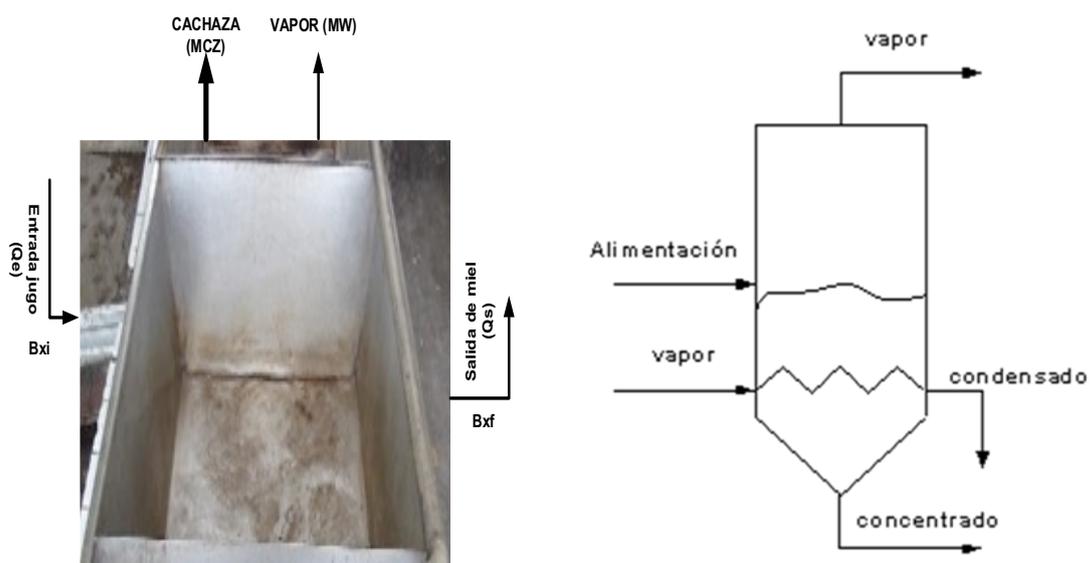


Figura 3.13 Evaporador abierto y evaporador cerrado

Ejemplo; considera el esquema anterior, si al procesar 2 toneladas de caña, se recibe 1000 Kg de jugo al 20 % para concentrar hasta el 65% en un evaporador abierto (pailas); considera que la cachaza es el 4% de la masa de la caña. Establezca las ecuaciones para el balance de masa y sólidos y con ello determinar la cantidad de miel final y agua evaporada.

$$Mj1 = Mm2 + Mchz3 + Mw4$$

$$Mj1 - Mchz3 = Mm2 + Mw4$$

$$Mjcl = Mj1 - Mchz3$$

$$Mjcl = Mm2 + Mw4$$

La ecuación del balance parcial de sólidos es:

$$Mcl(Bxi) = Mm2(Bx2) + Mw3(Cw)$$

Si $Cw = 0$ (agua tiene concentración 0); entonces, la cantidad de concentrado se interpreta:

$$Mj1 = Mm2 + Mchz3 + Mw4$$

$$Mj1 = Mm2 + 80 + Mw4$$

$$(1000 - 80)Bxi = Mm2 (Bxf + Mw4)$$

$$920 * 0.2 = Mm2 * 0.65$$

$$Mm2 = 283.07 \text{ Kg}$$

El agua evaporada del jugo clarificado será:

$$Mw4 = Mjcl1 - Mm2$$

$$Mw3 = 920 - 283,07$$

$$Mw3 = 636,93 \text{ Kg}$$

El proceso de evaporación en la mayoría de factorías paneleras, se inicia con el calentamiento del jugo de caña en tinas abiertas. A medida que se incrementa la concentración de la solución (°Brix) el punto de ebullición se incrementa (el incremento del punto de ebullición es directamente proporcional a la concentración de la solución). Lo señalado se confirma en la segunda ley de RAOULT que dice: "El aumento ebulloscópico de una solución no electrolítica, es proporcional a la concentración molal de la solución" (Hugot, 1984); consecuentemente, a mayor concentración de sólidos solubles en la solución, mayor será el punto de ebullición de la solución.

Teóricamente, se determina el incremento del punto de ebullición (ΔPe) en una solución no electrolítica (azúcares), cuando interviene el agua como disolvente considerando la constante ebulloscópica de $K_e = 0.52 \text{ }^\circ\text{C/mol}$ y la concentración molal de la solución (m). Si el punto de ebullición al nivel del mar (msnm) del agua es 100°C , entonces el punto de ebullición de la solución (Pe) será:

Ecuación 3.28 y 3.29

$$\Delta Pe = m * K_e$$

$$Pe = 100^\circ\text{C} + \Delta Pe$$

Para el calentamiento y concentración se requiere del Calor específico o Capacidad calorífica específica (C_e), que es la cantidad de energía (q) que se requiere para elevar la temperatura (ΔT) de esa muestra (m) en un grado. El C_e depende de la muestra, tamaño y pureza del producto.

Ecuación 3.30:

$$C_e = q / (m \times \Delta T) = \text{Cal} / (\text{g}^\circ \text{C})$$

Para calcular el calor necesario (q) para calentar un líquido según la fórmula de la expresión anterior nos queda.

Ecuación 3.31:

$$q = m \Delta T C_e$$

La temperatura, es fundamental para alcanzar el calor necesario para evaporar el agua del jugo de la caña. La temperatura es una medida de intensidad de calor de una sustancia y se relaciona con la energía cinética promedio del sistema. En los tratamientos de jugos azucarados o jugos que contienen grandes cantidades de azúcar, la temperatura es una variable que juega un papel importante para el control de los procesos (evaporación), lo que se evidencia en la calidad del producto final y rendimiento de azúcar no refinado por tonelada de caña procesada.

La evaporación se define como la separación del agua de la solución por efecto de la temperatura, aumentando la concentración; en este caso, incremento de sólidos en la solución azucarada (jugo de caña). Se entiende que la evaporación se realiza hasta alcanzar concentraciones del jugo a 70°Brix . Mientras que, el cocimiento de la miel inicia a partir de esta concentración hasta una concentración mayor a la de saturación (sobresaturación) de la solución azucarada (miel). El cocimiento inicia antes que el grano de azúcar se forme y

continúa hasta la concentración máxima de 74 a 77 °brix para la miel; 88 a 92 °Brix para la panela y entre 94 a 96 °Brix para el caso de azúcar natural.

La producción de cristales (cristalización) de azúcar en las paneleras se realiza por el método natural a paila abierta (presión atmosférica), pudiendo realizarse la concentración de jugos en evaporadores cerrados de simple y/o múltiple efecto y la cristalización en tachos (evaporador de efecto simple), acondicionados para el manejo de masas concentradas superiores a 70°Brix.

La cristalización del azúcar sucede en la zona lábil, a sobresaturaciones entre 1.4 a 1.6, donde los cristales existentes crecen o pueden formarse otros aún en ausencia de cristales (Hugot, E. ,1984; Quezada et al 2022, 2023).

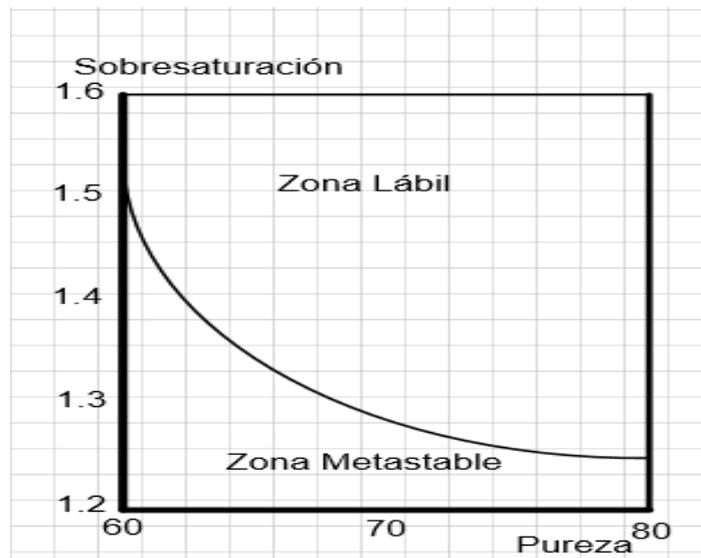


Figura 3.14. Zona de cristalización del jugo de caña

La concentración del jugo tiene relación directa con la temperatura de ebullición, a mayor concentración del jugo, mayor punto de ebullición de la solución (jugo). El incremento del punto de ebullición es una propiedad coligativa de las soluciones no electrolíticas, caso de los jugos de la caña donde los componentes son la sacarosa como soluto y el agua como disolvente.

El contenido de agua en la caña es elevado, por tal motivo los costes de producción de edulcorantes son mayores en las etapas de evaporación y concentración. En concentración de mieles, la ecuación para calcular la cantidad de producto final y agua evaporada se establece según la siguiente figura.

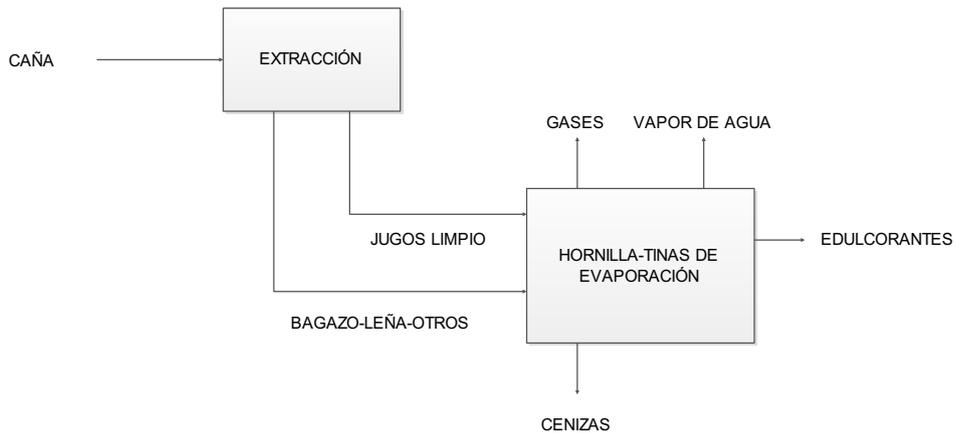


Figura 3.15. Simplificación del proceso de extracción y concentración de jugos

Ecuación básica para la evaporación

$$Jcl = Jev + w$$

Jcl =Jugo clarificado

Jev = Jugo evaporado

w = agua

Ecuación para calcular las concentraciones en evaporación

$$Mjcl \times (°Bx)jcl = Mjev \times (°Bx)jev$$

Ecuación básica para concentración o punteo

$$Jev = Jc + w$$

Jc = Jugo concentrado

Ecuación para calcular las concentraciones en punteo

$$Mjev \times (°Bx)jev = Mjcon \times (°Bx)jcon$$

La ecuación básica para el proceso de concentración es:

Ecuación 3.32:

$$jcl \times °Bjcl = mf \times Bm$$

Donde:

jcl = Cantidad de jugo de caña clarificado

$°Bjcl$ = Grados brix del jugo clarificado

mf = Cantidad de miel o producto final

Bmf = Grados brix de la miel final

Para conocer el grado de evaporación de cada cuerpo en el evaporador de múltiple efecto, es necesario tomar muestras del jugo que entra y sale del cuerpo o tina de punteo.

Para calcular el grado o porcentaje de evaporación de cada cuerpo y masa de agua se presenta las ecuaciones siguientes.

$$Mw = Jcl \left(1 - \frac{Bxj}{Bm}\right)$$

También:

$$Mw = Jcl \left(\frac{\%E}{100}\right)$$

$\%E$ o $\%Rev$: Porcentaje o razón de evaporación

Mw : masa de agua evaporada

Jcl : jugo clarificado inicial que entra

Bxj : Grados brix de jugo que entra o inicial

Bxm : Grados brix de la miel concentrada o final

La razón de evaporación o porcentaje de evaporación será:

$$\%E = \frac{Bxf - Bxi}{Bxf} \times 100$$

Si se trabaja con 1000 libras de jugo de 18°Bx y se concentra hasta 70°Bx en un efecto o tina abierta, la masa de agua será:

$$Mw = 1000 \left(1 - \frac{18}{70}\right)$$

$$Mw = 742,86 \text{ Libras de agua}$$

$$\%E = \frac{70 - 18}{70} \times 100$$

$$\%E = 74,28$$

Medir los grados brix d jugos de caña el fácil y rápido, pero en materiales concentrados (mieles) se torna algo complejo por la temperatura que adquiere la miel o material. El sector agroindustrial panelero generalmente trabaja con jugos entre 17 a 24°Bx. Para calcular los sólidos solubles en la solución del jugo o grados brix (°Bx) a la salida del evaporador o de la tina de punteo será:

$$^{\circ}Bx_{final} = \frac{MJcl (Bx)}{MJcl - Mw}$$

Mjcl: masa jugo clarificado que entra a concentrar

Bx: Brix de jugo que entra

Mw: agua evaporada

Considere que 1000 libras de jugo clarificado entran con 20°Bx y el % de agua evaporada es del 70%. Hallar los grados brix del de la miel final.

$$^{\circ}Bx_{final} = \frac{1000(20)}{1000 - 700}$$

$$^{\circ}Bx_{final} = 66,67$$

La cantidad de miel de la concentración deseada tenemos, despejando de la ecuación anterior la variable m:

Ecuación 3.37:

$$mf = \frac{(jcl \times ^{\circ}Bjcl)}{^{\circ}Bmf}$$

Al someter un jugo clarificado (*Jcl*) a evaporación, el balance de materia se logra mediante la ecuación siguiente:

Ecuación 3.38:

$$Jcl = Jev + Wev$$

Donde:

Jcl = masa del jugo clarificado

Jev = masa del jugo evaporado (miel)

Wev = masa del agua evaporada

Si el proceso de clarificación del jugo se realiza utilizando clarificadores naturales con sustancias mucilaginosas, la ecuación resultante es:

Ecuación 3.39:

$$M_{jcl} \times \text{°}B_{jcl} = M_{jev} \times \text{°}B_{jev}$$

Donde:

M_{jcl} = Masa del jugo clarificado

$\text{°}B_{jcl}$ = Brix del jugo clarificado

M_{jev} = Masa del jugo evaporado

$\text{°}B_{jev}$ = brix del jugo evaporado

Para el cálculo de la masa del producto en la concentración final o punteo, se utiliza una ecuación similar a la de evaporación y depende del producto final a obtener sea miel hidrolizada, panela o azúcar natural.

Ecuación 3.40:

$$J_{ev} = M_c + W_{ev}$$

Donde:

J_{ev} = masa del jugo evaporado

M_c = masa de la miel concentrada lista para punteo

W_{ev} = masa del agua evaporada

Para determinar la cantidad de producto final, en función de la concentración inicial y final utilizamos la ecuación siguiente.

Ecuación 3.41:

$$M_{jev} \times (\text{°}B_{jev}) = M_{mf} \times \text{°}B_{mf}$$

Donde:

M_{jev} = Masa del jugo evaporado

$\text{°}B_{jev}$ = Brix del jugo evaporado

M_{mf} = Masa de la miel final concentrada

$\text{°}B_{mf}$ = Brix de la miel concentrada

La cantidad de agua evaporada presente en el jugo (W_{ev}) en todo el proceso lo calculamos con:

Ecuación 3.42:

$$W_{ev} = M_j - M_m$$

Donde:

M_j = Masa del jugo (clarificado o no)

M_m = Masa final de la miel

Sustituyendo M_c en la ecuación anterior (31) tenemos la ecuación siguiente:

Ecuación 3.43:

$$W_{ev} = M_j - (M_j \times \text{°}B_j) / B_m$$

Finalmente, el agua evaporada del jugo será:

Ecuación 3.44:

$$W_{ev} = M_j (1 - (°B_j)/(°B_m))$$

Donde:

M_j = masa del jugo

$°B_j$ = brix del jugo clarificado o no.

$°B_m$ = Brix de la miel

Otra forma de calcular el porcentaje de agua a evaporar en función de los sólidos solubles en la solución (grados brix), es mediante la ecuación que sigue:

Ecuación 3.45:

$$\%W = (bf - bi)/bf * 100$$

Donde:

$\%W$ = Porcentaje de agua evaporada en el proceso

Bf = Brix final del producto concentrado (miel)

Bi = Brix inicial del producto a concentrarse (jugo)

La energía requerida para el proceso en conjunto se realiza en las etapas de: calentamiento, clarificación, ebullición y cocimiento.

Ejemplo

Establezca las ecuaciones de acuerdo al balance de masa según el esquema representativo en el manejo de líquidos en un proceso agroindustrial panelero.

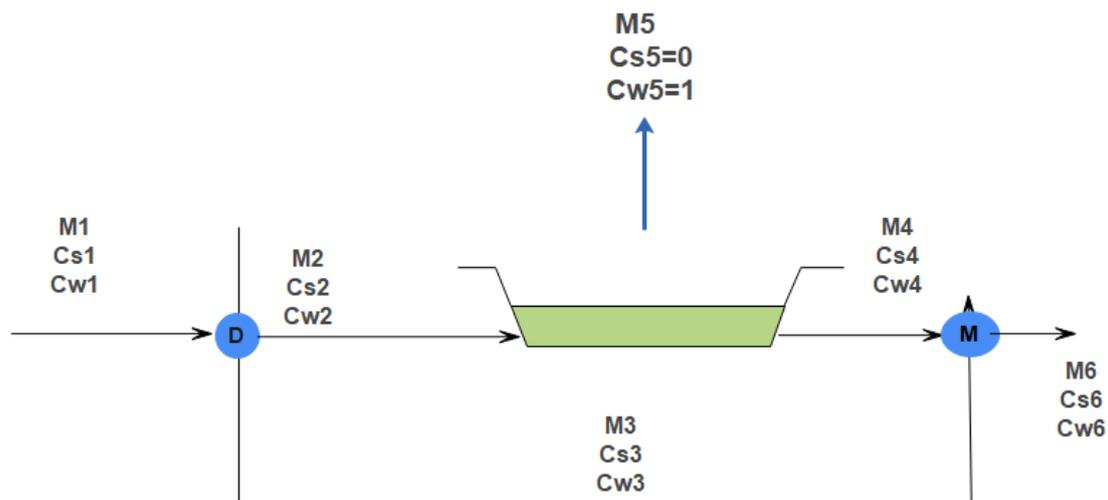


Figura 3.19: Esquema para la concentración de miel de caña en evaporador abierto

Balance general

$$M1 = M2 + M3$$

$$M2 = M4 + M5$$

$$M3+M4=M6$$

Balance de sólidos (M=m)

$$m1(ws1) = m2(ws2) + m3(ws3)$$

$$m2(ws2) = m4(ws4) + m5(ws5); m2(ws2) = m4(ws4) + m5(ws5); m2(ws2) = m4(ws4)$$

$$m3(ws3) + m4(ws4) = m6(ws6)$$

El porcentaje de cachaza obtenido en el proceso que se muestra de 675,3 kg corresponde al 3,38%.

