

DETERMINACION DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO EN PANELA

BELISARIO MACIAS ESPARZA¹, HUGO REINEL GARCIA BERNAL² y JESUS ANTONIO GALVIS V.³

Resumen. El objetivo del presente estudio fue determinar los mejores estados atmosféricos para el almacenamiento de la panela analizando el contenido de humedad de equilibrio del edulcorante, a unas condiciones estables de temperatura y humedad relativa.

Utilizando regresión lineal para el análisis de los datos, se obtuvo una ecuación multi-variable de tipo exponencial, aplicable para regiones que poseen temperaturas entre 13°C y 34°C y humedades relativas entre 60% y 90%.

La panela tal como se produce actualmente, con contenidos de humedad entre 8% y 10% base húmeda, solo podrá almacenarse durante períodos muy cortos de tiempo. Para períodos más largos, la panela debe almacenarse en condiciones ambientales que garanticen humedades de equilibrio inferiores al 7%.

EQUILIBRIUM HUMIDITY DETERMINATION IN MOLASES (PANELA)

Summary. The aim of the present research was to establish the best environmental conditions related to the storage, over a long period of time, for panela (unrefined brown sugar blocks).

In order to define those conditions, it was necessary to determine equilibrium moisture

curves related to a range of temperature between 13°C and 34°C, and a relative humidity range between 60% and 90%, which covers the environmental conditions of many panela's production regions.

A linear regression analysis was applied to obtain a multi-variable equation which allows the definition of equilibrium moisture curves, mentioned above.

Actual panela's moisture content (8% to 10% on wet basis), allows its storage only, for a short time under temperature and relative humidity ranges normally founded in production regions. In order to prolong it, storage room environmental conditions must be adjusted to obtain an equilibrium moisture content of 7% maximum.

INTRODUCCION

La velocidad de las reacciones de degradación de carácter químico, microbiológico o enzimático, en los productos biológicos, es afectada siempre por la actividad del agua (Lerici, 1986). Así mismo, esta última interactúa y depende de las condiciones del medio ambiente, humedad relativa y temperatura, en que se encuentra almacenado el producto.

El conocimiento de la humedad de equilibrio del producto, bajo diferentes condiciones ambientales, permitirá establecer la perecibilidad del mismo y definir los cambios necesarios en ese ambiente, para un almacenamiento seguro durante un tiempo pre-establecido.

En el mercado nacional de la panela por la alta rotatividad del producto, no se presenta un deterioro significativo. Sin embargo en algunas regiones del país, con infraestructura

¹ Investigador del Convenio ICA-Holanda para el Mejoramiento y Divulgación de la Industria Panelera (CIMPA).

² Director del (CIMPA).

³ Investigador del Instituto de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (CIMPA) Univ. Nacional de Colombia, Bogotá.

tura de los trapiches bastante rudimentaria y donde se almacena la panela en condiciones de alta humedad relativa, se presenta el desleimiento de la misma por el efecto del agua superficial (CIMPA, 1989).

Uno de los mayores limitantes para la exportación de la panela, es el desconocimiento de las condiciones ambientales para el transporte terrestre y marítimo, y para el almacenamiento portuario, que se traduce en el deterioro total del producto, por la acción combinada de los microorganismos y las reacciones físico-químicas producidas por la actividad del agua.

La panela es higroscópica, o sea que al exponerse al ambiente puede absorber o perder humedad, dependiendo de las condiciones climáticas del medio (Pinto, 1988).

Las causas que influyen en la absorción de humedad y consiguiente deterioro de la panela, se relacionan con su composición y el medio ambiente. Es más propensa a alterarse cuando contiene proporciones altas de azúcares reductores, baja sacarosa y alta humedad (Bayma, 1974 y Fouconnier y Basse-rean, 1975). A medida que aumenta la absorción de humedad ésta se ablanda, cambia de color, aumentan los azúcares reductores, disminuye la sacarosa y aparecen los microorganismos (Honig, 1969).

