

Relaciones de humedad de equilibrio para café (*Coffea arabica*) de primera calidad en Costa Rica

Ronald Jiménez*, Rigoberto Valverde**,

Se desarrollaron pruebas para determinar la relación de equilibrio higroscópico entre la humedad relativa del ambiente y el contenido de humedad de café pergamino y café oro de primera calidad procedentes de la zona de Grecia, Provincia de Alajuela.

Las unidades experimentales fueron procesadas mediante dos métodos de ajuste de humedad: desorción (pérdida de humedad) y adsorción (ganancia de humedad). Las muestras, de humedad conocida, se colocaron en recipientes herméticamente cerrados, en donde alcanzaron el equilibrio higroscópico con el aire intersticial interior, luego de un período de reposo a temperatura constante. Una vez logrado el equilibrio, se determinó la humedad relativa del aire interior, correlacionándolo luego con la humedad de la muestra.

Finalmente, se determinaron modelos estadísticos de ajuste que describen en forma matemática la relación de equilibrio higroscópico para café pergamino y café oro de primera calidad, para las condiciones de temperatura estudiadas.

Los modelos de mejor ajuste, en ambos casos, son de la forma $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$, los cuales son concordantes con los existentes para otros tipos de granos.

Introducción

Los granos son productos higroscópicos que intercambian humedad con el ambiente. Este intercambio de humedad se produce como resultado del diferencial de presiones de vapor que existe entre el agua contenida en el grano y el agua presente en el aire y pretende alcanzar un estado conocido como equilibrio higroscópico. Cuando dicho equilibrio se ha conseguido, entonces el contenido de agua del producto se conoce como contenido de humedad de equilibrio (CHE), y el contenido de agua del ambiente se denomina humedad relativa de equilibrio (HRE) (Brooker *et. al.*, 1982).

Productos diferentes muestran condiciones de equilibrio diferentes, aun cuando hayan sido sometidos a las mismas condiciones de temperatura y humedad relativa. Incluso, para un mismo producto y bajo condiciones ambientales similares, se han encontrado valores de CHE diferentes. Tal divergencia se origina en factores tales como la variedad, estado de madurez, manejo o forma de proceso, métodos de determinación del equilibrio y las técnicas de medición utilizadas (Brooker, *et. al.*, 1982). La temperatura influye en la presión de vapor del agua contenida en el producto, modificando, por tanto, los valores del CHE.

* Centro para Investigaciones en Granos y Semillas y Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica. Beneficiario del Programa de Apoyo a Investigadores del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT).

** Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica.

Además de los factores ya mencionados, los valores de CHE se ven afectados por el historial de humedecimiento, esto es, si previamente el grano ha estado ganando humedad del ambiente (adsorción) o si por el contrario, la ha estado perdiendo (desorción). La diferencia existente entre los valores de CHE para desorción y adsorción es conocida como el efecto de histéresis. Hart (1964), determinó que la temperatura influye de manera inversa en este fenómeno, de forma tal que si la temperatura aumenta, el efecto de histéresis disminuye.

El conocimiento de la relación de equilibrio de un producto con el ambiente que lo rodea es de gran importancia en procesos de manejo de granos, tales como el secamiento (selección de parámetros que controlan el proceso) y el almacenamiento (selección del nivel óptimo de humedad para almacenamiento seguro y de las condiciones ambientales adecuadas para la aireación) (Brooker et. al., 1982). No obstante, existe muy poca información sobre las relaciones de humedad de equilibrio en café. De hecho, sólo se conoce un estudio al respecto en Kenya (Kulaba y Henderson, 1980) y otro en Guatemala (Menchú, 1973).

Estos trabajos, aunque muy valiosos, son de aplicabilidad muy limitada en Costa Rica, debido a las grandes diferencias existentes en las variedades cultivadas, las

condiciones climáticas y los procesos de beneficiado. Así mismo, los valores de humedad de equilibrio podrían diferir como consecuencia de las distintas técnicas de medición utilizadas en dichas investigaciones.