El porcentaje de clarificante natural incorporado al jugo en el proceso de purificación del jugo corresponde al 2,04%.

La cantidad de panela se obtiene a una concentración final corresponde a 89°Bx.

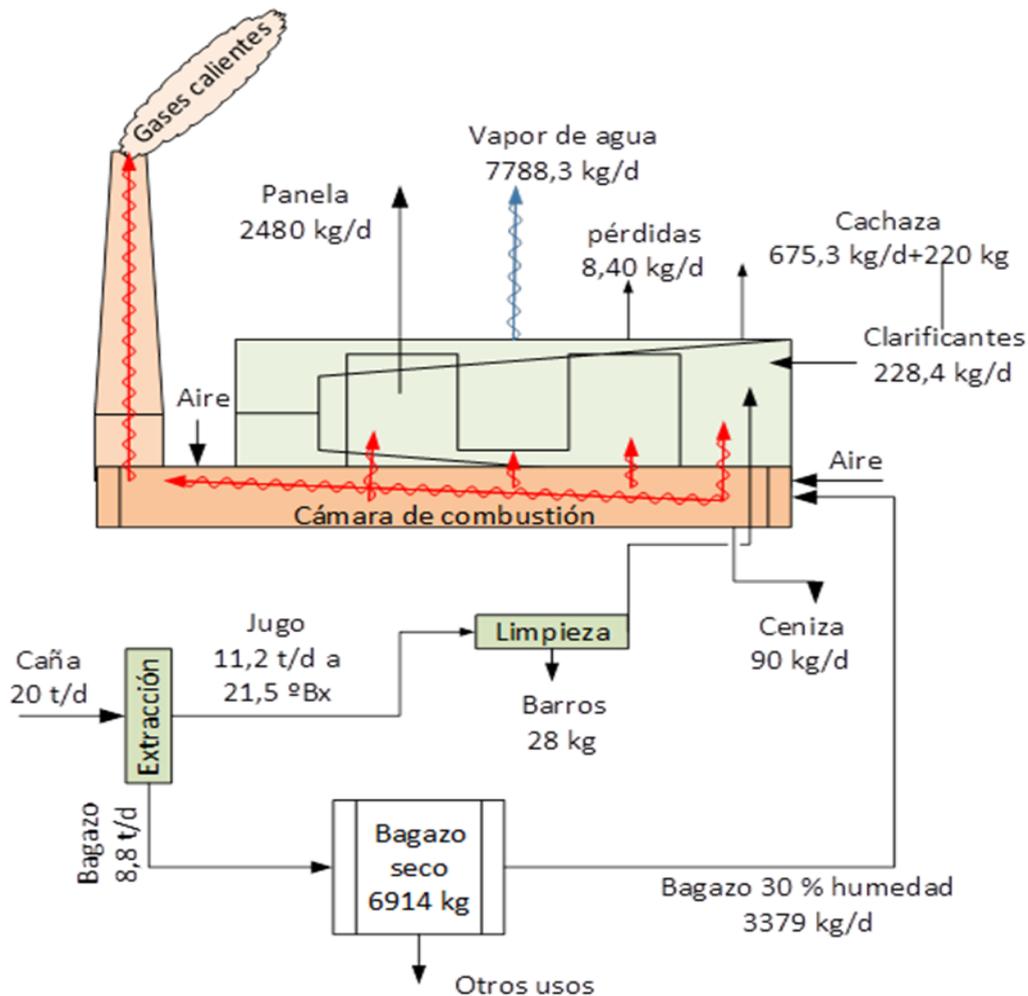


Figura 3.20: Esquema de flujos en paneleras tradicionales

El uso de neumáticos como material combustible en la industria panelera cada día se incrementa debido a la reducción de material orgánico como leña y mal

uso del bagazo debido a la escasa eficiencia de la hornilla. Con la información que indicamos y la figura siguiente indique las propuestas que deben plantearse y ejecutarse para que el sistema se convierta en una agroindustria sostenible de economía circular (Crea valor económico y ambiental a través de la sostenibilidad con visión estratégica)

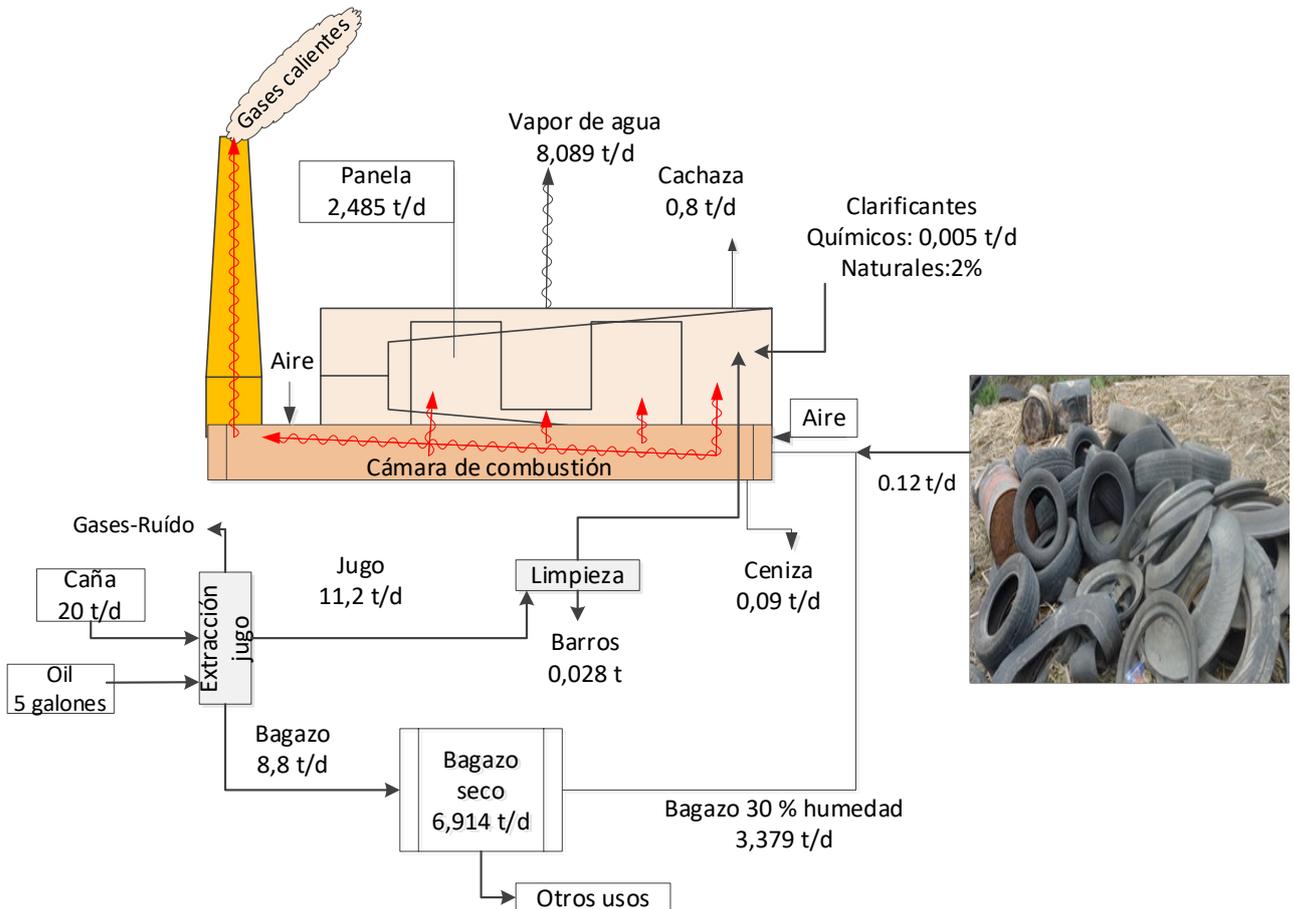


Figura 3.21: Esquema de flujos en paneleras tradicionales utilizando neumáticos como combustible

Ejemplo:

Calcular los flujos másicos y fracciones de masa de un proceso agroindustrial panelero, si entra 100 kg/min de jugo de caña purificado con el 20% de sólidos solubles y que deriva el 85% de este a un evaporador de simple efecto. El 85% de dicha corriente que entra al evaporador, saldrá con un 60 % de sólidos. El 15 % restante de la corriente de entrada se mezclará con la corriente de salida del evaporador, dando un producto final.

El esquema representativo tradicional para el sector se indica en la figura siguiente.

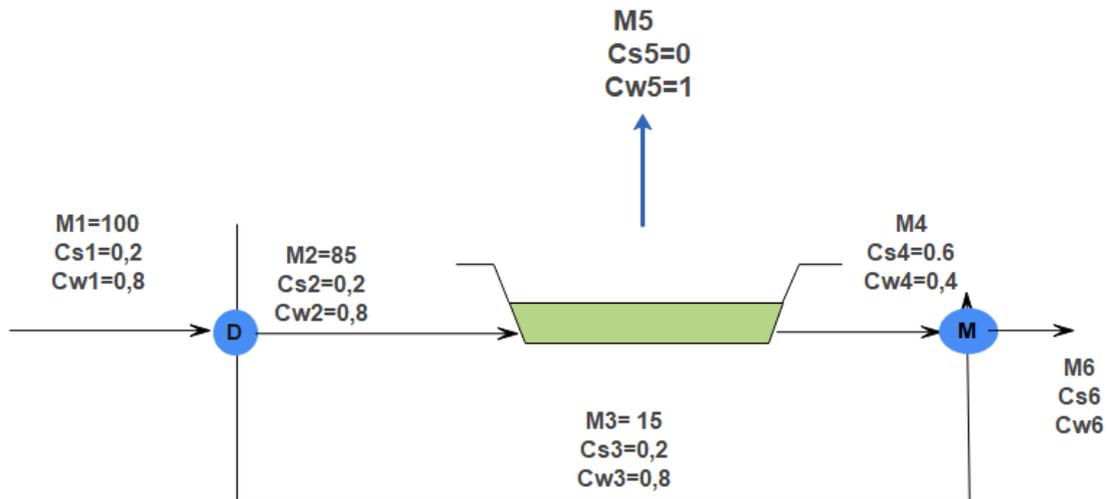


Figura 3.23: Esquema de balance de masa en evaporación abierta

Balance general 1:

$$100 = 85 + 15$$

$$100 = 100$$

Balance de Sólidos 1:

$$100(0,2) = 85(0,2) + 15(0,2)$$

$$20 = 17 + 3$$

$$20 = 20$$

Balance general 2

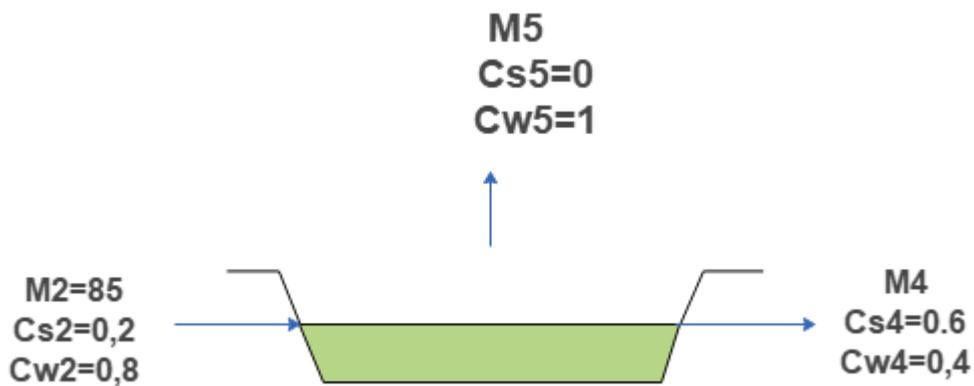


Figura 3.24: Esquema de balance de masa en evaporación abierta simple

$$85 = M4 + M5$$

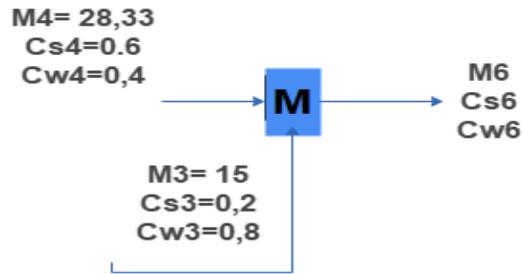
$$85(0,2) = M4(0,6) + M5(0)$$

$$17 = 0,6(M4)$$

$$M4 = 28,33$$

$$M5 = 56,67$$

Balance general 3



$$M3 + M4 = M6$$

$$15 + 28,33 = M6$$

$$43,33 = M6$$

Balance de sólidos

$$15 (0,2) + 28 (0,6) = 43,33(X)$$

$$3 + 16,8 = 43,33 X$$

$$19,8 = 43,33 X$$

$$X = 0,456 = Cs6$$

$$Cs6 = 0,46$$

$$Cw6 = 0,54$$

Ejemplo:

Una fábrica panelera de capacidad de 20 toneladas de caña tiene la siguiente información según la figura. Compruebe los valores (realice el balance de masa) de los materiales que entran y salen de acuerdo a la figura.

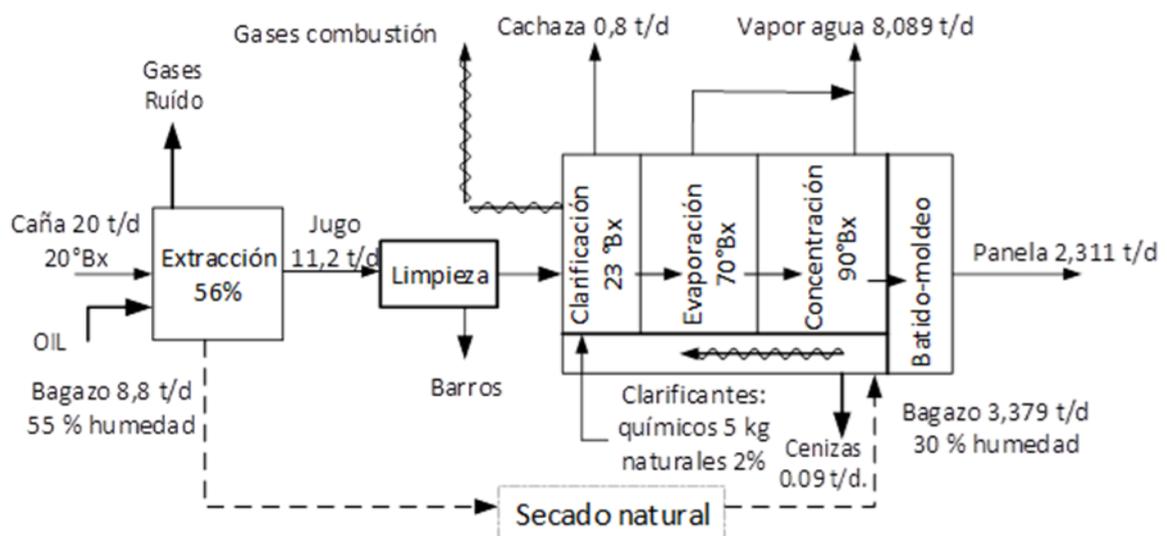


Figura 3.25: Proceso tradicional por etapas en paneleras mejoradas

El trabajo se inicia de la siguiente manera:

El porcentaje de extracción será:

$$\% E = (11,2 \text{ ton. jugo}) / (20 \text{ ton caña}) \times 100 = 56\%$$

Ejemplo:

En la figura del proceso agroindustrial panelero en la Provincia de Imbabura, Ecuador, trabajan con 10 t/d y obtienen 1245,99 kg de panela. Con los datos determinar el rendimiento del proceso utilizando la masa de materia prima, de jugo limpio y del jugo clarificado:

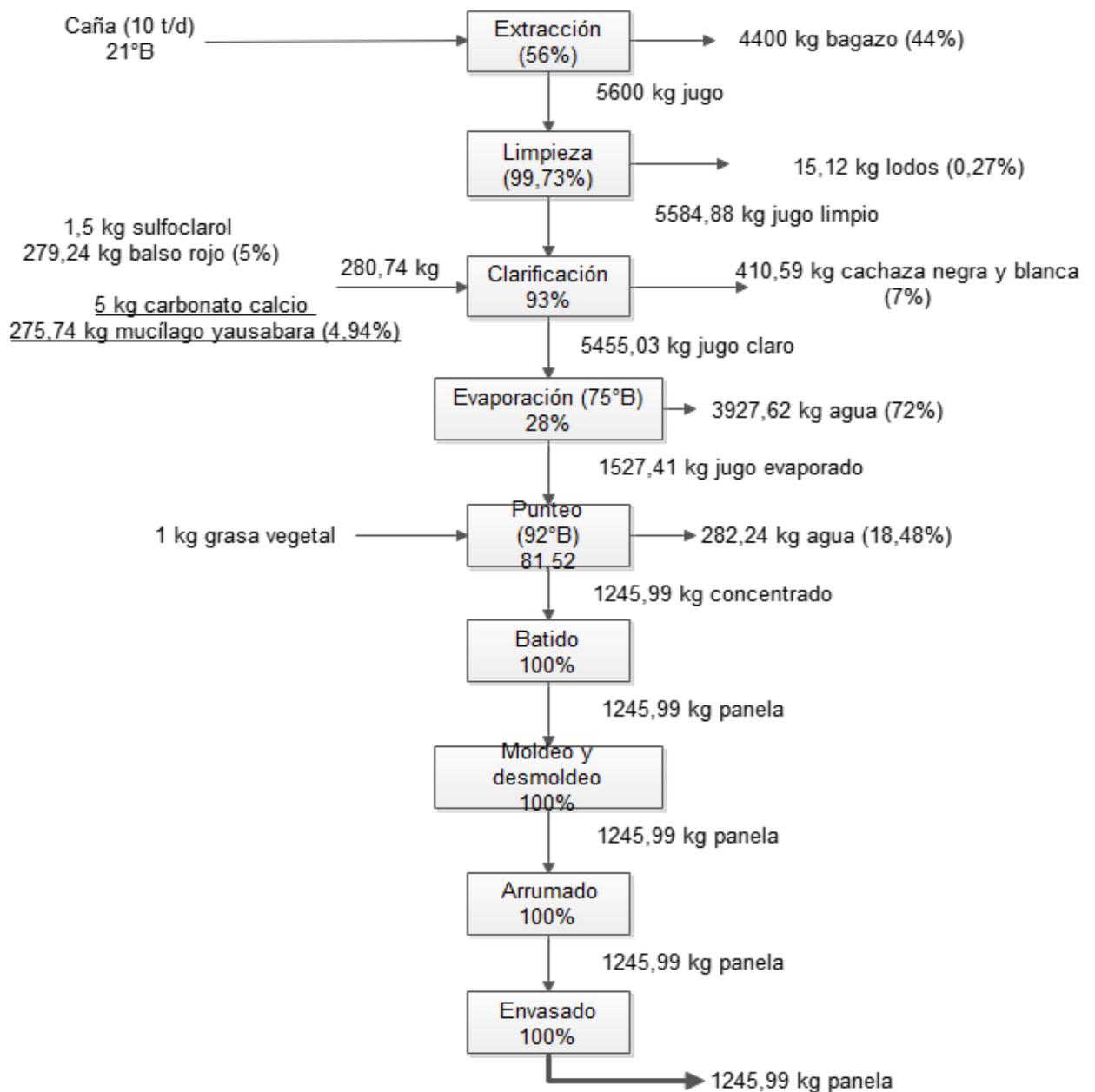


Figura 3.26. Balance de masa (10 tc) en un esquema de producción panelero

Ejemplo.