Generalmente los productores no almacenan la panela y los comerciantes acopiadores sólo lo hacen durante muy pocos días, porque el mercadeo es de alta rotatividad. Por este motivo, casi nunca se presentan problemas significativos de deterioro durante la comercialización. Sin embargo, ésta es una de las causales de la irregularidad y fluctuación constante de los precios de venta de la panela y; si éstos se quieren estabilizar, sería necesario establecer programas de almacenamiento de tiempo intermedio, colocando la panela en bodegas adecuadas o empacándola en materiales apropiados (CIMPA, 1989).

El Contenido de Humedad de Equilibrio (CHE) es el contenido de humedad (en base seca o base húmeda) que un producto alcanza, cuando se deja durante un tiempo suficientemente largo en determinadas condiciones de temperatura y humedad del aire.

La palabra equilibrio se refiere a que el producto no intercambia humedad con el aire que lo rodea. Esto sucede cuando la presión de vapor de agua en la superficie del

producto y en el aire son iguales. Si la presión de vapor del material es mayor que la presión de vapor del medio ambiente, la humedad se desplazará del producto a la atmósfera y; si es menor que la ambiental, la humedad se desplazará en sentido contrario (Cortés, 1981). Por lo tanto, el concepto de equilibrio no quiere decir que sea igual el contenido de agua en el producto y en el aire.

El Contenido de Humedad de Equilibrio, CHE, es de gran importancia en el secado, procesamiento y almacenamiento de los productos agrícolas. Durante el almacenamiento, los productos alcanzan el CHE correspondiente a la temperatura y humedad relativa promedias de la región. Esta humedad alcanzada por el producto, y la temperatura y calidad del mismo, determinan el tiempo máximo de almacenamiento sin deterioración.

El CHE disminuye al aumentar la temperatura, manteniendo la humedad constante, porque a pesar de aumentarse la presión de vapor de agua en la superficie del producto, el aumento es mayor en el producto por existir más moléculas de agua, 10.000 veces más aproximadamente, en éste que en el aire. Por esto el producto pierde agua por evaporación, hasta que las presiones de vapor de agua se igualan nuevamente (Cortés, 1981).

Dos métodos han sido utilizados para determinar el CHE:

— Método estático: En este método, se alcanza el equilibrio sin agitación mecánica del aire o del producto.

— Método dinámico: El aire con temperatura y humedad controlada, es forzado a pasar por el producto (Hall, 1980).

MATERIALES Y METODOS

Para determinar las condiciones de humedad de equilibrio de la panela se colocaron dos tipos de panela en ambientes conformados por la combinación de cuatro temperaturas con seis humedades relativas.

El estudio se realizó en las instalaciones del Convenio ICA-HOLANDA para el Mejoramiento y Divulgación de la Industria Panelera en Colombia, CIMPA, ubicadas en Barbosa (Santander) a una altura de 1.500 m.s.n.m, con 20°C de temperatura y 75% de humedad relativa promedias.

La panela escogida, se obtuvo en trapiches ubicados en la Hoya del Río Suárez (Boyacá-Santander). Una con el aditivo denominado hidrosulfito de sodio (clarol) y otra sin él.

Esta panela se colocó en una cámara con control digital de la temperatura y la humedad relativa. Las temperaturas empleadas fueron: 13°C, 20°C, 27°C y 34°C. La humedad relativa del aire se hizo variar, para cada temperatura, de 5% en 5% desde 60% hasta 80% y de 80% a 90%.

El procedimiento del ensayo fue el siguiente:

- Se determinó el contenido de humedad y "Brix iniciales de la panela (Hip) en estudio.

- Se trituró la panela en trozos, cuyos pesos oscilaron entre 1.25 y 1.65 g, buscando garantizar una estructura homogénea al producto.

- Se colocaron las muestras de panela (80 g aproximadamente), bajo condiciones fijas de temperatura y humedad relativa, hasta obtener un peso constante de éstas.