El objetivo principal de esta investigación fue determinar las relaciones de humedad de equilibrio para café (*Coffea arábica*) pergamino y oro de primera calidad producido en Costa Rica.

Materiales y métodos

Recolección de muestras

El café seleccionado, de primera calidad de exportación, se obtuvo del beneficio CoopeVictoria R.L. localizado en la zona de Grecia, provincia de Alajuela. Las muestras se recolectaron una vez completada la fase húmeda del proceso de beneficiado y se llevaron al Centro de Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) de la Universidad de Costa Rica, donde se les determinó su contenido de humedad, reconocido como humedad inicial.

Preparación de muestras

Desorción. Una gran muestra húmeda con contenido de agua inicial conocido, se

Cuadro 1. Análisis de regresión para café pergamino.

Parámetros de regresión	Modelo estadístico		
	cúbico ax^3+bx^2+cx+d	cuadrático bx^2+cx+d	exponencial $\exp^{(cx+d)}$
a	0,000333		
b	-0,05642	0,011171	
c	3,3205	-1,11203	0,02583
d	-56,4398	36,8985	0,9042
S. E.	1,040	1,490	0,097
R ²	0,979	0,955	0,940

Cuadro 2. Análisis de regresión para café oro.

Parámetros de regresión	Modelo estadístico		
	cúbico ax^3+bx^2+cx+d	cuadrático bx^2+cx+d	exponencial $\exp^{(cx+d)}$
a	0,000137		
b	- 0,0205	0,005636	
c	1,14867	- 0,46681	0,01889
d	-13,05	19,181	1,3555
S.E.	1,040	0,930	0,060
R ²	0,979	0,960	0,950

colocó en un secador artificial de capa fija para la remoción de humedad, utilizando condiciones de aire de secado de 45°C para humedades mayores a 30% b.h. y de 35°C para humedades menores. A intervalos de 15 a 30 minutos, se extrajeron submuestras de 0,4 kg, cada una a diferente humedad, de manera tal que se pudiera abarcar todo el ámbito de humedades de importancia en el beneficiado del café, de 8% a 45% b.h. en café pergamino y de 9% a 21% b.h. en café oro. Las muestras de café oro fueron secadas en pergamino y luego descascaradas para obtener la muestra final.

Adsorción. Una gran muestra de humedad inicial conocida se colocó en la secadora experimental y se procedió a remover humedad hasta alcanzar un valor de 7% b.h. aproximadamente. Parte de dicha muestra seca se descascaró para obtener café oro.

Las muestras secas fueron colocadas en una cámara de humedad relativa al 100% para que el grano ganase humedad del ambiente. Cada cierto tiempo, en forma periódica, se extrajeron submuestras de manera tal que al final del proceso se tuviera una cobertura del ámbito de humedades entre 9% y 30% b.h. para café pergamino y entre 9% y 20% b.h. para café oro.

Todas las submuestras fueron colocadas en una cámara de almacenamiento a temperatura de 10 °C para su posterior utilización en la pruebas de equilibrio higroscópico, una vez que la humedad se hubiese distribuido y estabilizado en el grano.

Determinación del contenido de humedad del grano

Para determinar la humedad de las muestras se utilizó el método rutinario I.S.O. No. 1447 (I.S.O., 1978), que consiste de dos etapas al horno. Una primer etapa a 130 °C por 6 horas y una segunda etapa también a 130 °C por 4 horas, con un período de reposo mínimo de 16 horas. Las determinaciones para cada muestra se hicieron por triplicado.

Determinación de la humedad relativa de equilibrio

Para medir la humedad relativa del aire se utilizó el medidor de temperatura de punto de rocío conocido como Protímetro (PROTIMETER DLC, 1990), calibrado previamente mediante el uso de microambientes de humedad relativa y temperatura conocida, los que fueron generados con soluciones de sales saturadas.