En la figura del proceso agroindustrial panelero en la Provincia de Imbabura, trabajan con 20 t/d y obtienen 2485,1 kg de panela. Con los datos determinar el rendimiento del proceso utilizando las masas de materia prima, jugo limpio, y del jugo clarificado. La relación:

$$R = \frac{kgp}{kgc}; \frac{kgp}{kgjcl}$$

Donde:

kgp=masa panela

kgc= masa de caña

kgjcl= masa jugo clarificado.

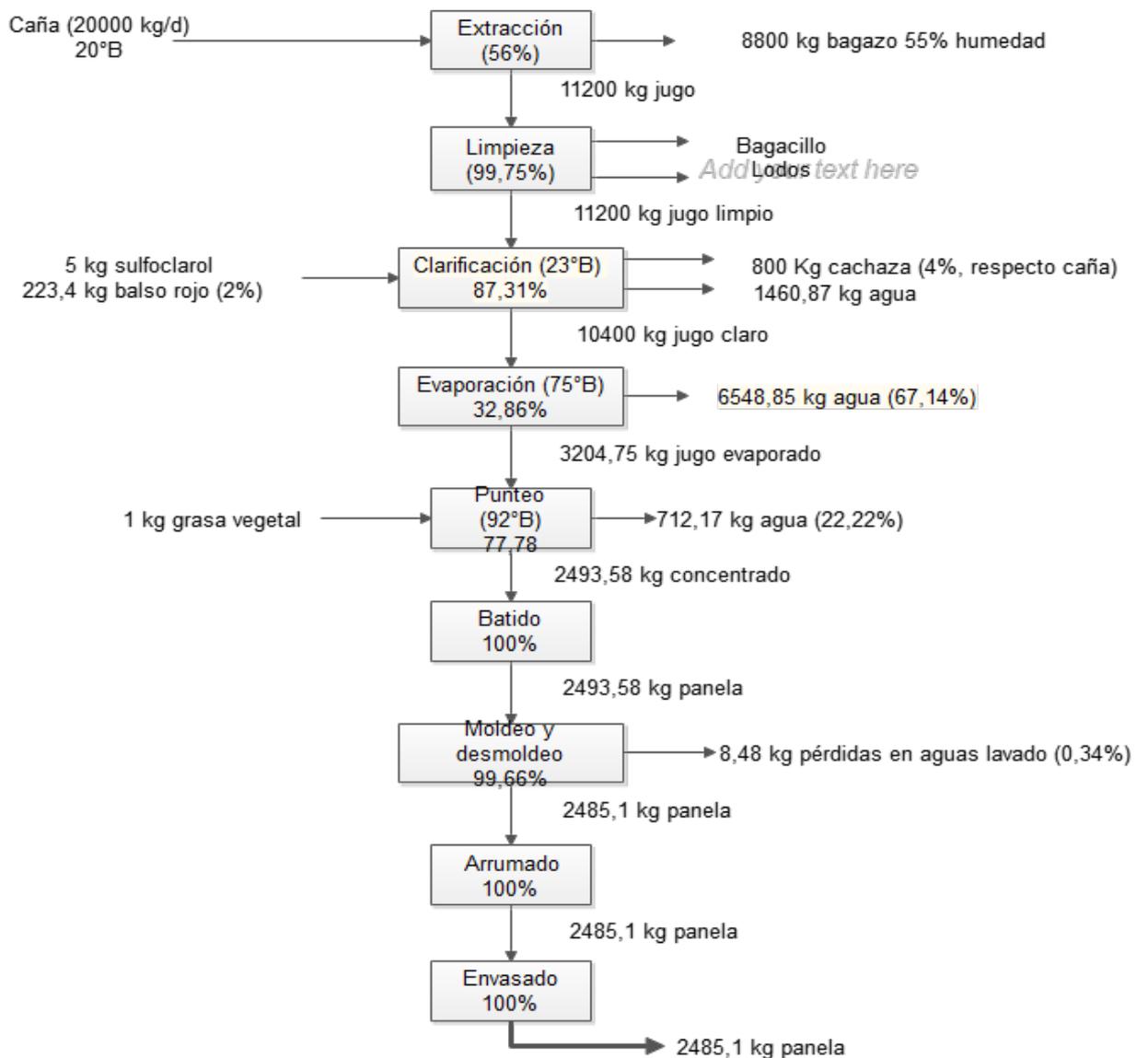


Figura 3.27. Balance de masa (20 tc) en un esquema de producción panelero

Considerando la figura anterior, indique ¿cuáles serían las tres causas principales para obtener menor cantidad de panela?

En la eficiencia de la purificación del jugo (limpieza y clarificación) intervienen los siguientes factores.

- Grado de madurez de la caña que afecta a la concentración de sólidos solubles en la solución (grados brix del jugo),
- Extracción del jugo
- Concentración final del producto que se obtiene.

3.4.2 Concentración en evaporador cerrado (simple efecto)

Ejemplo

Calcular la masa de jugo concentrado (mjc) que se obtendrá en un evaporador por cargas cuando se retiran 800 kg de jugo de caña (mdjc) y 440 kg de agua (ma).

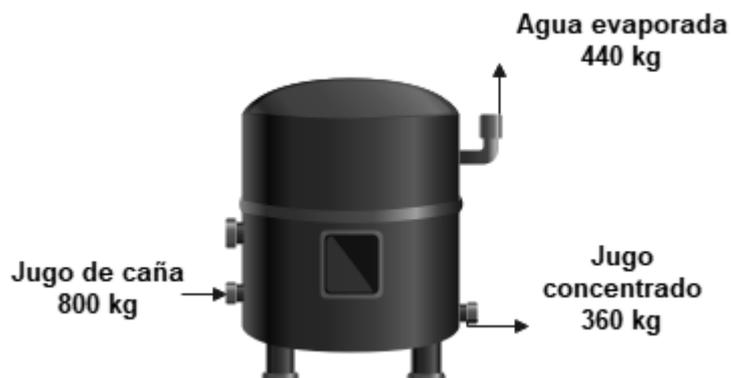


Figura 3.16: Esquema de balance de masa del jugo en evaporador cerrado

Ecuación:

$$mdjc = ma + mjc$$

$$Mjc = mdjc - ma$$

$$Mjc = 800 - 440$$

$$Mjc = 360 \text{ kg}$$

Ejemplo

Calcular el caudal másico del agua evaporada en (mfa) obtenido del jugo de caña, si en un evaporador continuo se alimenta 10 kg/s de jugo (mfjc) y para obtener 2 kg/ de concentrado (mfc).

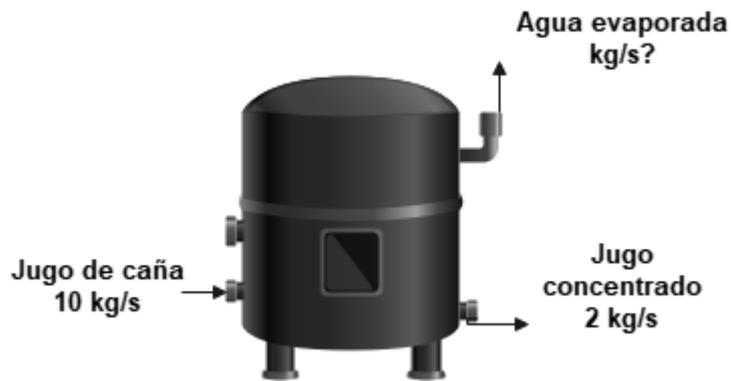


Figura 3.17: Esquema de flujo del jugo en evaporador cerrado

$$mf_{jc} = m_{fa} + m_{fc}$$

$$m_{fa} = mf_{jc} - m_{fc}$$

$$mf_{jc} = 10 \frac{kg}{s} - 2 \text{ kg/s}$$

$$mf_{jc} = 8 \text{ kg/s}$$

Ejemplo

Calcular la masa de concentrado al 73 % de sólidos que se obtendrá en un evaporador por cargas cuando se tratan 500 kg de diluido con un 18% de sólidos.

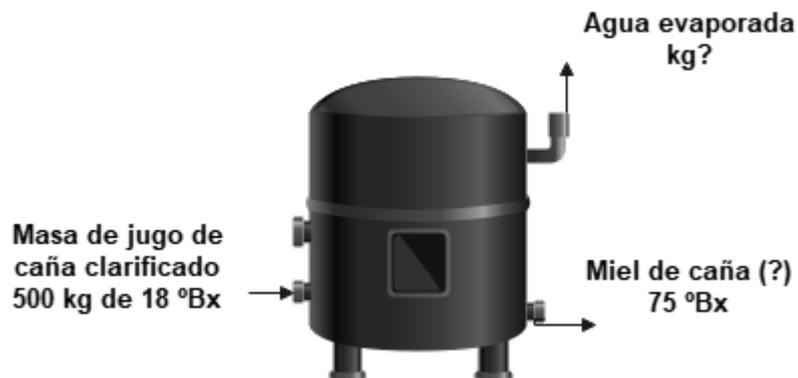


Figura 3.17: Flujo para la concentración de miel de caña en evaporador cerrado

$$500 \text{ kg (18)} = m_s \text{ (75)}$$

$$M_s = 5000/50 = 123 \text{ kg}$$

Ejemplo

¿Qué caudal másico de jugo parcialmente concentrado de caña de 40 °Brix, debe alimentarse a un evaporador para producir 10000 kg/h de miel de 65°Brix?

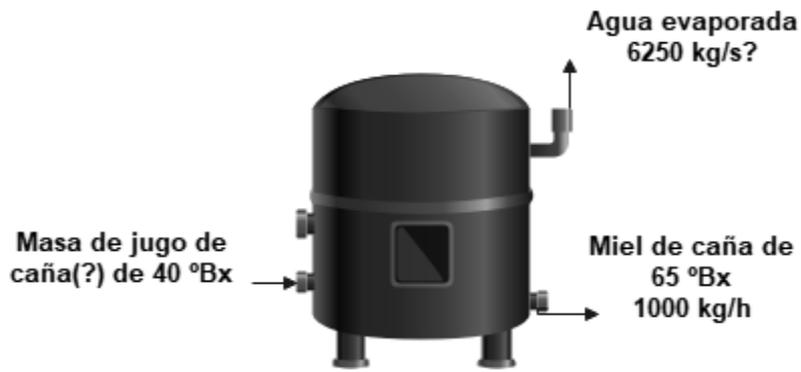


Figura 3.18: Esquema para la concentración de miel de caña en evaporador cerrado

$$M_j(C_j) = M_m(C_m)$$

$$M_j = \frac{M_m(C_m)}{(C_j)}$$

$$M_j = \frac{10000 \text{ kg/H}(65^\circ\text{Bx})}{(40^\circ\text{Bx})}$$

$$M_j = 16250 \text{ kg/h}$$

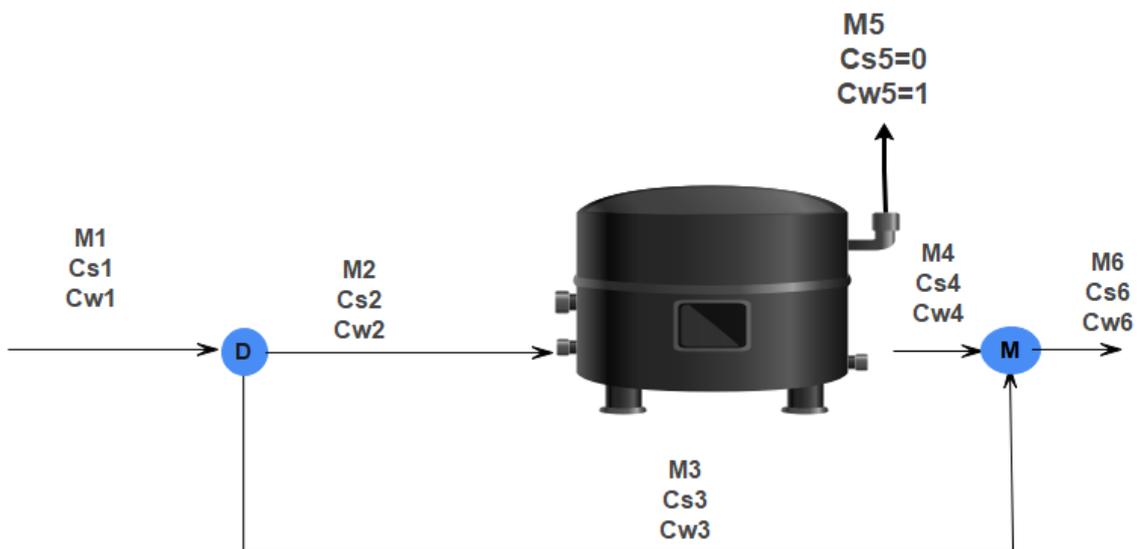


Figura 3.22: Esquema de balance de masa en evaporación cerrada

3.5 Manejo de terrones y conglomerados

Los terrones y conglomerado en la agroindustria panelera deben ser tratados como alternativa de optimización del producto. Estos deben ser derretidos o

comercializados a precios inferiores al azúcar natural y consecuentemente afecta los ingresos del productor. Existen equipos (molinos desintegradores de terrones de azúcar natural) que deben ser incorporados. La figura muestra un esquema de tratamiento de terrones y conglomerados.

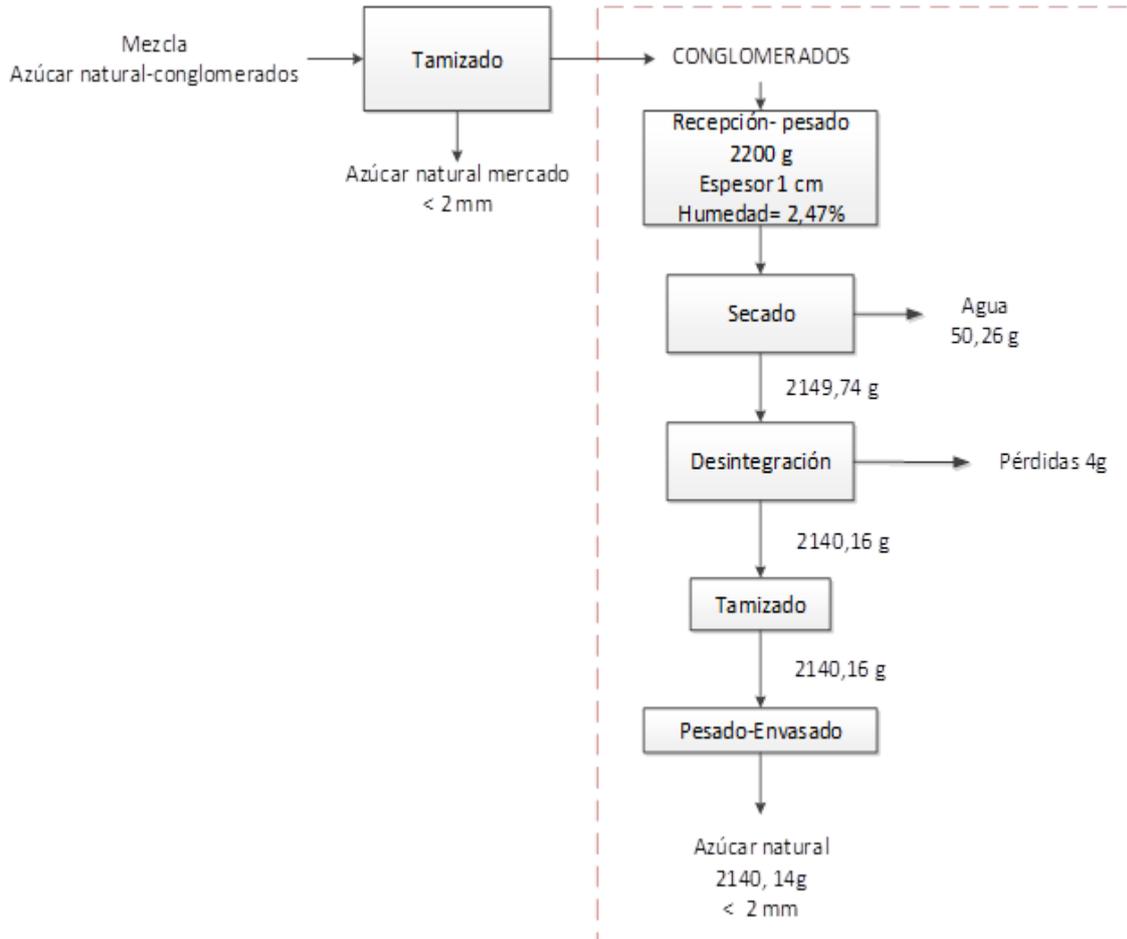


Figura 3.23. Esquema de manejo de terrones en la agroindustria panelera Ejemplo. La figura siguiente muestra una producción de 2250 kg de panela obtenida en las condiciones que se anotan. Si cambiamos la concentración a 21°Bx, cuántos kilogramos más de panela se obtendrá y valore la importancia de operar con materias primas (jugos) entre 21 y 24 brix.
Respuesta 117,5 kg.