- Se inició el ensayo con la temperatura de 13°C, utilizando la menor humedad relativa en estudio: 60%. Cuando el producto alcanzó el CHE, se cambió la humedad relativa a 65% y se realizó la misma rutina, variando la humedad hasta llegar al 90%. En forma similar se continuó con las otras temperaturas.

- Se utilizó el método dinámico, forzando a pasar el flujo de aire sobre las muestras del producto, a una velocidad de 3,33 m/s.

- El peso de las muestras se registró a las ocho de la mañana y a las seis de la tarde. Los pesos obtenidos, inicial y cuando la panela alcanzó la estabilidad, se utilizaron en el cálculo de la humedad de equilibrio, de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$Pms = Pmh * \left(\frac{100 - Hip}{100} \right)$$

$$CHEp \equiv \frac{Pmche - Pms}{Pmche} * 100$$

Donde:

- Pms = Peso de la muestra seca, g
- Pmh = Peso de la muestra húmeda, g
- Hip = Humedad inicial de la panela, %
- CHEp = Contenido de Humedad de Equilibrio de la panela, %

Pmche = Peso de la muestra cuando alcanzó el CHEp

Estadísticamente el ensayo se planeó bajo un diseño factorial con 2 tipos de panela, 4 temperaturas y 6 humedades relativas, para un total de 48 tratamientos. Para cada tratamiento se hicieron 4 repeticiones y por lo tanto el número total de pruebas fue de 192.

Una vez realizados los análisis de varianza y las pruebas de Duncan correspondientes, se determinó por regresión lineal, el tipo de curva y ecuación que se ajustaba e interpretaba mejor el comportamiento de cada isoterma, teniendo como variable a la humedad relativa.

Posteriormente se realizó con todos los datos obtenidos, una regresión múltiple teniendo como variables la temperatura y la humedad relativa. Esto para determinar la ecuación, que describa el comportamiento de la panela a las condiciones ambientales comprendidas entre 60% y 90% de humedad relativa y entre 13% y 34% de temperatura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Humedad inicial de la panela. El contenido de humedad inicial de la panela (Hip), para cada una de las cuatro temperaturas, se citan en el Cuadro 1. Hubo mayor diferencia de humedad inicial entre los dos tipos de panela, que entre las muestras de la misma clase al comenzar cada prueba de temperatura. Esto posiblemente no es debido a uso del aditivo, si no a que las muestras, para cada tipo de panela, fueron tomadas en diferentes trapiches. Por otra parte, estos valores concuerdan con los promedios de la Hoya del río Suárez; en otras regiones como el eje cafetero o las zonas paneleras de Antioquia, el

Cuadro 1. Humedad inicial (% base húmeda) de la panela (Hip), utilizada en el ensayo.

| Temperatura (°C) | Humedad de la panela | |
|------------------|----------------------|----------------|
| | Con clarol (%) | Sin clarol (%) |
| 13 | 8,1 | 9,0 |
| 20 | 7,9 | 9,1 |
| 27 | 7,4 | 9,3 |
| 34 | 7,8 | 9,0 |

contenido de humedad fluctúa entre 4% y 6% (CIMPA, 1989).

Contenido de humedad de equilibrio de las muestras. Los contenidos de humedad de equilibrio (CHE) promedio para los dos tipos de panela, con clarol y sin clarol, encontrados bajo las diferentes condiciones ambientales, se muestran en el Cuadro 2. La humedad de equilibrio varía intensamente con la humedad relativa, sobre todo cuando ésta supera el 80% y disminuye ligeramente con el aumento de la temperatura. De acuerdo con lo anterior y si la actividad de los microorganismos y la velocidad de las reacciones de deterioro por acción enzimática o fisicoquímica, dependiesen sólo del contenido de humedad de la panela, los climas con temperatura alta y baja humedad relativa serían los ideales para conservar este producto.