Para determinar la humedad relativa de equilibrio se colocaron muestras de aproximadamente 100 g de producto en recipientes de vidrio de 200 ml, cerrados herméticamente con tapón de hule. Las muestras se colocaron en cámaras a temperatura constante, en donde se dejaron en reposo por un período no menor de 48 horas. Luego de este período, se procedió a retirar el tapón y a colocar el sensor del medidor dentro del recipiente. Una vez alcanzado el equilibrio higroscópico, para lo cual se requiere un período no menor de 2 horas, se hicieron

las lecturas definitivas de temperatura de punto de rocío, de temperatura de bulbo seco y de humedad relativa. Este procedimiento se realizó por duplicado para cada uno de los valores de humedad analizados.

Todas las pruebas se efectuaron a dos temperaturas, 20 °C y 30 °C, que representan en promedio los extremos de temperatura a los cuales el café en grano está expuesto durante su procesamiento y almacenamiento en las plantas de beneficiado seco del país.

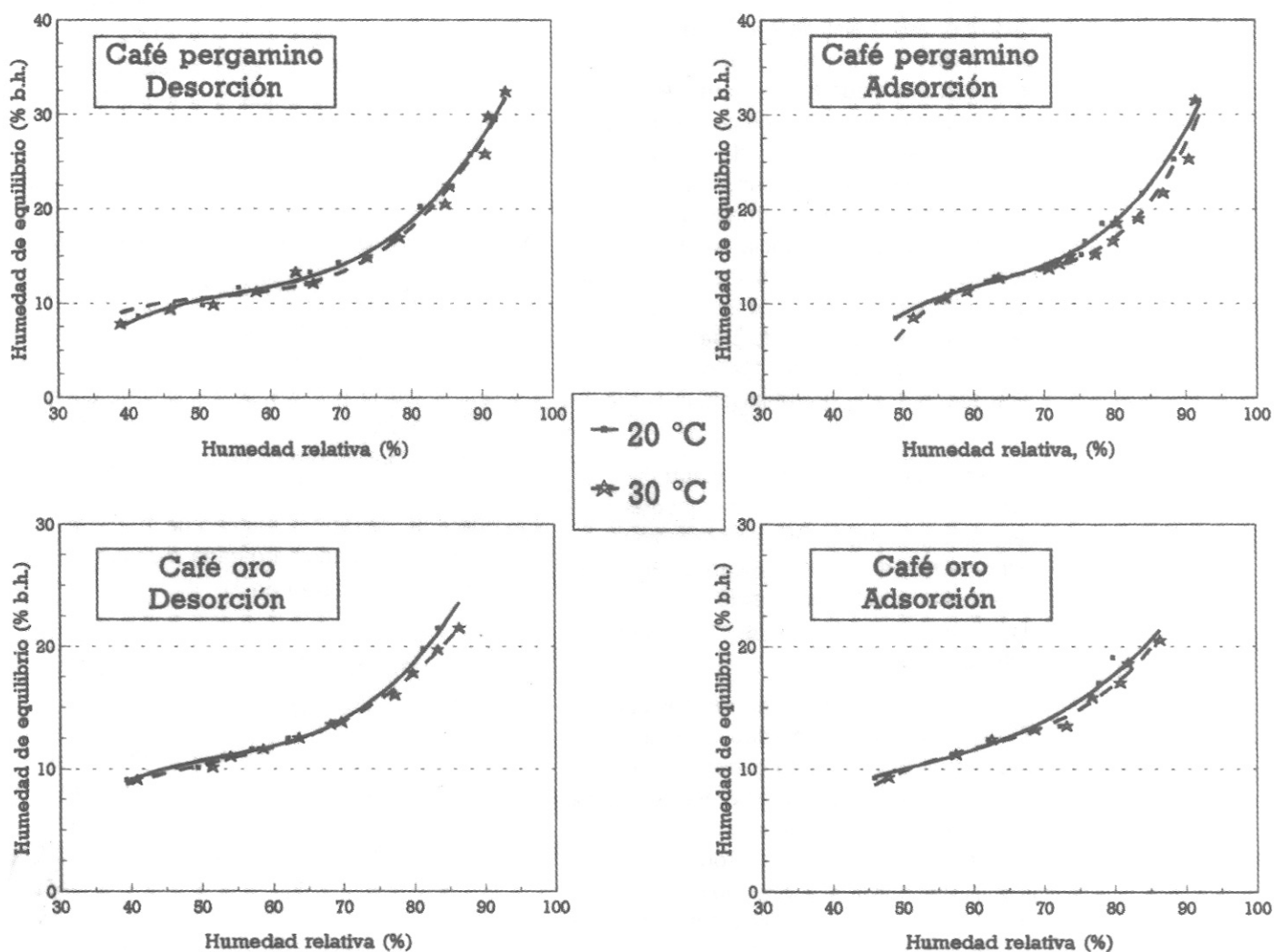


Figura 1. Efecto de la temperatura en la relación de humedad de equilibrio para café de primera calidad de Costa Rica.