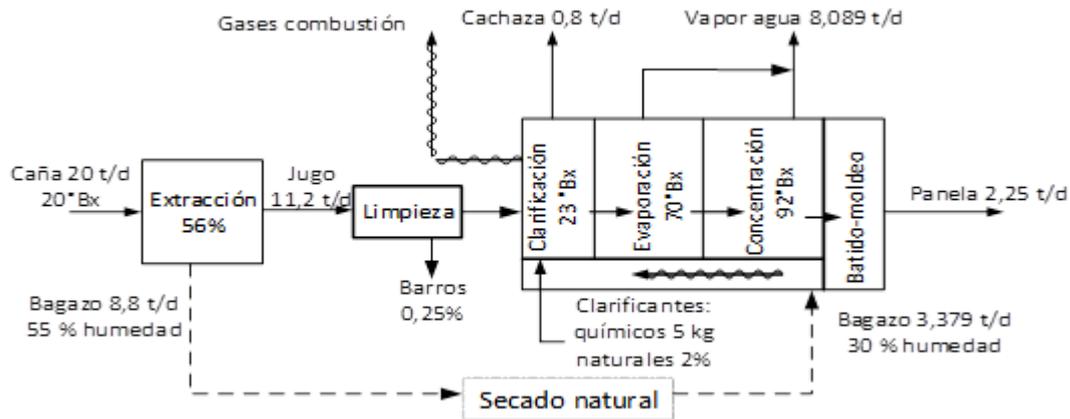


Figura 3.24. Proceso para panela con entradas y salidas de productos.

3.6 Balance de energía

3.6.1 Energía requerida para la clarificación

Desde la temperatura inicial del jugo hasta el punto de ebullición. Considere que la concentración de sólidos solubles no sufre cambios significativos o notables. Significa que el calor sensible requerido para llevar los jugos hasta estos valores, se opera según la siguiente ecuación:

$$Q_{cl} = M_j C_{pj} (t_f - t_i) \quad (\text{Ecuación 3.46})$$

$$C_{pj} \text{ (KJ/(kg}^\circ\text{C))} = (1 - (0.0056)^{(\circ\text{B}_{jc}))} * 4.19 \quad (\text{Ecuación 3.47})$$

Donde:

Q_{CL} = Calor requerido para la clarificación (kJ)

M_j = Masa del jugo (kg)

C_{pj} = Capacidad calorífica específica del jugo (KJ/(Kg °C))

t_f = Temperatura final de ebullición (°C)

t_i = Temperatura inicial del jugo (°C)

$^{\circ}\text{B}_{jc}$ = Brix del jugo crudo o inicial (°B)

4.19 = Factor de conversión de Kcal a KJ)

3.6.2 Energía requerida para evaporación

A alturas de 2225 msnm, la temperatura de ebullición del agua es 92°C, lo que significa que el punto de ebullición del jugo es 93,6°C aproximadamente. A partir de esta temperatura se inicia el proceso de evaporación hasta 60°Brix a 70°Brix. Usted elige el valor de la concentración que lleva el producto. También debe

considerar ya no es calor sensible sino calor latente, y que depende de la cantidad de agua a evaporar hasta la concentración elegida.

✓ Para el caso de miel hidrolizada trabajar a concentraciones entre 73 a 77°B, que equivale a 104 a 107°C±1°C.

✓ Para el caso de panela y azúcar natural, trabajar hasta aproximadamente 70°B. Debe fijar la concentración, midiendo los brix y determinar la temperatura según el gráfico de elevación del punto de ebullición. La ecuación es:

$$Q_{ev} = \lambda (M_{jcl} - M_{jev}) \quad (\text{Ecuación 3.48})$$

$$M_{jCL} \times \text{°B}_{jcl} = M_{jev} \times \text{°B}_{jev} \quad (\text{Ecuación 3.49})$$

$$M_{jev} = (M_{jcl} \times \text{°B}_{jcl}) / \text{°B}_{jev}$$

Donde:

Q_{ev} = Calor requerido para la evaporación (kJ)

λ = Calor latente de vaporización del agua (kJ/kg)

M_{jcl} = Masa del jugo clarificado (kg)

°B_{jCL} = Brix del jugo clarificado (°B).

Generalmente es el brix inicial del jugo crudo, porque a partir del punto de ebullición el producto empieza a concentrar por la evaporación.

M_{jev} = Masa del jugo evaporado (kg)

°B_{xjev} = Brix del jugo evaporado (°B)

Cuando se concentra a valores superiores de 70 °Bx, la ecuación es:

$$Q_{ev} = M_j C_{pj} (t_f - t_i)$$

$$C_{pev} = (1 - 0,007(\text{°B}_{ev})) * 4.19$$

3.6.3 Energía requerida para la concentración o punteo

A partir de los 70°B, se concentra hasta punto de panela (88 a 92) °Brix, que depende de la textura o dureza de la panela a producir y azúcar entre 95 a 96 °Brix, según la altura de ubicación de la fábrica. Las Ecuaciones son:

$$Q_{con} = \lambda (M_{jev} - M_{jcon}) \quad (\text{Ecuación 3.50})$$

$$M_{jev} \times \text{°B}_{jev} = M_{jcon} \times \text{°B}_{jcon} \quad (\text{Ecuación 3.51})$$

$$M_{jcon} = (M_{jev} \times \text{°}B_{jev}) / \text{°}B_{jcon}$$

La masa del jugo concentrado M_{jcon} , es la cantidad de panela o azúcar natural producidas.

Donde:

Q_{con} = Calor requerido para la concentración o punteo (kJ)

λ = Calor latente vaporización agua (kJ/kg) o (kcal/kg), según Hugot

M_{jcon} = Masa del jugo concentrado (kg)

$\text{°}B_{jcon}$ = Brix del jugo concentrado (°B)

Energía Total.

La energía total requerida para todo el proceso de elaboración del producto, es.

Caso 1:

Miel hidrolizada

$$Q_T = Q_{cl} + Q_{ev} \quad \text{(Ecuación 3.52)}$$

Caso 2: Panela y azúcar natural

$$Q_T = Q_{cl} + Q_{ev} + Q_{con} \quad \text{(Ecuación 3.53)}$$

Podemos expresar las ecuaciones de balance de energía así:

Intercambio de calor: $Q_g + nQ_c = 0$

Calor ganado por el sistema: $Q_g = Q_a + Q_{cl}$

Clarificación jugo: $Q_j = M_j C_{pj} (t_f - t_i)$

Cocción de miel: $Q_{cl} = M_{cl} (t_f - t_i) + E * \lambda$

$Q_{cl} = M_{cl} C_{pj} (t_f - t_i) + E * \lambda$

Calor cedido por el sistema:

Horno: $Q_{comb} = M_{comb} * \Delta H_{comb}$

ΔH_{comb} = Calor de combustión o capacidad calorífica del combustible

Eficiencia energética: $\%E = E_n / E_c$ (Ecuación 3.54)

E_n = Energía necesaria para el proceso

E_c = Energía cedida por el combustible

Eficiencia térmica

Para la eficiencia exergética es:

$$ne = Ee/Es$$

ne = Eficiencia exergética

Ee = Energía de entrada

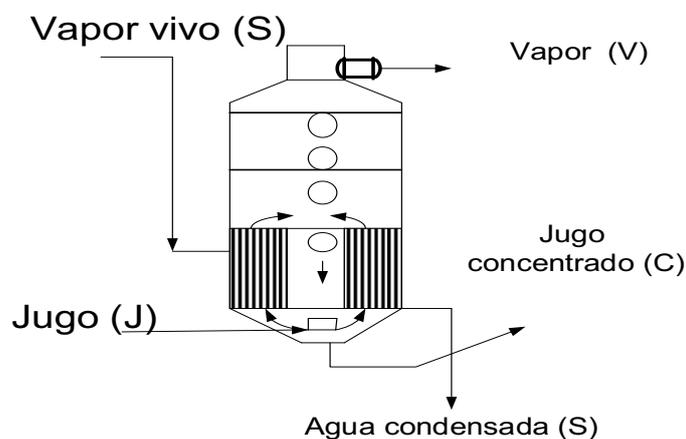
Es = Energía de salida

3.7 Modelos matemáticos en procesos con evaporadores de simple efecto

Se desarrolló la ingeniería conceptual, básica y de detalle del proceso para el prototipo de evaporador de simple efecto y sistemas de múltiple efecto empleado para la obtención de mieles de 70°Bx.; capacidad de producción de 50kgp/h (García et al, 2010); Concentraciones en sistemas de evaporación cerrado puede realizar entre 50 a 70 °Bx (Quezada et al, 2023).

Estudios orientados a la evaporación de jugos en un sistema de múltiple efecto para mejorar la eficiencia térmica y productividad y disminuir el impacto ambiental en la producción de panela, son valorados con resultados importantes (García et al, 2010; Ordoñez et al, 2012), que deben ser investigados con fines de valorar la sostenibilidad del sistema para el sector panelero.

El balance de masa para un evaporador de efecto simple es:



J: Masa jugo entra (jugo clarificado)

Bi: concentración jugo entra

C: Masa jugo concentrado que sale

Bf: Concentración jugo que sale

V: Masa agua evaporada

Cw: Concentración del agua (0)

Balance general:

$$J = C - V$$

$$C = J - V$$

Balance de concentrados

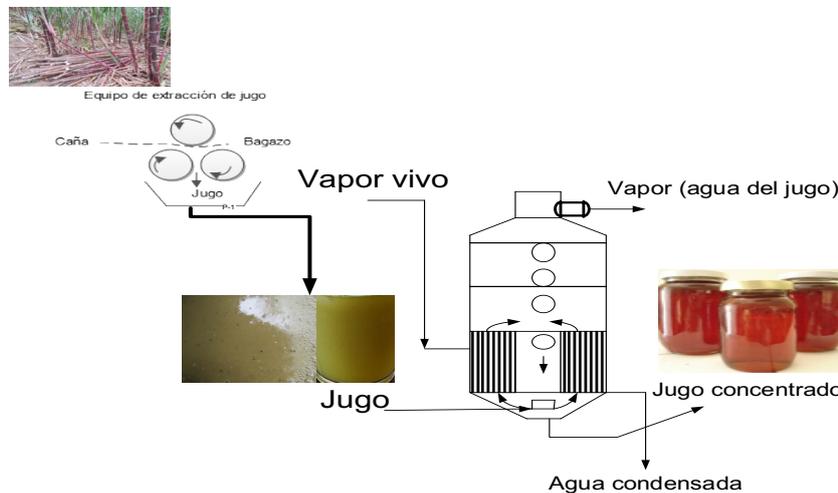
$$J(Bi) = C(Bf) + V(Cw)$$

$$J(Bi) = C(Bf)$$

Balance del vapor (concentración 0)

$$V = J - C$$

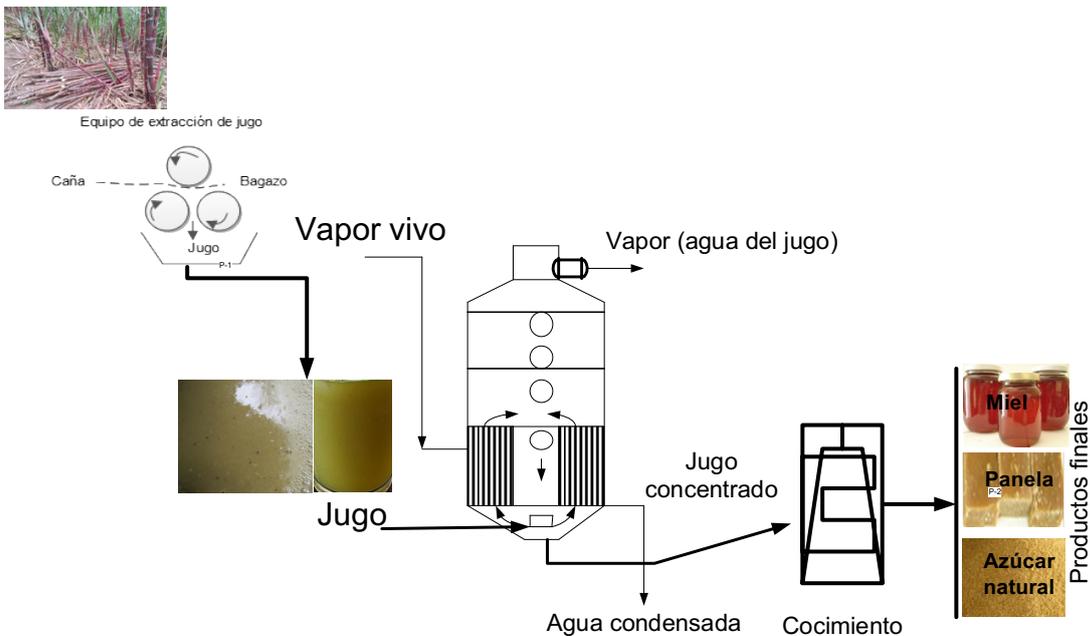
El uso de evaporadores cerrados se ajusta fácilmente a la producción de miel, sin embargo, ya en trabajos in situ, debe ajustarse a la concentración final del producto.



El procesamiento de la caña en una panelera utilizando evaporador cerrado de simple efecto, comprende actividades de extracción de jugos en el molino a valores del 60%. La purificación física del jugo (filtración y prelimpieza) que separa materiales extraños que sedimentan y flotan; y, la purificación química (coagulación de no azúcares) se realiza con óxidos y carbonatos de calcio o naturalmente con clarificadores (mucílagos), aglutinando los no azúcares por efecto del calentamiento del jugo, que facilita la separación de cachaza (residuo utilizado para alimentación animal) obteniendo jugos claros y brillantes que suman calidad al producto final. Actividades de evaporación (separación de agua del jugo) y cocimiento (punteo) permiten concentrar el producto hasta $75 \pm 2^\circ \text{Bx}$ para miel de caña, $90 \pm 2^\circ \text{Bx}$ para panela y $95 \pm 1^\circ \text{Bx}$ para azúcar natural y El envasado de miel se realiza directamente en recipientes de vidrio; la panela en envases (plástico-materiales de polyester), previo al batido (blanqueo) moldeo,

enfriado, desmolde y empackado y, el azúcar natural previo al envasado (material plástico) se efectúa operaciones de batido (blanqueo), cristalización, enfriado y tamizado.

Realizar el balance de masa para un proceso con 500 kg de jugo, con concentración de 21°Bx hasta valores antes indicados de miel, panela y azúcar natural (no centrifugado), según la figura siguiente.



$M_i = \text{jugo entra}$

$C_i = \text{concentración del jugo que entra}$

$M_f = \text{Masa concentrada que sale}$

$C_f = \text{Concentración de la masa que sale}$

$M_w = \text{Masa agua evaporada}$

$C_w = \text{Concentración agua } (C_w=0)$

Balance general:

$$M_i = M_f + M_w$$

$$M_i C_i = M_f C_f + M_w C_w$$

Balance de masa final

$$M_i C_i = M_f C_f$$

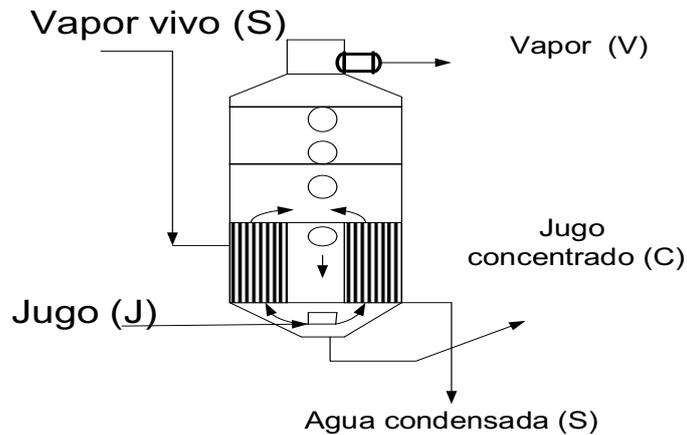
$$M_i = M_f C_f / C_i$$

$$M_f = M_i - M_w$$

Agua evaporada

$$M_w = M_i (1 - C_i / C_f)$$

Balance de energía para un proceso panelero utilizando un evaporador de simple efecto es:



h entalpia sólidos

H entalpia vapor

λ = Calor latente

V : vapor (agua del jugo)

S : Vapor que entra o vapor vivo

S : (Vapor de agua que entra = Vapor condensado que sale)

Entrada = Salida

$$J h_j + S H_s = C h_c + V H_v + S h_v$$

$$\lambda = H_v - h_v$$

$$J h_j + S H_s = C h_c + V H_v + S h_v$$

$$J h_j + S (H_s - h_s) = C h_c + V H_v$$

$$J h_j + S \lambda = C h_c + V H_v$$

3.8 Balance de masa (derivados del proceso agroindustrial panelero)

Según los diagramas indicados en los procesos paneleros, se obtienen bagazo y cachaza. Partiendo de lo señalado se realizaron balances preliminares, utilizando 1,2 gramos de fermento/Litro de mosto, tal y como se muestra en la figura. A qué temperatura se debe destilar el mosto alcohólico. ¿Cuál es el rendimiento de alcohol obtenido?