Análisis estadístico y determinación de los modelos matemáticos, para interpretar el contenido de humedad de equilibrio (CHE). El Cuadro 3 contiene los resultados del análisis de varianza, el cual muestra la influencia altamente significativa que tienen la temperatura y la humedad relativa del ambiente, sobre el contenido de la humedad de equilibrio de la panela.

Respecto al uso del aditivo hidrosulfito

de sodio (clarol), este análisis indica que no tiene ninguna influencia significativa sobre el contenido higroscópico de equilibrio.

La humedad relativa tiene mayor efecto sobre el CHEp, que la temperatura, porque una diferencia de 21°C (13°C a 34°C), solamente afecta el CHEp en 5%, mientras una diferencia de 30% (60% a 90%) de la humedad relativa, afecta al CHEp en 24%.

Después de graficar los puntos reales y de hacer regresiones con diferentes tipos de curvas, se encontró que las ecuaciones exponenciales, eran las que mejor interpretaban el comportamiento de la humedad de equilibrio de la panela, presentando el mejor coeficiente de correlación. Los coeficientes de estas ecuaciones, para cada una de las 4 temperaturas, manteniendo a la humedad relativa ambiental como variable dependiente, se encuentran en el Cuadro 4.

Combinando la temperatura y la humedad relativa como variables dependientes, se halló la ecuación para el cálculo del contenido de humedad de equilibrio de la panela, CHEP, para ambientes con temperaturas comprendidas entre 13°C y 34°C y humedades relativas entre 60% y 90%. Como en los casos anteriores, la ecuación que mejor se ajustó a los datos reales fue la de tipo exponencial:

Cuadro 2. Contenido de humedad de equilibrio (%), promedio para los dos tipos de panela, a diferentes temperaturas y humedades relativas.

| Temperatura (°C) | HUMEDAD RELATIVA | | | | | |
|------------------|------------------|------|------|-------|-------|-------|
| | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 90 |
| 13 | 6,26 | 7,13 | 8,19 | 10,07 | 16,32 | 35,78 |
| 20 | 5,90 | 6,70 | 7,41 | 8,40 | 12,46 | 29,73 |
| 27 | 5,13 | 5,90 | 6,90 | 7,58 | 10,53 | 28,68 |
| 34 | 4,68 | 5,33 | 6,36 | 7,12 | 9,35 | 24,74 |

Cuadro 3. Análisis de varianza del efecto de la temperatura, el aditivo y la humedad relativa, sobre la humedad de equilibrio de la panela.

| Fuente de Variación | Grados libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F | Pr > F | SIG |
|---------------------|-----------------|-------------------|----------------|---------|--------|-----|
| Temp. | 3 | 492.31 | 164.10 | 193.36 | 0.0001 | ** |
| Aditivo | 1 | 0.91 | 0.91 | 1.07 | 0.3019 | NS |
| Hum. Rel. | 5 | 13600.72 | 2720.14 | 3205.10 | 0.0001 | ** |
| Temp * Hum Rel. | 15 | 315.70 | 21.05 | 24.80 | 0.0001 | ** |
| Error | 167 | 141.73 | 0.85 | | | |
| Total | 191 | 14551.37 | | | | |

R²: 0.990260 C. V.: 7.9912

** : altamente significativo; NS: no significativo

Cuadro 4. Coeficientes de las ecuaciones resultantes para las temperaturas estudiadas, entre 60% y 90% de humedad relativa.

| Temperatura (°C) | ECUACION | No. |
|------------------|---------------------------------------|-----|
| 13 | $CHEP = e^{(-1.87491 + 0.058687 HR)}$ | 1 |
| 20 | $CHEP = e^{(-1.56314 + 0.052476 HR)}$ | 2 |
| 27 | $CHEP = e^{(-1.54285 + 0.054839 HR)}$ | 3 |
| 34 | $CHEP = e^{(-1.81297 + 0.053064 HR)}$ | 4 |

$CHEP = e^{(-1.38479 + 0.054766 HR - 0.01633 T)}$
Ec. 5

En la Figura 1 se aprecian las Curvas de Contenido de Humedad de Equilibrio para la panela expuesta a 13°C, 20°C, 27°C y 34°C, entre 60% y 90% de humedad relativa.