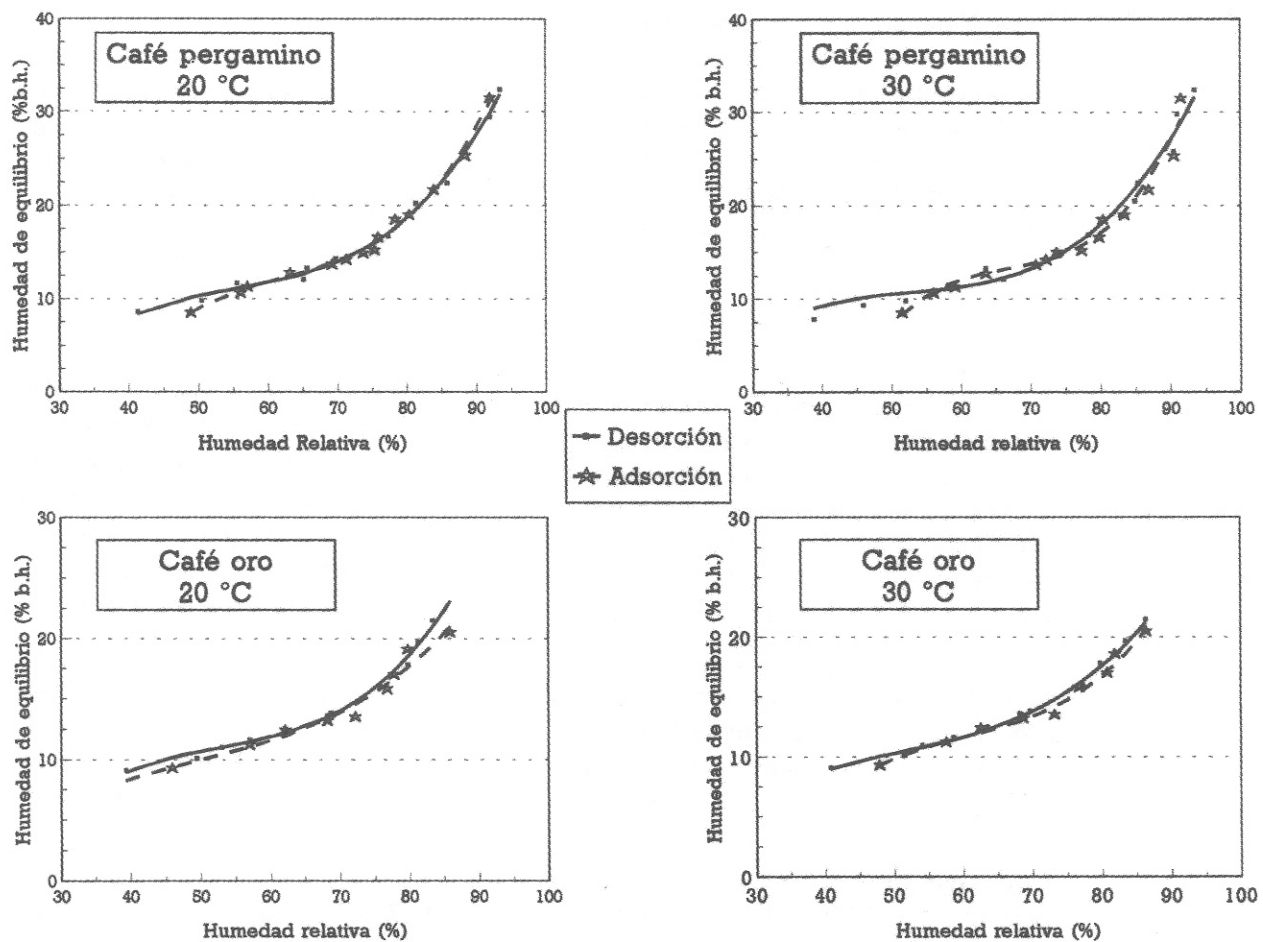


Figura 2. Efecto de la historia de humedecimiento (histéresis) en la relación de humedad de equilibrio para café de primera calidad de Costa Rica.

Resultados y discusión

Efecto de la temperatura en los valores de CHE

Con los datos obtenidos se analizó el efecto de la temperatura en los valores de CHE tanto para café pergamino como para café oro, encontrándose solo pequeñas diferencias en los valores promedio del CHE, las cuales son de poca importancia práctica en el secamiento y almacenamiento de café en grano. Las diferencias en los valores de HRE para muestras de café pergamino a 20 °C y 30 °C son del orden de 2% a 4%. Para café oro las diferencias en la HRE debido a la variación de temperaturas fueron también del orden de 2% a 4% (Figura 1).

Efecto de la historia previa de humedecimiento

Con los datos de desorción y adsorción se consideró la posibilidad de que se presentara un efecto de histéresis que modificara de manera significativa la relación de equilibrio higroscópico en café pergamino y oro.

Para café pergamino se encontraron diferencias entre los valores de HRE para desorción y adsorción del orden de 1% a 4%, no observándose influencia alguna de la temperatura en el fenómeno.

Por su parte, para café oro las diferencias entre los valores de HRE para adsorción y desorción fueron del orden de 2% a 3% como máximo, no percibiéndose tampoco influencia de la temperatura en el fenómeno (Figura 2).