- **Cachaza-bagazo como alimento animal.**

La combinación de bagazo-melaza en alimentación de ganado es posible cuando escasean o no crecen los forrajes, preferentemente, en alimentación de ganado vacuno (Carnevali et al, 2001; Chaves, 2008) han obtenido resultados positivos con el uso de bagazo melacificado, con la proporción de proteína, en proporciones de 30 % bagazo y 70% melaza.

Estudios en Australia, para ganado, utilizan 15% de bagazo y 35% de melaza (50% de la ración) logrando aumentos de peso con promedio de 1,04 kg/animal/día (Sierra, 2004). Mezclas de bagazo 30%, melaza 50% y proteína animal 20%, son elaborados para novillos (Clavo, 1974; Ochoa, 1973).

Considerando las mezclas y los resultados de estos autores, se propone la obtención de bloques nutritivos o alimento animal, utilizando bagazo húmedo (30%), cachaza (50%), urea (19%) y (1%) de sal. De acuerdo al diagrama de la figura siguiente indique el porcentaje de rendimiento del producto final de bloques nutritivos.

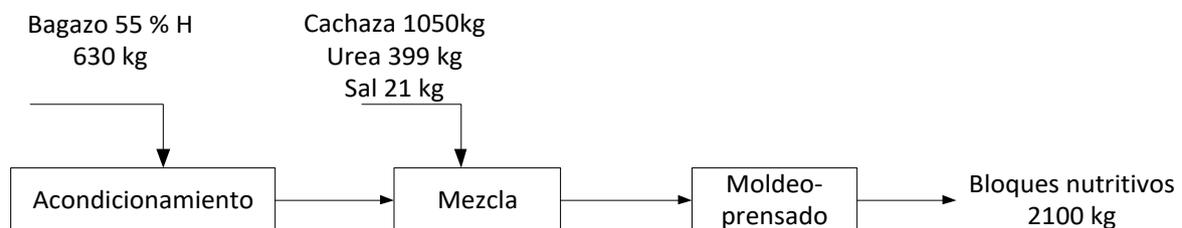


Figura: Balance de masa para la obtención de alimento animal.

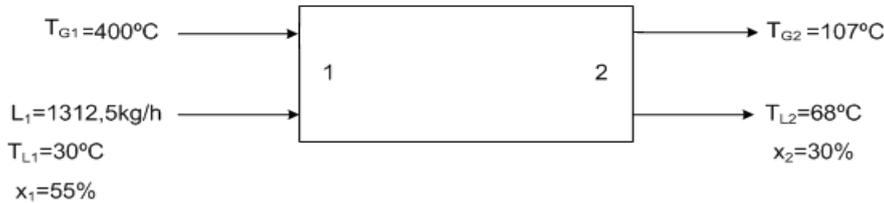
3.9 Balances para el secado de bagazo.

Se propone secar en la fábrica 10500 kg/día de bagazo con una humedad de 55% y que la humedad final del bagazo sea de 30%. La fábrica trabaja en jornadas de 8 horas/día.

Se utilizará el gas producto de la combustión que sale de la chimenea, valor que oscila entre 350 a 450 °C. Para los cálculos, se consideran los parámetros indicados por (Perry, 1988) para este tipo de secaderos, los cuales indican temperaturas de funcionamiento en rangos desde 150 a 700°C. En función de

esto se selecciona como temperatura de entrada al secadero, 400°C y la de salida del secador en 107°C.

Las pérdidas caloríficas se consideran del 15% del calor en el gas entrante.



Se sabe que: $X = x/(100 - x)$

Entonces: $X_1 = 1,222 \text{ kgagua/kgbagazo}$ y $X_2 = 0,429 \text{ kgagua/kgbagazo}$

Con esa composición se determina el peso molecular del gas. Luego para 1 mol de gas: $G_{seco} = 1 - 0,107 = 0,893 \text{ mol}$

Peso molecular medio del gas seco = 28,3. Cercano al del aire.

$Y_2 = (0,107 \cdot 18)/(0,893 \cdot 28,298) = 0,076 \text{ kgagua/kgbagazo}$

Asumiendo que la relación psicrométrica del gas es la misma que la del aire, dado la masa molar de estos gases y su temperatura de bulbo húmedo, como 68°C., la cual se toma como temperatura de salida del aire para la realización del diseño.

Datos

Bagazo:

Entrada:	$L_1 = 1312,5 \text{ kg/h}$	$T_{L1} = 30^\circ\text{C}$	$X_1 = 55$
Salida:	$T_{L2} = 68^\circ\text{C}$	$X_2 = 30$	

Gases:

Entrada:	$T_{G1} = 400^\circ\text{C}$
Salida:	$T_{G2} = 107^\circ\text{C}$ Humedad = $0,1686 \text{ kgagua/kggas seco}$

Luego:

$$H(G1)^{\wedge} = (1,07236 + 1,884Y_1) T(G1) + 2502,3Y_1 = 570,62 \text{ kJ / kgaireseco}$$

$$H(G2)^{\wedge} = (1,07236 + 1,884Y_2) T(G2) + 2502,3Y_2 = 676,39 \text{ kJ / kgaireseco}$$

$$H(L1)^{\wedge} = (C_{ps} + \text{Cal } X_1) T(L1) = 206,28 \text{ kJ / kgaireseco}$$

$$H(L2)^{\wedge} = (C_{ps} + (\text{Cal}) X_2) T(L2) = 241,60 \text{ kJ / kgaireseco}$$

$$L_s = L_1 (1 - x_1) = 590,63 \text{ kg/(hm}^2\text{)} \text{ Balance de masa:}$$

$$L_s (X_1 - 2) = G_s (Y_1 - Y_2)$$

$$G_s = 4621,68 \text{ kg/h}$$

Del balance de masa de los gases de combustión en condiciones actuales y tomando las reacciones básicas que se producen:

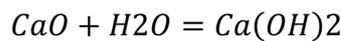
Reacción 1: $C + O_2 = CO_2$; Reacción 2: $2H_2 + O_2 = 2H_2O$.

Se estima que el aire tiene 80% de N_2 y 20 % O_2 por cada mol aire.

3.10 Problemas básicos

3.10.1 Riqueza de los elementos utilizados en el sector panelero.

1. El carbonato de calcio de fórmula $CaCO_3$, por calentamiento se obtiene óxido de calcio (cal viva) compuesto utilizado en la clarificación de jugos en forma de hidróxido de calcio (Cal apagada) y mejorar el pH del jugo de caña (4,5 a 5,5). Con esta información calcular la cantidad de Calcio en el carbonato. Utilizar tabla periódica de los elementos.



$$\text{Riqueza elemento (\%)} = \frac{\text{Peso atómico del elemento}}{\text{Masa molar del carbonato}} \times 100$$

$$\text{Riqueza elemento (\%)} = \frac{40}{100} \times 100 = 40\%$$

2. Determinar la cantidad de óxido de calcio a partir de 5 toneladas de carbonato de calcio.

Respuesta: 2.8 TM

3. Determinar la cantidad de óxido de calcio y anhídrido carbónico al poner a combustión 15 toneladas de carbonato de calcio con pureza de 75 %

4. Hallar los gramos de óxido de calcio que se obtienen en la combustión de 20 moles de carbonato de calcio,

Respuesta: 1120 g. CaO

5. ¿Cuántos gramos de hidróxido de calcio se forman a partir de la reacción de 1000 gramos de óxido de calcio con agua?

6. ¿Cuántas libras de agua son necesarias para apagar 75 libras de óxido de calcio?

7. El óxido de calcio (CaO) utilizado en el tratamiento de jugos de caña conocido como cal viva, se lo obtiene a partir del carbonato de calcio

(CaCO₃) por calentamiento, produciendo además dióxido de carbono (CO₂)

Calcule la composición porcentual de cada elemento de la fórmula del óxido

Respuesta:

71.43 % Ca

28.57 % O

8. El fosfato de calcio de fórmula Ca₃(PO₄)₂, es utilizado por algunos paneleros como insumo para subir el pH del jugo. Determinar la cantidad de calcio presente en el compuesto.

Respuesta: 48,32 % Ca.

9. Determine los porcentajes (riquezas) de los nutrientes en los compuestos: KCl, KNO₃ y CuSO₄·5H₂O, utilizados en la fertilización de cultivos de caña.

Respuesta: 48% de Cl, 52% de K

Respuesta: 14% de N, 39% de K

Respuesta: 25,5% de Cu, 13% de S, 26% de O, 36% de H₂O

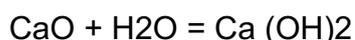
10. El amoníaco es un elemento fundamental en los fertilizantes de nitrato de amonio (NH₄NO₃) que libera nitrógeno en forma de ion nitrato (NO₃⁻), nutriente esencial para el cultivo de plantas, incluidos el de caña. Con la información, determinar la cantidad de nitrógeno presente en el compuesto.

Respuesta: 35 %N.

11. El ácido fosfórico es un compuesto muy utilizado en la industria azucarera y panelera para la clarificación de jugos y mieles. Un ácido tiene 32.63 % de P, 65.32% O y 3.06 H. Su masa molar es 98 g/mol. Establezca la fórmula del compuesto.

Respuesta: H₃P₀₄ (ácido fosfórico).

12. La piedra caliza, carbonatos, cal viva CaO o cal apagada Ca (OH)₂; en la industria panelera es utilizada para procesos de clarificación de jugos de la caña. Por calentamiento se convierte en CaO y Ca (OH)₂. Con la información valores si las reacciones químicas son correctas.



13. Determine la cantidad de CaO a partir de 2 kg de carbonato de calcio (CaCO₃), al 85 % de pureza.

100 g CaCO₃

56 g CaO

2000g CaCO₃

X=1120 g CaO

14. Convertir 20 gramos de sacarosa a moles de sacarosa.

$$2000 \text{ g C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} (1 \text{ mol C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) / (342 \text{ g}) = \text{mol H.}$$

$$40 \text{ moles de C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 (180 \text{ g}) / (1 \text{ mol de C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \text{g C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6.$$

15. La cal apagada utilizada en la clarificación de jugos de caña e incorporada en forma de lechada de cal, se conoce con el nombre químico de hidróxido de calcio, que se obtiene a partir de la hidratación de la cal viva. Si su masa molar es 74 g/mol, está compuesto por Ca= %; O= % y el resto hidrógeno. ¿Qué fórmula tiene el compuesto?

16. La masa molar de un azúcar es 180g/mol y está compuesto por 40 % de carbono, 6.66 % de hidrógeno y el resto oxígeno. Encuentre la fórmula y de qué compuesto se trata, si en su fórmula contiene tiene un grupo cetónico.

Respuesta: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (fructosa).

17. Uno de los principales azúcares del jugo de la caña está compuesto por 42.11 % C; 6,43 % H y 51.46 % de oxígeno. Su masa molar es 342 g/mol. Hallar la fórmula empírica y molar. ¿Cómo se llama el compuesto?

18. Una muestra de jugo tiene 25 ppm del ion fosfato. A partir de estos datos determinar los miligramos de ion fosfato presentes en 500 mililitros de jugo de caña.

Respuesta: 12.5

19. ¿Cuánto hay que pesar de carbonato de calcio para lograr 80 ppm de calcio?

20. Determinar la concentración del calcio en partes por millón, si se tiene una muestra de 0.5 litros que contiene 1,5 mg del ion calcio.

Respuesta: 3 ppm

21. Si 40 Toneladas de caña, tiene 75 ppm de H_3PO_4 , como ion fosfato (PO_4^{3-}). ¿Cuánto ácido fosfórico se necesita para llevar a 300 ppm?

Respuesta: 9 Kg.

22. Determine la composición porcentual de los tres principales azúcares de presente en el jugo de caña (sacarosa, glucosa y fructosa)

23. Determine la composición porcentual de la cal viva (CaO).

Respuesta: 71.43 % Ca; 28.57 % O

24. Un ácido tiene 32.63 % de P, 65.32% O y 3.06 H. Su masa molar es 98 g/mol. Calcule la fórmula y, ¿cómo se llama el compuesto?.

25. La masa molar de un azúcar es 180g/mol y está compuesto por 40 % de carbono, 6.66 % de hidrógeno y el resto es oxígeno. Encuentre la fórmula.
Respuesta: $C_6H_{12}O_6$
26. Un compuesto orgánico tiene 42.11 % C, 6,43 % H y 51.46 % de oxígeno. Su masa molar es 342 g/mol. Hallar la fórmula empírica y molar
27. Escriba la fórmula del ácido cítrico, si tiene 3 grupos ácido y un grupo alcoholico. El compuesto contiene 37,5 % de C, 4, 17 % de H y 58, 33 % = O. Su masa molar es 192 g/mol. Escriba la fórmula desarrollada.
28. Escriba la fórmula desarrollada del ácido ascórbico o vitamina C, tiene 3 grupos ácido. El compuesto contiene 40,9 % de C, 4, 55 % de H y 54, 55 % = O. Su masa molar es 176 g/mol.
29. Una muestra de 0.18 g de un compuesto orgánico, que contenía únicamente C, H y O, se quemó y dio como resultado 0.2640 g de CO_2 y 0.1081g de H_2O . La masa molar del compuesto es de 180 g/mol. Hallar la fórmula empírica y molecular del compuesto.
30. Un compuesto orgánico muy utilizado en la preparación de jarabes con peso molecular 180 g/mol, tiene la siguiente composición centesimal: C = 40 %, H = 6,67 % y O = 53,33 %. Hallar la fórmula mínima o empírica y la fórmula molecular. ¿De qué compuesto se trata?
31. El etanol, es un antiséptico utilizado para la desinfección de heridas y especialmente en la elaboración de bebidas alcohólicas. Hallar del compuesto, si la masa molar es 46 g/mol y está compuesto de carbono, hidrógeno y oxígeno. La composición centesimal es: C = 52.17 %, H = 13.04 %.
32. El metanol, está compuesto por C = 37.5 %, H = 12.5 % y O = 50%. Hallar la fórmula molar, si su masa molar es 32 g/mol.
33. Del análisis elemental cuantitativo de 0.2g de una sustancia orgánica se obtienen 0.2934g de CO_2 y 0.12g de H_2O , cuando dicha muestra se quema completamente. Utilizando esta información determine la fórmula empírica y molecular del compuesto, si el peso molecular es 180g/mol. ¿Qué compuesto es?

3.10.2 Problemas de extracción y clarificación

1. Determinar la capacidad de molienda de una agroindustria panelera (C_m) en toneladas/hora (tc/h) y toneladas de caña /día (tc/d) si la disponibilidad (D) de materia prima (caña) para la fábrica en toneladas/año es de 5000 toneladas, considerando que la empresa trabaja 8h/d, 5d/sem. durante 52 sem/año. Utilice la siguiente ecuación:

$$C_m = (5000 \text{ t/año}) / (8\text{h/d} \times (5 \text{ d}) / \text{sem} \times (52 \text{ sem.}) / \text{año}) = x \text{ t/h}$$

Respuesta: 2,4 t/h; 19,2 t/d.

2. Una fábrica procesa 50TCH y por cada tonelada de caña se logra 0,95 TM de jugo (47,5 Tj/h). La densidad del jugo mezclado es 1.05 kg/L. A partir de estos datos, determinar el volumen de jugo a calentar (L /h) y m^3 .

Respuesta: 45, 23 m^3

3. Una fábrica procesa 40 tc/d y por cada tonelada de caña se logra 0,45 TM de jugo. Con la información calcule el porcentaje de extracción y la cantidad de jugo en todo el proceso. Si el jugo mezclado de caña tiene una densidad de 1.05 kg/L, determinar el volumen de jugo a calentar en: L y m^3 . (1t=1000kg).

Respuesta:

45 %

18 t. jugo

17142,86 L

17,1428 m^3

4. El ingenio panelero, tiene una capacidad de proceso de 2,5 TCH (jornada de trabajo) con esta información determinar la cantidad de caña a abastecer para el siguiente día.

Respuesta: 20 TC

5. Realice el proceso de elaboración de miel, panela y azúcar natural (azúcar no centrifugado) utilizando diagramas de bloques, flujograma e ingenieril.
6. Determinar la superficie de cultivo de caña para una fábrica de panela con capacidad de 3 TCH para una jornada de trabajo (8h) si la producción media es de 50 TC/Ha. Considere semanas de 6 días y 42 semanas de trabajo/año de 6 días.

Respuesta: 120,96 Ha.

7. Confirme o niegue lo siguiente:

La caña = jugo de la caña + fibra de la caña

La caña = jugo de la caña + bagazo

Jugo extraído = caña – bagazo

Jugo de la caña = caña – fibra de la caña

8. Utilice la ecuación de extracción $\%E = (\text{Jugo extraído})/(\text{Jugo de la caña})$
Considere que: Jugo extraído = caña – bagazo y Jugo de la caña = caña – fibra de la caña. Realice todo el proceso matemático requerido, para demostrar, que el porcentaje de extracción es igual a la ecuación siguiente, si: $\%b = \frac{f_c}{f_b} \times 100$

$$\%E = \frac{100(Fb - Fc)}{Fb(100 - Fc)} \times 100$$

9. Determinar la extracción en una fábrica si su capacidad de trabajo es de 20 TCH. La caña tiene 15 % de fibra y la fibra del bagazo es de 35 %. La fibra del bagazo en una agroindustria panelera por lo general es inferior al 35 %, existen condiciones excepcionales que alcance el 40%.

Respuesta: 67,22%

10. Determinar el incremento del punto de ebullición de una solución compuesta por 60 gramos de glucosa y 70 gramos de agua.

Respuesta: 2.48°C

11. Hallar el punto de ebullición de la sacarosa en 300 g de solución en agua al 25 %.

Respuesta: 100.52°C

12. Una fábrica trabaja con una solución del 24 % en azúcar (sacarosa). Hallar el punto de ebullición ($K_e = 0,52 \text{ }^\circ\text{C} / \text{mol}$).

13. Si el incremento del punto de ebullición es de 3.55°C de una solución azucarada, cuando una solución está al 70%. ¿Hallar el peso molecular del producto?