Como la panela en todas las temperaturas estudiadas, perdió su característica como tal, convirtiéndose en melaza a partir de 80% de humedad relativa, se tomaron los intervalos entre 60% y 80% de humedad ambiental y las curvas de humedad de equilibrio se dividieron en tres sectores (Figura 2), así: En el primero, el aspecto de la panela es seco, agradable y sin presencia de humedad en la superficie. Si se mantienen las condiciones de humedad relativa y de temperatura, enmarcadas bajo esta sección, se puede garantizar un buen almacenamiento, por un tiempo prolongado y se obtendrá una panela con un máximo de 7% de contenido de humedad.

En el sector 2, se observa en la panela un oscurecimiento debido al aumento de su contenido de humedad y la superficie presenta un aspecto brillante. No se recomiendan estas condiciones ambientales para almacenamiento por tiempo prolongado, porque la panela puede alcanzar hasta 10% de humedad.

Cuando las condiciones ambientales son como las de la sección 3, la parte superficial de la panela es totalmente brillante y comienzan a aparecer gotas de melaza. No admite ningún almacenamiento en estas condiciones, alcanzando hasta 16% de contenido de humedad y se deteriora completamente, convirtiéndose en melaza.

Con base en los resultados obtenidos, se pudo concluir y recomendar que: El comportamiento general de las curvas de Contenido de Humedad de Equilibrio para panela

(CHEP), permitió establecer que éste aumenta con la humedad relativa, a una misma temperatura y disminuye cuando aumenta la temperatura ambiental, a una humedad relativa constante.

Mediante análisis estadístico y ecuaciones de regresión lineal, se hallaron ecuaciones para calcular el CHEP, para temperaturas de 13°C, 20°C, 27°C y 34°C, teniendo como variable a la humedad relativa. De igual for-

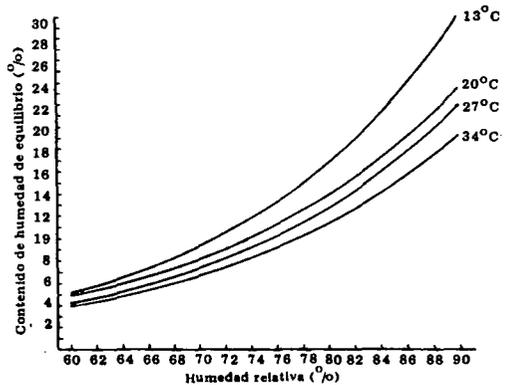


Figura 1. Curvas de contenido de humedad de equilibrio para panela, en función de la humedad relativa y la temperatura.

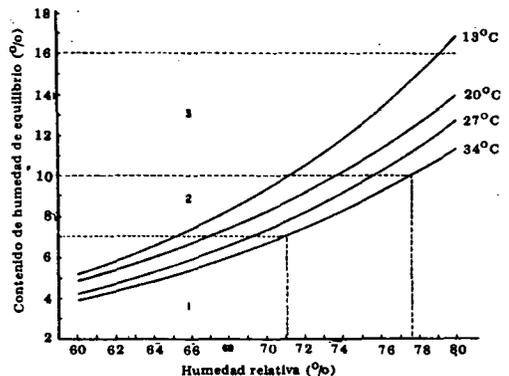


Figura 2. Isotermas de humedad de equilibrio para panela.

ma, se encontró una ecuación multivariable, aplicable en regiones que poseen temperaturas entre 13°C y 34°C y 60% a 90% de humedad relativa.