Tales diferencias (correspondientes a 0,5 % como máximo en los valores del contenido de humedad de equilibrio) son muy pequeñas para ser consideradas de importancia práctica en el secamiento y almacenamiento de café en grano, dentro del ámbito de temperaturas analizado.

Determinación de la relación de equilibrio

Dada la poca variación en los valores de la HRE debida a cambios de temperatura o ajuste de humedad (desorción o adsorción), se decidió utilizar todos los resultados para encontrar una relación general de equilibrio tanto para el caso de café pergamino como para el de café oro.

La graficación de los valores de equilibrio muestra una curva de comportamiento tipo sigmoide con tendencia asintótica hacia el final de la curva, tal y como se ha encontrado para otros

productos agrícolas (Henderson y Perry, 1976). La agrupación de los datos alrededor de esta curva típica confirma que la temperatura y la historia previa de humedecimiento no tienen influencia importante en los resultados.

Para obtener la ecuación que mejor definiera la relación de equilibrio entre las dos variables, CHE y HRE, se realizó un análisis estadístico en donde se consideraron los siguientes modelos de regresión: cúbico: ax^3+bx^2+cx+d , cuadrático: bx^2+cx+d y exponencial: $e^{(cx+d)}$, tomando el coeficiente de determinación (R^2) y el error estándar de la estimación (S.E.), como los parámetros de comparación para seleccionar el mejor modelo (Jiménez *et al.*, 1995).