14. ¿Indique la fórmula y masa molar del azúcar (sacarosa)?

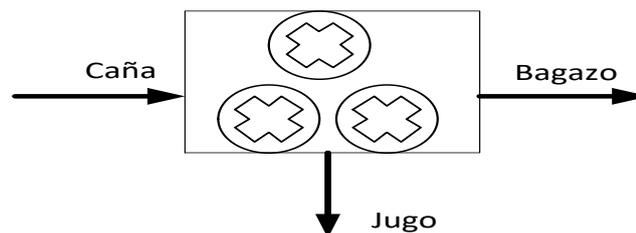
Respuesta: $C_{12}H_{22}O_{11}$; 341,78 g/mol

15. Verdadero o Falso: El jugo de caña es una solución pura o impura. ¿Porqué?

16. Realice un diagrama de proceso de bloques, flujograma e ingenieril para la elaboración de miel, panela y azúcar.
17. Determinar el porcentaje de extracción en peso y el porcentaje de bagazo de un trapiche panelero, al moler 60 kilos de caña de los que se obtiene 35 kilos de jugo.

Respuesta: 58,33 %

18. Considere la figura siguiente para que proponga la ecuación general del sistema de extracción.



19. Se tiene 12 Ha de caña con un rendimiento de 78 TC/ha (producción promedio para industria azucarera en Ecuador) y para agroindustria panelera (caña para otros usos) se estima entre 20 a 50 TC (promedio 35 TC/ha). Determinar las toneladas de caña producidas a los 18 meses del primer periodo vegetativo y si el panelero decide moler considerando el tiempo de 18 meses como periodo vegetativo (generalmente el primer período vegetativo es a los 18 meses y luego el corte se realiza cada 12 meses). Un año tiene 52 semanas. La molienda se realizará cada 3 semanas/mes para tener 17 moliendas/año.

Caña producida cada 18 meses.

Industria azucarera.

$$TC = 12 \text{ Ha} \times 78 \text{ TC/Ha} = 936 \text{ Ton.}$$

Industria Panelera.

$$TC = 12 \text{ Ha} \times 35 \text{ TC/Ha} = 420 \text{ Ton.}$$

Cantidad de caña producida cada año, según el periodo vegetativo (Industria azucarera)

$$TC = \frac{(936 \text{ TC} \times 12 \text{ meses})}{18 \text{ meses}} = 624 \text{ Ton}$$

Cantidad de caña producida cada año, según el periodo vegetativo (Industria panelera)

$$TC = \frac{(420 \text{ TC} \times 12 \text{ meses})}{18 \text{ meses}} = 280 \text{ Ton}$$

20. En un proceso panelero la extracción jugo se logró 67 kilogramos a partir de 140 kg de caña. Calcular el porcentaje de extracción.

$$\% E = \frac{67}{140} \times 100 = 48$$

21. De 140 kg de caña se obtiene 73 kg de bagazo. Hallar la extracción en peso (masa) y el porcentaje de bagazo

Respuestas:

$$\% E = (140 - 73)/140 \times 100 = 48$$

$$\% b = 100 - 48 = 52$$

22. Calcular la caña molida por molienda de 280 TC en una agroindustria panelera, para 8 moliendas de 6 días a la semana por jornada de 8 horas.

$$TC = (280 \text{ TC})/17 = 35$$

23. Calcular la cantidad de jugo y bagazo producidos, si la extracción de jugo fue del 48 %.

$$\text{Caña} = \text{jugo} + \text{bagazo}$$

$$\begin{aligned} Tb &= 280000 \text{ kg caña} - 134400 \text{ kg jugo} = 145600 \text{ kg bagazo} \\ &= 145,6 \text{ ton. bagazo} \end{aligned}$$

$$Tb = 280 \text{ TC} \times (100 - 48\%)/100 = 324,48$$

Las 324, 48 Tb corresponden al 52% de obtención de bagazo.

Caña molida por día.

$$TC = \frac{35 \frac{\text{TC}}{\text{sem}}}{6 \frac{\text{días}}{\text{sem}}} = 5,8 \text{ TCD}$$

Caña molina por día (8 horas jornada).

$$TC = \frac{5,83 \frac{TC}{día}}{8 \frac{h}{día}} = 0,7292TCH = 729,17 \text{ kgc/hora}$$

24. Un año tiene 52 semanas, de estas se trabaja 42 semanas de 5 días (sin sábados, domingo y días festivos) que corresponde aproximadamente a 252 días de 8 horas/jornada. Con la información determine ¿cuántas hectáreas necesita, si la producción es de 52 tc/ha?. ¿Cuántas toneladas de caña necesita una panelera si procesa 0,6 tc/h? ¿Cuánto bagazo y panela obtendría si la extracción es del 45% y los brix del jugo de 23 y de la miel de 75°Bx?

4,8 tc/d.

1209,6 tc/año.

23,26 hectáreas.

544,32 t jugo.

665,28 t bagazo

48,384 t cachaza (4%)

495,93 t jugo clarificado

150,086 t miel de caña.

25. Con los datos siguientes: peso de caña 60 kilos y fibra de la caña 12 %. Hallar los kilos de fibra y de jugo en la caña.

Respuestas: 7,2 Kg fibra; 52,8 Kg. jugo

26. Determinar el porcentaje de fibra y kilos de bagazo en una panelera que muele 5 toneladas de caña por hora, con un porcentaje de fibra de la caña del 12 % y del 50 % fibra en el bagazo.

Respuestas: 24 %, 1200 kg bagazo

27. Calcular el porcentaje de extracción del jugo obtenido en una panelera, si se trabaja con 60 TM de caña con una fibra del 12% y el porcentaje de extracción en peso es del 58,33%.

Respuesta: 66,28 %

28. Una fábrica panelera trabaja con 1000 kilos de jugo claro de 23 grados brix. ¿Calcular la cantidad de producto a obtener si desea concentrar hasta 77 grados brix?

Respuesta: 298,7 kilos.

29. Determinar la cantidad de panela producida en una fábrica si trabaja con 2000 kilos de caña / hora a 60 % de extracción. El jugo de la caña tiene 24 grados brix y se quiere concentrar hasta 90 grados brix. La cantidad de cachaza obtenida es del 3,5 % respecto al peso de la caña.

Respuesta: 301,4 Kilogramos

30. Con los mismos resultados del ejemplo anterior determinar la cantidad de panela si el porcentaje de cachaza es del 3 %, respecto al peso de jugo.

Respuesta: 155,2

31. Una fábrica trabaja con 600 kilos de caña por hora con el 12 % de fibra y obtiene un porcentaje de extracción en peso del 60 %. Hallar

La cantidad de jugo obtenido en peso

La cantidad de bagazo en porcentaje

El peso del bagazo, si la fibra del bagazo es del 30 %.

Los kilos de fibra en la caña

Los kilos de jugo en la caña.

Respuestas: 360 kilos de jugo

40 kg de bagazo

240 kg de bagazo

241 72 kg fibra de caña

528 kg de jugo en la caña

32. Con los datos del ejemplo anterior determinar los kilos y porcentajes de jugo y fibra que existen en el bagazo (Interprete los resultados)

Respuestas:

168 kilos de jugo = 70 %

72 kilos de fibra = 30 %

33. Según la figura siguiente, realice el balance de masa en el proceso de limpieza de jugos e identifique las 2 respuestas correctas.

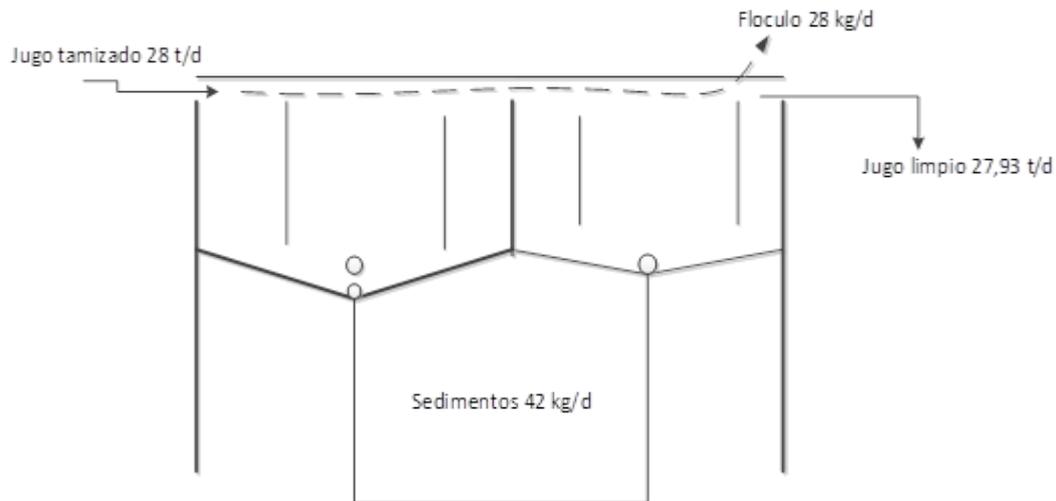


Figura 3.15. Esquema del flujo de jugo tamizado

$Jugo\ tamizado = Sedimentos$

$Jugo\ tamizado = Sedimentos + sólidos\ flotan\ (floculos)$

$Jugo\ tamizado + Sedimentos = sólidos\ flotan\ (floculos) + Jugo\ limpio$

$Jugo\ tamizado = Sedimentos + sólidos\ flotan\ (floculos) + Jugo\ limpio$

$Jugo\ Limpio = Jugo\ tamizado - (Sedimentos + sólidos\ flotan\ (floculos))$

34. Subraye la respuesta correcta. El flujo de la caña y bagazo se muestra en la figura siguiente. La cantidad de 8,8 t/d significa (en términos de proceso panelero) que el bagazo es:

Caña aplastada

Bagazo aplastado

Bagazo fresco

Bagazo tierno

Figura 2.2. Equipo de extracción de jugo de caña

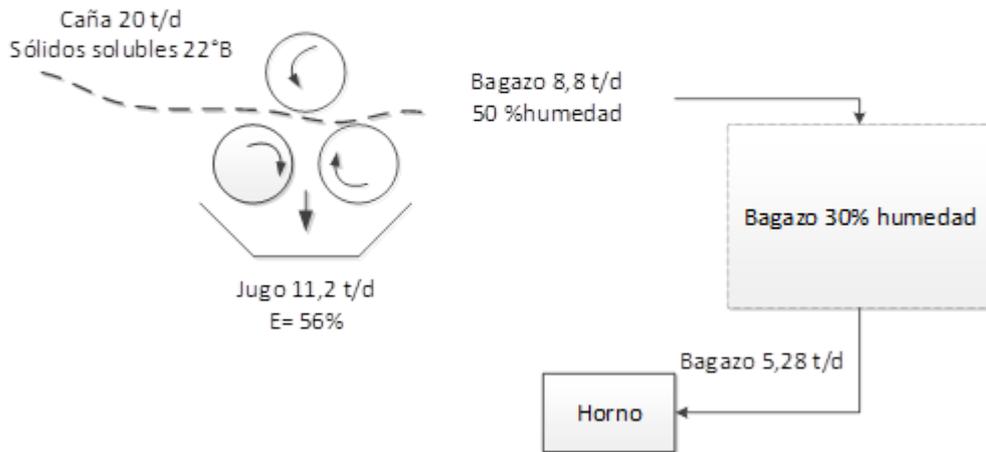
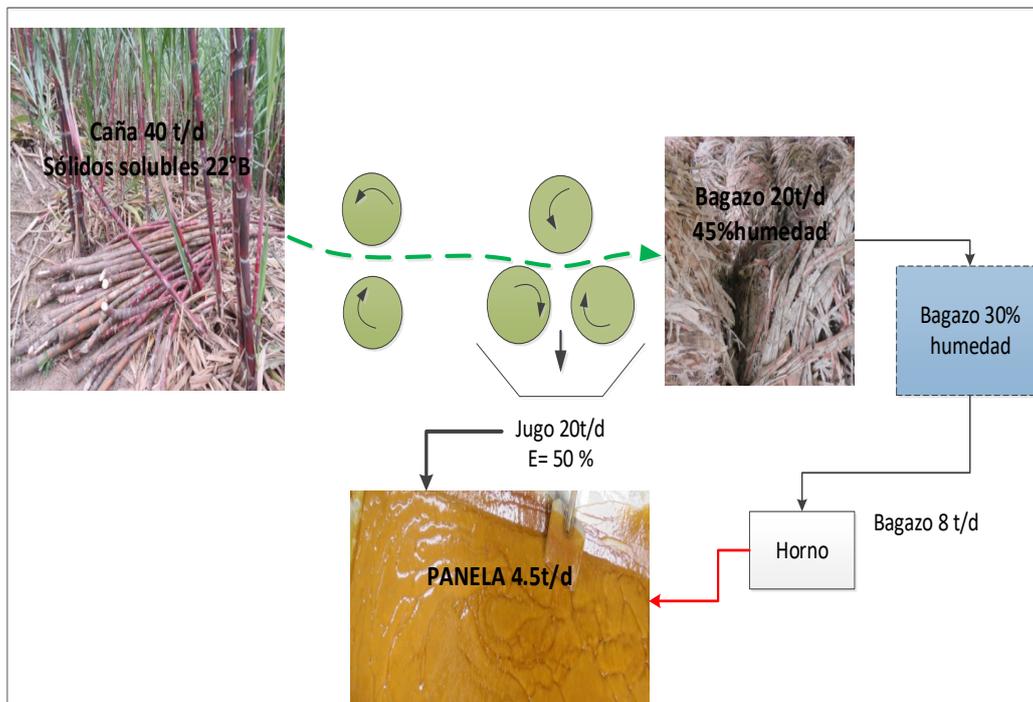


Figura. Flujo de la caña, jugo y bagazo

35. De acuerdo a los datos de la figura siguiente determine realizando las operaciones correspondientes: cantidad de bagazo y su porcentaje de extracción al 50 % en condiciones mejoradas a partir de un trabajo de 40 tc/d; jugo clarificado, si la cantidad de residuos (cachaza es del 4 % respecto a la masa de la caña) y cantidad de panela, si se concentró desde 22°Bx hasta 90°Bx.



36. Con los datos de la figura anterior (ejemplo) determine y compare resultados al incrementarse la extracción a 70% (condiciones óptimas).
37. Si el jugo obtenido al 50 % es 10000 kg de 20 tc, el jugo clarificado será: considerar la cantidad de cachaza al 4 % respecto a la masa de caña.

Respuesta: 9200 kg

3.10.3 Problemas de evaporación del jugo.

1. En un proceso de manufactura de jugo de caña, se necesita de un evaporador, que reciba y alimente 4500kg/día de jugo, de concentración del 21 %. Se desea concentrar hasta 60 %. Desarrolle los siguientes literales.

Realice un diagrama de proceso

Determine la cantidad de agua evaporada

Calcule la cantidad de concentrado final

Respuestas: 2925 kg de agua; 1575 kg de concentrado

2. Realice un diagrama de equipo y de proceso y coloque los datos de cada corriente del ejercicio anterior.
3. Se ha diseñado un evaporador para una alimentación de 22500 kg/día de jugo de caña, que produzca 16300 Kg/día de agua evaporada y una disolución concentrada del 70%. ¿Con qué concentración inicial se deberá alimentar el jugo y qué cantidad de concentrado al 70% se obtendrá?

Respuesta: 19,29 %.

4. Para concentrar jugo que contiene 12 % de sólidos pasa por evaporadores que trabajan al vacío y parte se deriva para diluir el jugo concentrado que sale del evaporador con 58 % de sólidos hasta la concentración final de 42 % de sólidos. Hallar el peso del agua evaporada por cada 100 Kg/h de jugo diluido que entra al proceso.

Respuestas:

70.24 kg/h

5. Hallar la cantidad de jarabe si se cuenta con 1000 kilos de jugo de 16°Bx y se quiere concentrar hasta 65°Bx.

Respuesta:

6. Determinar la cantidad de jarabe de 66°B, si se trabaja con 1000L. de jugo de 16°Bx

Respuesta: 242,42 L. de jarabe.

7. La panelera Nápoles, trabaja con 40 t. de jugo clarificado de 16°Bx y concentra hasta 55°Bx. Determinar la cantidad de agua a evaporar.

Respuesta: 28, 36 t. agua evaporada

8. Determinar la cantidad de agua a evaporar de 500 litros de jugo de 17°Bx y se concentra hasta 70°Bx.

Respuesta: 378.57 litros agua

9. Hallar la razón de evaporación (% agua evaporada) si el jugo de caña tiene 16°Bx y la meladura 66°B.

Respuesta: 73 %.

10. Determinar la cantidad de miel a la salida del evaporador de simple efecto de una fábrica que procesa 40000 Kg de jugo de 16°B hasta 68°B.

Respuesta: 9411,76 kg de miel

$$\text{Brix final} = 40000 \times 16 / 40000 - 30588,23$$

$$\text{Bf} = 640000 / 9411,77$$

11. Determinar la concentración final de sólidos solubles de la miel, si una panelera opera con 11200 kg de jugo clarificado de 22° Brix y obtiene 3100 kg miel.

$$^{\circ}\text{Bx}(\text{miel}) = \frac{\text{Jugo} \times ^{\circ}\text{Bxjugo}}{\text{jugo} - \text{agua evaporada}}$$

Aplicar la ecuación anteriormente revisada.

$$\text{masa miel} \times ^{\circ}\text{Bx miel} = \text{masa jugo} \times ^{\circ}\text{Bx jugo}$$

$$^{\circ}\text{Bx}(\text{miel}) = \frac{\text{Jugo} \times ^{\circ}\text{Bxjugo}}{\text{masa de miel}}$$

Agua evaporada = Jugo – miel

8100 kg agua.

$$^{\circ}\text{Bx}(\text{miel}) = \frac{11200 \times 22}{11200 - 8100} = 79,48$$

12. Calcular la cantidad de calor necesario en una panelera que procesa 2 TCH, si la extracción es de 65% y el jugo de 22°B, cuando la temperatura de jugo al ambiente es de 19°C. Concentra a punto de miel a temperatura de 105°C, de panela a 120°C y de azúcar natural a 125°C.