Las mejores condiciones para un almacenamiento prolongado de la panela, son las que alcanzan una humedad de equilibrio, menor o igual al 7% en el producto.

Contenidos de humedad de equilibrio entre 7% y 10%, son suficientes únicamente para el transporte y consumo rápido de la panela, ya que en almacenamiento prolongado se deterioraría.

A partir de 10% de humedad en el producto, la superficie es totalmente brillante, comenzando a aparecer las primeras gotas de melaza. En estas condiciones no se debe realizar ningún tipo de almacenamiento, por ser estados adecuados para el desarrollo y difusión de microorganismos y el inicio de deterioro físico-químico.

Realizando un análisis de varianza, se observó una influencia mayor de la humedad relativa, que de la temperatura, sobre el CHEp.

El aditivo hidrosulfito de sodio (clarol), no presentó influencia significativa sobre el contenido higroscópico de equilibrio.

Debe elevarse la temperatura final del proceso de elaboración de la panela (punto), con el fin de disminuir la humedad final del producto.

Utilizar empaques herméticos, siempre y cuando la panela al ser empacada, tenga un contenido de humedad menor o igual al 7%.

Conocer las características climáticas del almacén, para determinar si el producto se puede almacenar en esas condiciones o no.

Regular las condiciones climáticas (acondicionamiento del aire) de la bodega, o el aislamiento del producto para evitar las condiciones ambientales inadecuadas,

Para conservar convenientemente la panela en almacenamiento, es necesario tener en cuenta las siguientes precauciones:

a) La panela debe ser empacada en las cajas de cartón, cuando alcance una temperatura similar a la atmosférica. Si el producto se empaca caliente, se creará en el interior de la

caja un ambiente húmedo y cálido, favorable al desarrollo de microorganismos.

b) Las paredes y los pisos del almacén deben ser lo más aislado posible, para evitar el intercambio de las condiciones ambientales interiores con las exteriores.

c) Las cajas con panela no deben estar en contacto directo con el piso, ni con las paredes del depósito. Para evitar esto, se debe utilizar estibas de madera y dejar un espacio entre los arremes y las paredes.

d) La bodega se debe ventilar durante el día, en los períodos de baja humedad relativa y cerrarlos durante la noche.

e) El transporte de la panela del sitio de producción al de almacenamiento o consumo, debe realizarse en carros que en lo posible, no presenten mucha variación de temperatura en el interior de su bodega, ya que el paso por climas fríos produce condensación de la humedad sobre la panela y el inicio del desarrollo de microorganismos.

LITERATURA CITADA

1. Bayma, C. Tecnología de azúcar. 1974. Instituto de azúcar e do alcohol. Río de Janeiro, Brasil. pp: 125-130.
2. CIMPA, Convenio ICA-Holanda de Investigación y Divulgación para el Mejoramiento de la Industria Panelera en Colombia 1989. En: Avances en el Cultivo de Caña y Elaboración de panela. Barbosa, Santander.
3. Cortés, J. 1981. Contenido de humedad en equilibrio. En: ingeniería de procesos agrícolas I-II. Cali: Univalle, pp: 12-17.
4. Fouconnier, R. y D. Bassereau. La caña de azúcar. 1975. En: Técnicas agrícolas y producciones tropicales. Barcelona, España: Blumé, 295p.
5. Hall, C. 1980. Equilibrium moisture relationships. En: Drying and storage of agricultural crops. Connecticut, EE.UU: Avi Publishing, pp: 18-19.
6. Honig, P. 1969. Propiedades de los azúcares y no azúcares. La purificación de los jugos. En: Principios de tecnología azucarera. México: CECSA.
7. Lericí, C. 1986. Actividad del agua y estabilización de los alimentos. En: Memorias del curso: deshidratación de frutas y hortalizas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. pp: 2-3.
8. Pinto, R. 1988. Almacenamiento y empaque de la panela. En: Revista ICA Informa XXII (2): 21-25. Bogotá.