El mejor ajuste de los datos, tanto para café pergamino como para café oro, se obtuvo con el modelo cúbico, resultando en las siguientes expresiones matemáticas:

Café pergamino:	
$CHE = 3,33 \cdot 10^{-4} \cdot HR^3 - 5,642 \cdot 10^{-2} \cdot HR^2 + 3,32 \cdot HR - 56,44$	(1)
Café oro:	
$CHE = 1,37 \cdot 10^{-4} \cdot HR^3 - 2,05 \cdot 10^{-2} \cdot HR^2 + 1,15 \cdot HR - 13,05$	(2)

Cuadro 3. Relación de equilibrio entre la humedad relativa del aire y el contenido de humedad del café pergamino.

HRE	CHE	HRE	CHE	HRE	CHE
50	10,1	67	12,8	84	21,5
51	10,3	68	13,0	85	22,4
52	10,4	69	13,3	86	23,3
53	10,6	70	13,6	87	24,4
54	10,7	71	13,9	88	25,5
55	10,8	72	14,3	89	26,6
56	11,0	73	14,7	90	27,8
57	11,1	74	15,1	91	29,1
58	11,2	75	15,5	92	30,4
59	11,4	76	16,0	93	31,9
60	11,5	77	16,5	94	33,4
61	11,6	78	17,1	95	34,9
62	11,8	79	17,7	96	36,6
63	12,0	80	18,4	97	38,3
64	12,1	81	19,1	98	40,1
65	12,3	82	19,8	99	42,0
66	12,5	83	20,6		

Cuadro 4. Relación de equilibrio entre la humedad relativa del aire y el contenido de humedad del café oro.

HRE	CHE	HRE	CHE
50	10,3	68	13,3
51	10,4	69	13,6
52	10,5	70	13,9
53	10,6	71	14,2
54	10,8	72	14,5
55	10,9	73	14,8
56	11,1	74	15,2
57	11,2	75	15,6
58	11,3	76	16,0
59	11,5	77	16,4
60	11,7	78	16,8
61	11,6	79	17,3
62	12,0	80	17,8
63	12,2	81	18,3
64	12,4	82	18,8
65	12,6	83	19,4
66	12,8	84	19,9
67	13,1	85	20,6

Los resultados del análisis estadístico comparativo para los modelos considerados se muestran en los Cuadros 1 y 2. Las curvas generales de humedad de equilibrio para café pergamino y oro obtenidos con el modelo cúbico se presentan en la Figura 3.

Con las ecuaciones (1) y (2) se generaron tablas de humedad de equilibrio para café pergamino y café oro. Dichas tablas relacionan la humedad del producto con la humedad relativa del aire en la condición de equilibrio y son aplicables para producto de primera calidad y en condiciones de temperatura entre 20 °C y 30 °C. Tal información se presenta en los Cuadros 3 y 4.

Conclusiones

1. Las relaciones de equilibrio higroscópico para café pergamino y para café oro de primera calidad se pueden representar mediante una curva sigmoide ajustada por un modelo matemático de la forma $y = ax^3+bx^2+cx+d$, lo que es consecuente con los resultados

encontrados en la mayoría de los granos.

2. Las temperaturas estudiadas no mostraron tener un efecto de importancia práctica en los valores de CHE. Tampoco la historia previa de humedecimiento mostró influencia significativa, siendo las diferencias en los valores de equilibrio muy pequeñas, tanto en café pergamino como en café oro.
3. El café oro muestra una mayor actividad higroscópica que el café pergamino, principalmente en el ámbito de 40% a 80% de humedad relativa, lo que se manifiesta como un valor de CHE mayor para una humedad relativa dada.
4. Para café pergamino existe un valor de humedad, alrededor de 32% b.h., por encima del cual no hay variación en la HRE asociada, esto debido a que se ha logrado la saturación del grano y la humedad adicional se deposita en la superficie, sin afectar de manera alguna a la presión de vapor que ejerce la humedad adsorbida.