13. Se calienta 100 000 libras de jugo, siempre y cuando se desprecie el calor específico. La cantidad de calor Q será:

$$Q = m(\text{g}) \times \Delta T(^{\circ}\text{F}) \times C_e \left(\frac{\text{BTU}}{\text{lb } ^{\circ}\text{F}} \right)$$

$$Q = 100\,000 \text{ Lb}(218 - 100)^{\circ}\text{F} (1) \text{BTU}/(\text{Lb } ^{\circ}\text{F})$$

$$Q = 11800000 \text{ BTU} = 2973600 \text{ Kcal}$$

Si la concentración es 16°B, la energía (Q) será menor:

$$C_e = 1 - 0.006(^{\circ}\text{B})$$

$$C_e = 1 - 0.006(60)$$

$$C_e = 1 - 0.36$$

$$C_e = 0,64 \text{ BTU}/(\text{Lb } ^{\circ}\text{F})$$

$$Q = 7\,552\,000 \text{ BTU} = 1903104 \text{ kcal.}$$

14. La concentración del jugo (°Bx) es directamente proporcional a cantidad de energía requerida en un proceso; es decir que, a mayor concentración de sólidos solubles (°Bx) mayor energía requiere el proceso o viceversa.
15. Hallar la cantidad de energía y vapor para calentar 1000 kg. de jugo de 35 a 98 °C. El jugo tiene un brix de 18°, mientras que el vapor está a 112 °C.

Respuestas: 56196 kcal. ; 105.81Kg. vapor

16. Un proceso de producción de panela, una empresa rural trabaja con 1 TCH, y su producción es de 92 kilos de panela. Con la información calcular el Porcentaje de rendimiento del proceso.

Respuesta: 9,2 %

17. A partir de la cachaza de 21 grados brix, que se produce en las paneleras del Ecuador de la Provincia de Imbabura, se desea obtener alcohol. ¿Qué cantidad de agua y de cachaza se deben mezclar para obtener 15 litros de solución de 19 grados brix?

Cantidad de cachaza a poner = X

Concentración de la cachaza= 21 °Brix

Cantidad de agua a incorporar = Y

Concentración del agua = 0°B

Cantidad de producto a preparar = 15 kg

Concentración del producto a preparar = 19

$$X + Y = 15 \quad x = 15 - y$$

$$X (21) + Y (0) = (X+Y) (19)$$

$$21X = 15(19)$$

$$X = 285/21$$

X = 13.57 Kg de cachaza

Y = 1,43 kg agua

3.10.4 Problemas básicos de energía

1. Transformar 0,9 Kcal/ kg. °C a BTU/ L. °F

Respuesta: $0.9 \frac{BTU}{L \cdot ^\circ F}$

2. ¿Cuántas calorías corresponde a un BTU?

Respuesta: 252 cal.

3. ¿Un BTU a cuántos joules equivale?

Respuesta: 1055 J

4. ¿A cuántas calorías y kilocalorías equivale un BTU?

Respuestas: 252 cal; 0.252 Kcal.

5. ¿Cuántas calorías se necesitarán para calentar 125 gramos de agua de 23 a 100°C?

Respuesta: 9625 cal.

6. ¿Cuántos BTU se necesitan para calentar un galón de agua de 70 °F a 212°F? Un galón = 8.3 Libras

Respuesta: 1179 BTU

7. ¿Cuántas BTU se necesitarán para calentar 8,3 lb de agua de 70 °F a 212 °F?

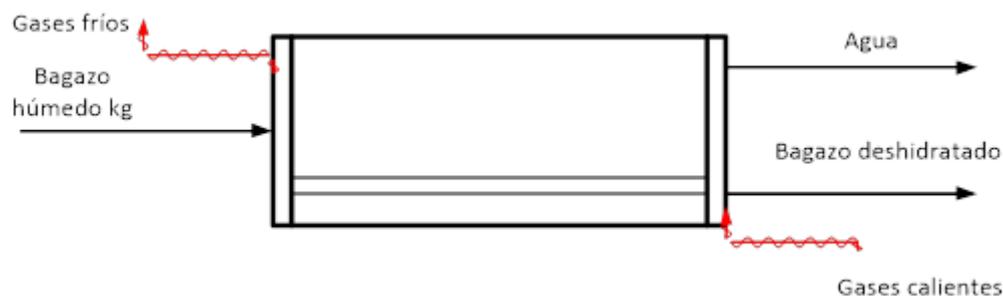
8. El calor específico de la sacarosa es de 0,299 cal/g.°C. ¿Cuál es la capacidad calorífica molar del azúcar?

Respuesta: 102, 3 Cal/ mol °C

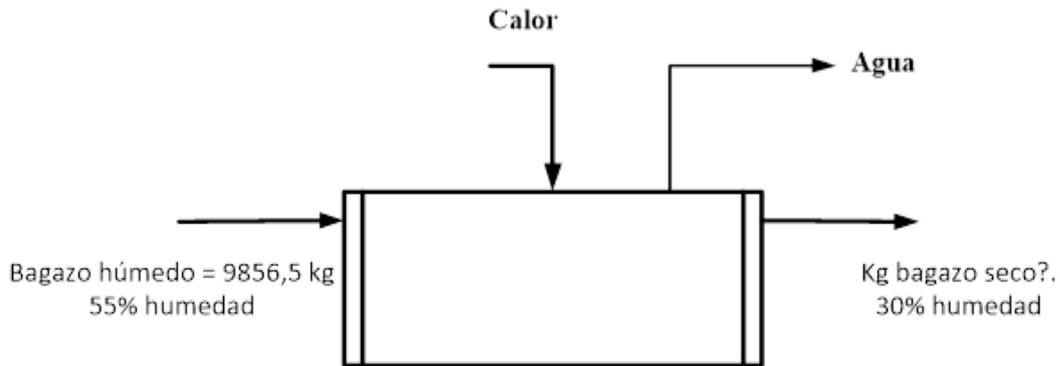
9. Hallar el calor específico de un jugo de: 20, 50, 60, 70, 80 y 98° brix.

3.10.5 Problemas secado del bagazo

El esquema de balance de masa en el secado de bagazo se muestra en la figura siguiente:

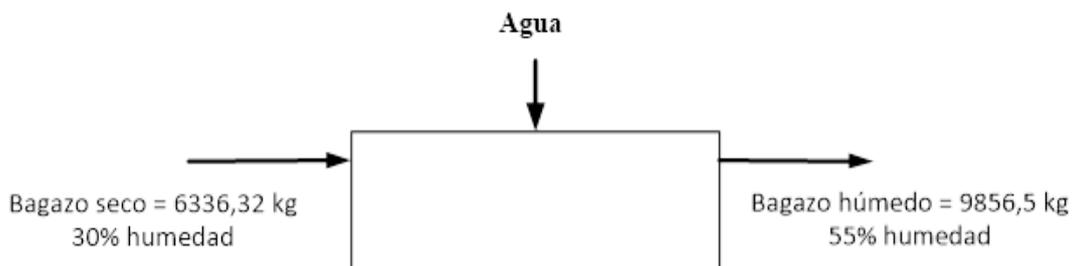


Ejemplo. Se desea secar bagazo 10500 kg de 55 % humedad hasta 30 % de humedad. ¿Qué cantidad de bagazo se obtiene? El balance de masa es:



$$\begin{aligned}
 m_{bh} \cdot h_{bh} &= (m_{bh} - w)h_{bs} + w \cdot 1 \\
 9856,5 \cdot 0,55 &= (9856,5 - w)0,3 + w \cdot 1 \\
 5421,075 &= 2956,95 + 0,7w \\
 w &= 2464,125 = 0,7 w \\
 W &= 3520,178 \text{ kg} \\
 b_s &= b_h - w \\
 b_s &= 6336,32 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Ejemplo. Calcular la cantidad de agua a incorporar para aumentar del 30 al 35 % de humedad del bagazo, según la figura. La recuperación de la humedad en el bagazo se calcula, de acuerdo al balance de masa:



$$\begin{aligned}
 M_{bs} \cdot h_{bs} + w \cdot 1 &= (m_{bs} + w)h_{bh} \\
 6336,32 \cdot 0,3 + w \cdot 1 &= (6336,32 + w)0,55 \\
 1900,896 + w &= 3484,976 + 0,55w \\
 1584,08 + 0,45w &= 0 \\
 W &= 3520,179 \text{ kg} \\
 m_{bh} &= m_{bs} + w \\
 9856,9 &
 \end{aligned}$$

El factor de secado para establecer la cantidad de bagazo a secar.

10500 100%
 9856,9 x = 91,3 % (Factor de secado = 0,913)

Ejemplo. Se tiene 10500 kg de bagazo húmedo con 55 % de humedad y se utiliza para uso de combustión en la hornilla 6336,32 kg. ¿Qué cantidad de bagazo se necesita secar?

Datos:

Energía total es: $Q_{ntn} = Q_n$; $Q_n = 8223467,1 \text{ kcal}$

Valor calórico bagazo (VCB) = 2818,84

Masa del bagazo húmedo total: mb_{ht}

¿Masa bagazo húmedo a secar (mb_{hs}) será?

Energía disponible es: $Q_d = m_{bs} (VCB)$; = 17 339036 kcal

Mb seco real usarse en combustión (Q_{bs}):

$$Q_{bs} = \frac{Q_d}{VCB} = 6336,32 \text{ kg}$$

$$mb_{hs} = mb_{ht} \times F_s = 10500 \times 0,913 = 9586,5 \text{ kg}$$

Bagazo húmedo sobrante (mb_{hss}):

$$mb_{hss} = mb_{ht} - mb_{hs}$$

$$mb_{hss} = 10500 \text{ kg} - 9586,5 \text{ kg}$$

$$mb_{hss} = 913 \text{ kg}$$

Referencias bibliográficas

1. Glyn James. Sugarcane. World Agriculture Series. Second edition. Science-Blackwell. 2004. USA. p 2-3. <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Cultures/Sugarcane.pdf>
2. IPBO/VIB. Sugarcane in Africa. IPBO/VIB. International Plant Botechnology Outreach. Africa. 2017. <https://ipbo.vib-ugent.be/sites/ipbo.sites.vib.be/files/2022-08/Sugarcane%20in%20Africa.pdf>
3. Quintero, Charao y Charagua. UTOPIA. Revista de Desarrollo Económico Territorial. N.º 15. junio 2019. FLACSO, Ecuador. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/15655/1/RFLACSO-Eu15-06-Quintero.pdf>
4. Quezada, Gallardo y Torres. El color en la calidad y aceptación de la miel hidrolizada, panela y azúcar natural. *Afinidad*. Vol.73, N° 573- marzo, 2016. Online ISSN: 2339-9686. Print ISSN: 00019704. Revista AFINIDAD/IQS. <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/308430/398445>
5. González E., Quezada W., González I., Concepción D., Miño J. Gestión del conocimiento para la industria química y fermentativa con apoyo de la optimización. Publicado por la Universidad Nacional de Misiones Argentina. 2018. ISBN 978-950-766-133-4 <https://rid.unam.edu.ar/handle/20.500.12219/3017> ; <https://rid.unam.edu.ar/handle/20.500.12219/3017?show=full>
6. Hugot, E. Manual para ingenieros azucareros. CECSA. 1984. Editorial Continental. México. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNI.13455/Similar>
7. Moore Jhon, otros. El Mundo de la Química. Conceptos y Aplicaciones. Segunda edición. 2000. Pearson Educación. México.
8. Quezada, Quezada, Gallardo y Col. Natural clarification of cane juice: technology and quality of hydrolyzed honey. *Revista AFINIDAD IQS*. España. Vol. 77,77-590, April-june 2020. ISSN 00019704. <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/371321>
9. Mott y Untener. Mecánica de fluidos. (Séptima edición) Pearson. 2015. (23-34). <https://lumen.uv.mx/resources/files/documents/2022/9/12/7235/b45a600c-e6ca-4cb3-9bc6-1e552a566192.pdf>
10. Quezada W., Recalde S., Proaño M., Cevallos E., Quilumbaquin E., Quezada W.D. Book Chapter. 8. HYDROLYZED CANE HONEY: Quality and food safety alternative. 2023. BOOK NAME. CURRENT PERSPECTIVES IN AGRICULTURE AND FOOD SCIENCE. Vol. 3, 14 April 2023, Page 103-119. India. <https://stm.bookpi.org/CPAFS-V3/issue/view/1025>
11. Galindo Y. Determinación de la viscosidad aparente. Universidad Autónoma Metropolitana de Iztapalapa. 2015. <https://es.slideshare.net/slideshow/determinacin-de-la-viscosidad-aparentepptx/267272241>
12. Clarificación del jugo de caña mediante el empleo de plantas mucilaginosas. *Revista: Instituto Cubano de Investigaciones sobre los derivados de la caña de azúcar*. ICIDCA, Vol. 48/Nº3, septiembre-diciembre 2015, pp-41-48. <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223132853007.pdf>
13. Quezada W., González E., Quezada W. David, Mora M. Cane honey: Process, quality, and harmlessness. *International Journal of Engineering Research*. Volume No.5, Issue No.7, pp: 589-593, Julio 2016. <https://www.ijer.in/publication/v5/134.pdf>

14. Urdaneta y col. Moistening factor effect on the determination of viscosities for crude oil-solvent mixtures. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia v.31 n.2 Maracaibo ago. 2008
https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702008000200005#:~:text=En%20general%2C%20la%20viscosidad%20aparente,operacionales%20de%20presi%C3%B3n%20y%20temperatura
15. Méndez A., Pérez L., Paniagua, A. M. Determinación de la viscosidad de fluidos newtonianos y no newtonianos (una revisión del viscosímetro de Couette). Modelling in Science Education and Learning. 2010. Volume 4 (1), pp 237-245. [Consultado 16 abril 2023].http://www.lajpe.org/jan10/36_Mendez_Sanchez.pdf
16. Malsover G., Pérez M., López A. Modelo experimental para estimar la viscosidad de fluidos no newtonianos: ajuste a expresiones matemáticas convencionales. Modelling in Science Education and Learning. 2017. Volume 10 (1) .<http://polipapers.upv.es/index.php/MSEL/article/view/5901/7235>
17. Rojas, Briceño y Abendaño. Fundamentos de reología. Universidad de los Andes. Venezuela. 2012 <https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/07/S521C.pdf>
18. Arregui de la Cruz F., Cabrera E., Cobacho R., Gómez E., Soriano J. Apuntes de mecánica de fluidos. Editorial. 2017. Universidad Politécnica de Valencia. España.<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/78258/PDFArregui%3BCabrera%3BCobacho%20%20Apuntes%20de%20mec%C3%A1nica%20de%20fluidos.pdf?sequence=1>
19. Leonardo, B. Mecánica de fluidos. Viscosidades. 2013. <https://mecanicadefluidos2013.blogspot.com/2023/07/viscosidad-absoluta-y-cinematica.html>
20. Valiente A, Ingeniería de fluidos. 2016. UNAM. https://www.academia.edu/39550547/Ingenier%C3%ADa_de_Fluidos
21. Martín Austin. Apuntes de Mecánica de fluidos. <https://oa.upm.es/14439/2/amd-apuntes-fluidos-v2.2.pdf>
22. John Gallagher. Unidades de Viscosidad. 2024 Hydramotion Viscosity. <https://hydramotion.com/es/technical/units-of-viscosity>
23. Instrumentación analítica. Unidades de Viscosidad. 2014. <https://www.instru.es/ficheros/1.CA-BR-%20que%20es%20la%20viscosidad-rev2.pdf>
24. Zylbersztajn, D. Conceitos gerais, evolução e apresentação do sistema agroindustrial. In D. Zylbersztajn, & F. N. Neves(Eds.), *Gestão dos Negócios Agroalimentares 2000*. (pp. 1–21). São Paulo:Pioneira
25. Davis Jhon and Goldberg Ray. A Concept of agribusiness. Divison of Research, Graduate School of Business Administration, Harvard University. 1957 Boston, pp. xiv, 1.3. 136.
26. The world bank. Growth and Productivity in Agriculture and agribusiness. Washington, DC. 2010, p. 23-51. <https://www.oecd.org/derec/worldbankgroup/46281811.pdf>
27. Van Fleet, David. What is Agribusiness? A Visual Description. 2016. USA. Amity Journal of Agribusiness. 1(1), (1-6). *Arizona State University, Tempe, United States*
28. da Silva Carlos, Baker Doyle, Shepherd Andrew W, Jenane Chakib y Miranda Sergio. Agroindustria para el desarrollo. 2013. FAO. <https://www.fao.org/4/i3125s/i3125s00.pdf>

29. AUSTIN, J. Análisis de proyectos agroindustriales. 1987. Publicado por el Banco Mundial. Editorial TECNOS. Madrid. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/244871468327019807/pdf/UNN830SPANISH0Box74493B00PUBLIC0.pdf>
30. TARTANAC, F. Conferencia “Contexto y Objetivos del Foro”. Oficial de agroindustrias de la FAO-Roma, en el “Foro Regional de Agroindustrias en América Latina, por una agroindustria competitiva, innovadora e incluyente”. 5- 7 de octubre de 2009. Lima – Perú. <https://www.fao.org/4/i2421b/i2421b00.pdf>
31. Camino S.; Armijos G.; Cornejo G. Productividad Total de los Factores en el sector manufacturero ecuatoriano: evidencia a nivel de empresas. Cuadernos de Economía (2018) 41, 241-261. https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/690838/CE_41_117_2.pdf
32. Pino S., Aguilar E., Apolo A., Sizalema L. Aporte del sector agropecuario a la economía del Ecuador. Análisis crítico de su evolución en el período de dolarización. 2018. Años 2000 – 2016. Revisita Espacios. Vol. 39 (Nº 32), p. 7. <https://www.revistaespacios.com/a18v39n32/a18v39n32p07.pdf>
33. BCE. Informe de la evolución de la economía ecuatoriana en 2022 y perspectivas 2023. Banco Central del Ecuador. Subgerencia de Programación y Regulación. https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Administracion/EvolEconEcu_2022_pers2023.pdf
34. FENAZUCAR. Sector azucarero del Ecuador. Panorama General. 2020. <https://obest.uta.edu.ec/wp-content/uploads/2020/12/Sector-azucarero-del-Ecuador-1.pdf>
35. ECObusiness. Guía para el cultivo de caña de azúcar. 2020. https://www.ecobusiness.fund/fileadmin/user_upload/Sustainability_Academy/Recursos/Guia_para_el_cultivo_de_cana_de_azucar.pdf
36. ESPAC. Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. 2020. INEC-ESPAC. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf
37. Quezada W., Quezada W.D., Quezada D., Proaño M. Iglesias. DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGROINDUSTRIA PANELERA: Análisis socioeconómico, técnico y ambiental. Publicado en la Universidad de Guayaquil. GRUPO COMPAS. Páginas 207. Guayaquil. Primera edición. 2021. Guayaquil Ecuador. ISBN:978-9942-33-442-8. CROSSREF. DOAJ DIRECTORY OF OPEN ACCESS, EBSCO, Latindex-Catálogo 2,0, Google Académico. https://isbnecuador.com/catalogo.php?mode=resultados_rapidos&palabra=978-9942-33-442-8
38. Quezada W. Quezada W.D. Molina. AGROINDUSTRIA PANELERA: Alternativa para su Intensificación. ESTEC. KNOWLEDGE E. 2018. in *6th Engineering, Science and Technology Conference (2017)*, ESTEC. KnE Engineering, pages 19–27. <https://doi.org/10.18502/keg.v3i1.1409> / ISSN: 2518-6841. <https://knepublishing.com/index.php/KnE-Engineering/article/view/1409/3422>
39. Muñoz Salvador & Robaina Daniel. Aplicación parcial del procedimiento para la evaluación de soluciones de agregación de valor económico en la Empresa

- Comercializadora Escambray. 2023. Econ. y Desarrollo vol.167 no.2. La Habana jul.-dic. 2023 Epub 01-Jul-2023.http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-85842023000200012
40. Vera-Gutiérrez, T., García-Muñoz, M. C., Otálvaro-Alvarez, A. M., & Mendieta-Menjura, O. Effect of processing technology and sugarcane varieties on the quality properties of unrefined non-centrifugal sugar. 2019. 5(10), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02667>.
 41. Nicolau, D., Expósito, M. y Tomás J.. Exploración y explotación de conocimiento en el ámbito empresarial. Validación de escalas en un sector industrial de bajo perfil tecnológico. Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa 21 (2015) 139–147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iedee.2014.07.001>.
 42. Rodríguez A.; Mondaini A., & Hitschfeld M.. Bioeconomía en América Latina y el Caribe: contexto global y regional y perspectivas CEPAL, Noviembre 2017 <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/fc7c806b-a4e2-4c22-b3a8-7f2f2df82d10/content>
 43. Cepal. Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las américas Una mirada hacia América Latina y el Caribe. 2021.CEPAL, FAO e IICA. – San José, C.R.: IICA, 2021. 132. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47208/1/CEPAL-FAO21-22_es.pdf
 44. Simon B.; Robert F.; Andreas G. & Henrik H. An industrial view of process intensification. Chemical Engineering and Processing. 2009. Volume 48, Issue 1, January 2009, Pages 329-332. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0255270108001086>
 45. Suppen, Nydia., Van Hoof Bart. Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño. Centro de análisis de ciclo de vida y diseño sustentable. 2009. Volume 48, Issue 1. Pages 329-332 CADIS, México. https://nanopdf.com/download/manual-centro-regional-de-produccion-mas-limpia_pdf
 46. Lutze, P.; Gani, R. & Woodley, J. M. Process intensification: A perspective on process synthesis. Chemical Engineering Processing 49. 2010. 547-558. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0255270110001182>
 47. Cubillos, y Estenssoro- Compilador, 2011. Energía y medio ambiente. Una ecuación difícil para América Latina: los desafíos del crecimiento y desarrollo en el contexto del cambio climático. Chile. <https://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/engov/20130827052932/engMAalCubillosEstenssoro.pdf>
 48. Quezada W; Contreras A; Domínguez E.; Molina F.; Quezada D.; Rojas J. Book Chapter 5. EVALUATING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE INDUSTRY OF PANELA BY LIFE CYCLE ANALYSIS. BOOK NAME. CURRENT OVEVIEW ON SCIENCE AND TECHNOLOGY RESEARCH VOL 9. B P INTERNATIONAL. India. Vol. 9, 16 November 2022, Page 101-114. Online ISBN: 978-93-5547-972-3. <https://doi.org/10.9734/bpi/costr/v9/8094F>
 49. Quezada W.; Quezada W.D; González E.; Recalde S.; Moreano N.; Molina F.; Pérez A. Book Chapter 11. Life cycle analysis of the panela agroindustry and intensification for its development: A bibliographical review. BOOK NAME. RESEARCH HIGHLIGHTS IN AGRICULTURAL SCIENCES. VOL. 6. BP-INTERNATIONAL. December 08-2022, Page 162. Reino Unido-India.

- ISBN-13 (15) 978-93-5547-979-2 (Print). 978-93-5547-980-8 (eBook). Online ISBN: 978-93-5547-980-8. <https://doi.org/10.9734/bpi/rhas/v6/8093F>
50. Espinal C., Martínez H., Ortiz L. Acevedo X. Cadena Agroindustrial De La Panela En Colombia - Una Mirada Global De Su Estructura Y Dinámica 1991-2005. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Acuacultura y Pesca. 2005. Observatorio Agrocadenas Colombia. http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2005112163343_caracterizacion_panela.pdf.
 51. García H., Peña A., López R., Duran E., Cardoso G. Desarrollo de un sistema de evaporación y concentración de jugos de múltiple efecto para mejorar la eficiencia térmica y productividad y disminuir el impacto ambiental en la producción de panela. CORPOICA, 2010. Colombia. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1258/45216_61488.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 52. Carlosama, P. F. Diseño del plan y documentación para la implementación de buenas prácticas de manufactura para la elaboración de panela granulada para las unidades productivas paneleras de la COPROPAP de pacto. 2009. Tesis para optar por el título de Ingeniera Agroindustrial. Quito. Ecuador.
 53. Aguiar, S. B. Bases técnicas para el establecimiento y manejo del cultivo de la caña en el departamento de Casanare. 2001. CORPOICA. Boletín técnico No. 24. Editora Guadalupe. Colombia.
 54. Barona, R. Proyecto de desarrollo tecnológico. Capacitación y obtención de nuevos productos derivados de la caña y manejo adecuado de la agroindustria panelera. 2002. Municipio de Mocoa. FUNACH-ASCAPAM. Colombia.
 55. Velásquez H.; Agudelo A. & Álvarez, J. Mejorando la producción de panela en Colombia. Vol. 21, Núm. 1, Junio 2005, Energía en la finca. <https://leisa-al.org/web/index.php/volumen-21-numero-1/2063-mejorando-la-produccion-de-panela-en-colombia>
 56. Osorio, G. Manual: Buenas Prácticas Agrícolas -BPA- y Buenas Prácticas de Manufactura -BPM-en la Producción de Caña y Panela. Colombia. 2007. FAO. ISBN 978-92-5-305910-2.
 57. Prada, L. E. Mejoramiento en la calidad de la miel y la panela. 2002. Corporación colombiana de investigaciones agropecuarias. Centro de investigación CIMPA. CORPOICA Regional 7. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/17691>
 58. Quezada, Quezada, Quezada, Proaño. Guía técnica de la agroindustria azucarera: Definiciones y cálculos. Universidad de Guayaquil. Editorial GRUPO COMPÁS. DIALNET. ISBN. 978-9942-33-631-6 / 192 páginas. Guayaquil, diciembre, 2022. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=876158>
<https://isbnecuador.com/catalogo.php?mode=detalle&nt=85562>
 59. Batule, E., Fundamentos de Clarificación del jugo de caña y meladura., Serie azucarera 15, 15 BN-9977-54-D56X, Capítulos I-II, Cuba, 2004, 177p. <https://es.scribd.com/document/704915428/Clarificacion-de-Eduardo-Batule>

60. Quezada, Quezada y Gallardo. Plantas mucilaginosas en la clarificación del jugo de la caña de azúcar. Revista Centro Azúcar. cen. az. vol.43 no.2 Santa Clara abr.-jun. 2016. *versión On-line* ISSN 2223-4861. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612016000200001
61. Terry Bull. The sugarcane plant. Manual canegrowing. Sugar Research Australia.2000. <https://elibrary.sugarresearch.com.au/bitstream/handle/11079/15541/Chapter%204%20The%20Sugarcane%20Plant.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
62. Ordoñez Roger., Hernández César., Pedraza Luis. Modelado de un Sistema de Evaporación de Múltiple Efecto para la Producción de Panela (Azúcar no Centrifugado). Información Tecnológica Vol. 23 N° 6 – 2012. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v23n6/art12.pdf>
63. Carnevali, A. Chicco y Shultz E. Bagazo, melaza y urea en raciones de engorde para bovinos. Sitio Argentino de producción Animal. Agronomía Tropical. 2001. 26(3): 229-236. Artículo científico, pdf. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion_proteica_y_con_nitrogeno_no_proteico/05-bagazo.pdf
64. Chaves, Marco. Uso de la caña de azúcar como forraje. Artículo técnico publicado en La Ventana Lechera. Revista Especializada. 2008. Edición N° 10, año 3. San José, Costa Rica. pp.45-51. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/Cania_azucar/07-uso_cana_azucar_como_forraje.pdf
65. Sierra Oscar. Valor nutritivo de la caña de azúcar y sus subproductos en la alimentación animal.2004. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/22259>
66. Clavo, Nelson. Respuesta a diferentes niveles de urea por novillos alimentados con melaza y bagazo de caña de azúcar. Tesis de magister Scientiae. Instituto de ciencias Agrícolas de la OEA. 1974. Costa Rica, p.13. Perry, 1988. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/3860>

Josué Israel Sópalo Romero.

Ingeniero Mecánico por la Universidad Politécnica de Lviv-Ucrania. Master en Ingeniería en el programa de Ingeniería Industrial por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM)-España. Investigador en proyectos con Autofabricantes (Madrid-España). Investigación perteneciente al Programa Laboratorio Cuerpo, Salud y Autonomía en MediaLab desarrollado dentro del Laboratorio PrototipaLab (Madrid-España). Autor de dos capítulos de libros en BP-International en industria de los aceites esenciales. Autor del libro: Balance de Masa y energía aplicados a la agroindustria panelera y trabaja en dos libros en etapa de revisión (Química y mucílago e hidrocoloides). Autor de artículos científicos en revistas de alto impacto (revisión). He participado en cinco ponencias nacionales e Internacionales (Ecuador, Cuba, España). Profesional con varios años de experiencia en procesos industriales. Creativo, dinámico, flexible, autónomo, organizativo con una alta capacidad de liderazgo con dotes gerenciales. Habilidades para dirigir grupos y resolver problemas bajo presión. Organizador y planificador de eventos industriales, crítico de sí mismo y de los demás. A lo largo de mi experiencia laboral he desarrollado alta capacidad de manejo de proveedores y clientes debido a mi cargo he sido el encargado de gestionar áreas de compras y ejecución de servicios tanto con personal propio como con proveedores. Experiencia en el manejo de personal.

Marcia Proaño Molina.

Ingeniera Agroindustrial por la Universidad Técnica del Norte y Magister en Agroindustrias mención Calidad y Seguridad Alimentaria por la Universidad de las Américas UDLA. Master en Educación mención Orientación Educativa por la Universidad Particular de Loja. Técnico en el Área Comercial de Banco Pichincha por 6 años. Auditor Interno EC/19/OIR/ 87156 ISO 45001:2018; PRODUCE SAFETY ALLIANCE, PSA Grower Training EC205006, ID-110871 2020; Auditor BRC Global Standar. Docente Secundaria por 1,5 años. Actualmente Docente Universitaria en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Producción de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo en las asignaturas de: Biología Celular, Bioquímica, Toxicología, Ética Profesional y Emprendimiento e Innovación. Autora cuatro libros técnicos en temas de Agroindustria Panelera e Ingeniería Química y del libro básico Ecuaciones Diferenciales para Ciencias de la Ingeniería a editarse en La UTEQ. Autor de más de 10 artículos científicos en revistas de impacto. Ponente en eventos nacionales e Internacionales.

Sandra Lisette Recalde Luna.

Química y Farmacéutica de la Universidad de Guayaquil, Máster Universitario en Biotecnología Molecular-Universidad de Barcelona-España. Analista de Gestión de Calidad-UNICOL, Analista Química de medicina nuclear-Solca. Asistente Investigador en Proyectos de la Universidad de Guayaquil. Miembro del Grupo de Investigación de Regulación del Metabolismo Lipídico en Obesidad y Diabetes (Betaoxi). Profesor universitario con 7 años de experiencia impartiendo las materias: Química General, Biología Celular, Biología Molecular, Química Analítica, Química Orgánica, Bioquímica, Toxicología- Facultad de Ciencias Químicas-Universidad de Guayaquil. Actualmente, docente de la Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad de Guayaquil, impartiendo las materias Biotecnología, Genética Agrícola, Metodología de la investigación e Industrialización de productos agrícolas. Tutora de tesis de grado y tutora de estudiantes de práctica de servicio comunitario. Coautora de 4 artículos científicos. Coautora de 2 capítulos de libro. Revisora de capítulos de libro de la Universidad Técnica de Babahoyo y revisora de libros de la Universidad de Guayaquil. Participante como Ponente en Congresos Nacionales e Internacionales y directora de Proyecto FCI-024 convocatoria 2023 UG relacionado a aceites esenciales.

Walter David Quezada Torres.

Ingeniero Industrial mención Gestión de Procesos (2012, Universidad Tecnológica Equinoccial - UTE. (Quito), Ecuador; Doctor en Ciencias Técnicas (2019, programa doctoral de Ingeniería Industrial, de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba). Su trayectoria laboral la ha desarrollado en la industria manufacturera ecuatoriana y la docencia universitaria (Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra) con experiencia en Sistemas de Gestión y Producción. Profesor Actual de Posgrado de la Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil (UTEQ), Ecuador. Sus áreas de interés e investigación se centran en la gestión de la tecnología, la innovación y el desarrollo sostenible. Autor de artículos científicos en revistas seriadadas de alto impacto en temas relacionados al desarrollo manufacturero y agroindustrial ecuatoriano y ha sido Autor y colaborador en ocho libros sobre gestión tecnológica e innovación de Industria Panelera y Azucarera. Autor en siete capítulos de libros publicados en Argentina, Cuba y Europa. Arbitro internacional de artículos científicos en revistas seriadadas de alto impacto en sus áreas de interés y ha participado como ponente en eventos internacionales.

Janett Cecilia Torres Tambo

Ingeniera en Recursos Naturales Renovables por la Universidad Técnica del Norte, Magister en Socioeconomía Ambiental en Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Costa Rica. Trabajó en la Red Agroforestal Ecuatoriana-RAFE, Sistema de Capacitación para el Manejo de los Recursos Naturales Renovables-CAMAREN, Proyecto Reducción de la Pobreza y Desarrollo Rural Local, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Consorcio de Municipios Amazónicos y Galápagos, Programa Nacional de Biocomercio Sostenible Ecuador, Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones, Instituto Nacional de Economía Popular y Solidaria, Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola. Ha realizado consultorías: Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo, Solidaridad Internacional-SI, Fundación KUYAY KAWSAY, Asociación Ancestral Kichwa de Kutu Kachi-ASAKIK, Asociación de Mujeres Indígenas de Chibuleo CURI CORAL, ONG Austriaca HORIZONT 3000, ECOCIENCIA-Programa Regional BioCAN, Fondo Ecuatoriano Populorum Progressio.

Walter F. Quezada Moreno

Ingeniero en Industrias Agropecuarias por la Universidad Técnica Particular de Loja y Máster en Docencia e Investigación. PhD en Ingeniería Química por la Universidad Central de las Villas. Profesor universitario por más de 30 años en: Química, Industria panelera y azucarera y de Ingeniería de Procesos, Estadística, Metodología de Investigación (UTN-UTC-ESPOCH) y Profesor de asignaturas como Metodología de Investigación Científica y Estadística. Profesor en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guayaquil (2019-2023) en las asignaturas de Química General y Orgánica, Química Agrícola, Industrialización de Productos Agrícolas. Coordinador del grupo de investigación Agrotecnología Sostenible, AGROTECSO de la Facultad de Ciencias Agrarias (2021-2023) UG. Director del Proyecto de Investigación FCI (MUCILAGOS-HIDROCOLOIDES) de la Universidad de Guayaquil. Director Editor de la Revista Científica ECOAgropecuaria 2021-2023 FCA-UG. Director del Centro de Investigación de la UTN y Coordinador del Comité Editorial UTC. Director en ocho proyectos de investigación. Autor de 2 FOLLETOS, 9 LIBROS técnicos en temas de: Agroindustria Panelera, Industria Azucarera, Modelación y optimización de procesos industria química, Gestión del conocimiento, Cálculos y Balance de masa; 7 capítulos de libro publicados en BP International y Argentina en temas de: agroindustria panelera, evaluación ambiental y aceites esenciales; más de 35 artículos científicos en revistas de alto impacto. Ha participado como árbitro evaluador de artículos científicos en revistas de alto impacto: Centro Azúcar-Cuba, Avances de Investigación Agropecuaria-México. Ingeniería Química, UNAM-México, Afinidad-España, UNEP-Venezuela, European Food Research and Technology-SPRINGER, Premier Publishers; científica UTEQ-Ecuador. Ponente en eventos nacionales e internacionales. Propiedad Intelectual Literaria (inédita) 2012, Ecuador. Acreedor del Premio CITMA de la Academia de Ciencias de Cuba (2015 y 2019) y Mérito a la Investigación Docente de mayor cantidad de artículos científicos en revistas de impacto mundial. 2019-2020 UG. Investigador Científico Acreditado SENESCYT. Actualmente es representante de Grupo Científico AGROCIENCIA Y TECNOLOGÍA SOSTENIBLE, ACITECSO e investigador particular.

ISBN: 978-9942-33-818-1



9 789942 338181

compAs
Grupo de capacitación e investigación pedagógica

   @grupocompas.ec
compasacademico@icloud.com