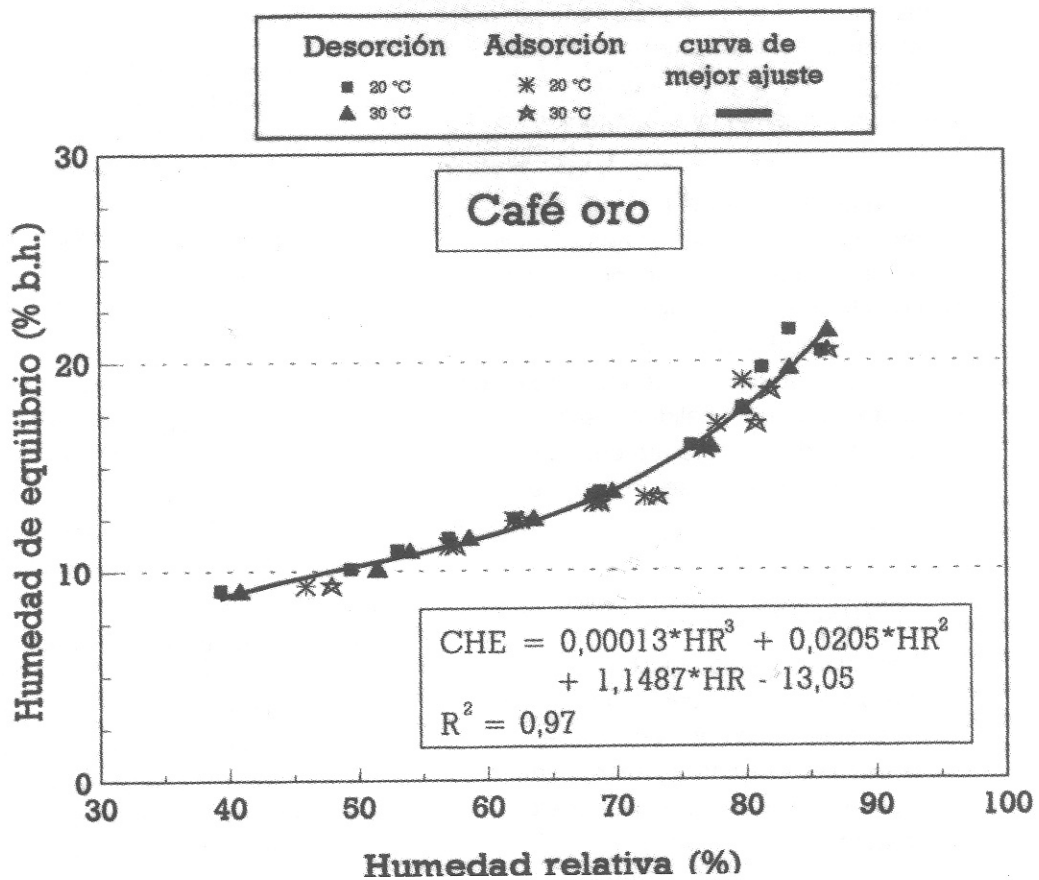
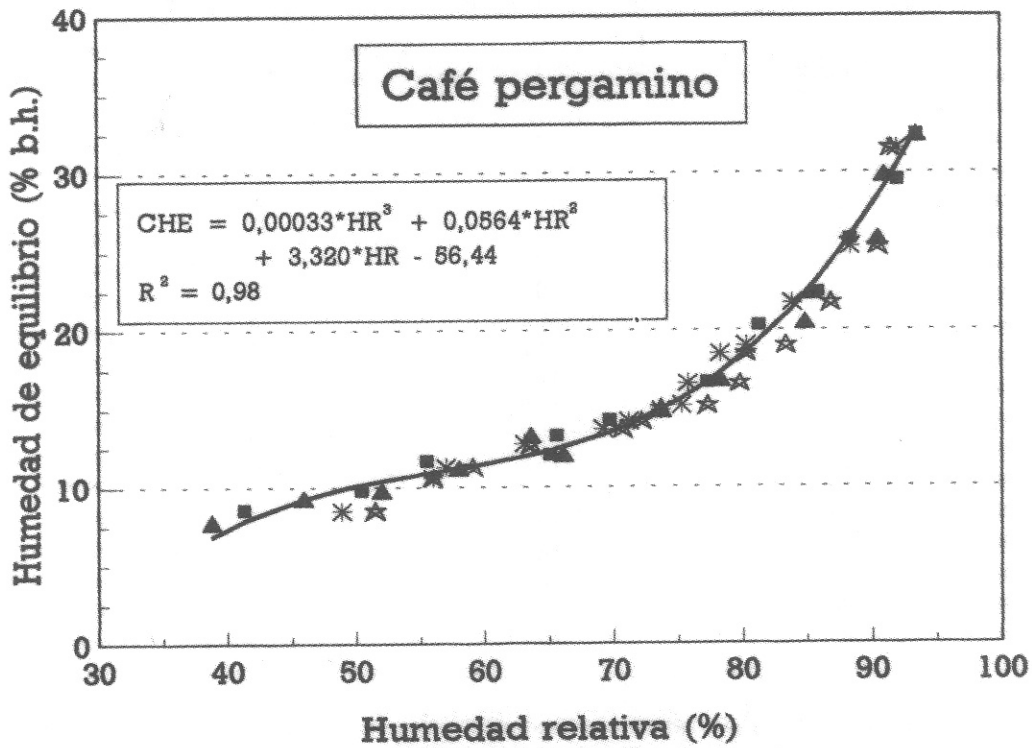


Figura 3. Relación general de humedad de equilibrio para café de primera calidad de Costa Rica.

Literatura citada

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. 1984. ASAE Standards. 31 ed. St. Joseph, Mi., The Society. pp.38-40.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. 1982. Drying Cereal Grains. 5 ed. Westport, Conn., The AVI Publishing Co. p.69-87 p.
- CHEN, CHIA-CHUNG; VANCE MOREY, R. 1989. Equilibrium Relativity Humidity (EHR) Relationships for Yelow-Dent Corn. EEUU. American Society of Agricultural Engineers. 32(3):999-1008.
- GUEVARA GUIO, M.; PFOST, H.B. 1973. Equilibrium Moisture Content of Beans. Prepared for the Agency for International Development. United States Department of State. Kansas State University. Manhattan. Kansas. 54 p.
- HENDERSON, S.M.; PERRY, R.L. 1976. Agricultural Process Engineering. 3 ed. Wesport, Conn., AVI Publishing Co. pp:302-309.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. 1978. Green Coffee: Determination of Moisture Content (Routine Method) I.S.O. 1447. Switzerland. 4p.
- JIMÉNEZ, R.; ZELEDÓN, M; ALIZAGA, R. 1995. Moisture humidity equilibrium of Oil Palm (*Elaeis guineensis*) kernels produced in Costa Rica. ASD Agricultural Services and Development. En Prensa.
- KULABA, G.W.; HENDERSON, S.M. 1980. Equilibrium Moisture Content/Relative Humidity Relationships of Parchment Coffee. Kenya. Kenya Coffee. 45(534):271-276.
- MENCHÚ, J.F. 1973. Manual Práctico de Beneficios de Café. Guatemala. Asociación Nacional de Café. Boletín No.13. pp. 63-89.
- OSBORN, G.S.; WHITE, G.M.; SULAIMAN, A.H.; WALTON, L.R. 1989. Predicting Equilibrium Moisture Properties of Soybeans. EEUU. American Society of Agricultural Engineers. 32(6):2109-2113.
- PRATAP, V; SINGH, B.P.N.; NARAIN, M. 1982. Equilibrium Moisture Content of Some Flours. Journal of Food Science and Technology. 19:153-158.
- PROTIMETER PLC. 1990. Protimeter Dew Point Meter DP 989M. Operating Instructions. England. 11p.