

## NOTA TÉCNICA

### Comportamiento de variables atmosféricas en el proceso de secado tradicional del cacao y su correlación con la humedad y acidez

#### Behavior of atmospheric variables in the traditional drying process of cocoa and its correlation with the humidity and acidity

Juan M. Teixeira-Da Silva\*; Jesús H. Bello-Solorzano; Nayarit E. Díaz-Delgado; César D. Lovera-Palacios

Fundación Instituto de Ingeniería para Investigación y Desarrollo Tecnológico (FIIIDT), Centro de Ingeniería Mecánica. Caracas, Venezuela. \*correo electrónico:juanmanuelteixeira@gmail.com

#### RESUMEN

Con el propósito de determinar el comportamiento de variables atmosféricas que influyen en el proceso de secado tradicional del cacao en Chuao, Venezuela; y su correlación con humedad y acidez se instaló una estación meteorológica digital en las inmediaciones del patio de secado. Se registró data de las variables temperatura (°C), humedad (%) e irradiación solar ( $W.m^{-2}$ ). Las mediciones se realizaron a intervalos de 15 min. Simultáneamente se tomaron 96 muestras por triplicado de la masa de cacao de 20 g, cada 20 min durante los nueve días del proceso. Se identificaron y empaquetaron en bolsas herméticas y selladas al vacío; luego, se conservaron en un congelador para garantizar la no modificación de sus características hasta el traslado al laboratorio para análisis de humedad final y acidez titulable. Se utilizó software Wheaterlink® para análisis de las variables atmosféricas y software Curve Expert Basic 1.40 para obtener líneas de tendencia, que se presentan como polinomios, con sus respectivos coeficientes de correlación (CR) y desviación estándar (DS) de cada variable. La temperatura con  $DS=0,416217$  y  $CR=0,989267$ ; la irradiación solar con  $DS=30,287368$  y  $CR=0,993219$  y la humedad ambiental con  $DS=1,211358$  y  $CR=0,991878$ . Los resultados para humedad inicial, crítica y final del cacao fueron 50,93%; 30,37% y 6,96%, respectivamente; asociados a un tiempo crítico de 380 min y total de deshidratado de 1.900 min, con comportamiento higroscópico del cacao en horas nocturnas. El contenido de ácido acético estuvo entre 0,84 – 0,98%. La correlación variables atmosféricas y humedad del cacao obtuvo un  $CR=0,996363$  y  $DS=1,131872$ .

**Palabras clave:** comportamiento higroscópico, humedad crítica, secado solar, tiempo crítico, *Theobroma cacao* L.

Recibido: 15/02/15 Aprobado: 15/11/16

#### ABSTRACT

In order to determine the behavior of atmospheric variables that influence the traditional drying process of cocoa in Chuao, Venezuela; and its correlation with humidity and acidity was installed a digital weather station in the vicinity of the drying yard. Data was recorded on the variables temperature (°C), humidity (%) and solar irradiation ( $W.m^{-2}$ ). The measurements were made at 15 min intervals. Simultaneously 96 samples were taken in triplicate of the mass of cocoa of 20 g, every 20 min during the nine days of the process. They were identified and packaged in airtight bags and vacuum sealed; then, they were kept in a freezer to guarantee the non-modification of their characteristics until the transfer to the laboratory for final moisture analysis and titratable acidity. Wheaterlink® software was used to analyze atmospheric variables and Curve Expert Basic 1.40 software to obtain trend lines, which are presented as polynomials, with their respective correlation coefficients (CR) and standard deviations (SD) for each variable. The temperature with  $DS = 0.416217$  and  $CR = 0.9889267$ ; solar irradiation with  $DS = 30.287368$  and  $CR = 0.993219$  and ambient humidity with  $DS = 1.211358$  and  $CR = 0.991878$ . The results for initial, critical and final cocoa moisture were 50.93%; 30.37% and 6.96%, respectively; associated with a critical time of 380 min and dehydrated total of 1900 min, with hygroscopic behavior of cocoa at night. The acetic acid content was between 0.84 - 0.98%. The correlation between atmospheric variables and humidity of the cocoa had a  $CR = 0.996363$  and  $DS = 1.131872$ .

**Key words:** hygroscopic behavior, critical humidity, solar drying, critical time, *Theobroma cacao* L.

## INTRODUCCIÓN

El proceso de secado del cacao disminuye la cantidad de agua contenida en los granos para ser conservados y cumplir con la etapa de fermentación interna. De esa manera, se completa la acción de los precursores de sabor y olor característicos del chocolate. El secado del grano de cacao es una de las etapas del beneficio postcosecha, que debe realizarse con cuidado, para garantizar la calidad integral del producto final (Zambrano *et al.* 2010). Determinadas variables como el tiempo, temperatura y humedad establecen la efectividad del secado de cacao (Tinoco y Ospina 2010).

Al ser la radiación solar absorbida directamente por el cacao, para evaporar el agua contenida en el grano, resulta en un uso más eficiente de la energía (Pastrana 2014). No obstante, posee limitaciones por ser un método laborioso y dependiente de las severas condiciones climáticas de la región, que son variables de una zona a otra (Álvarez *et al.* 2010).

Las técnicas de secado varían entre los agricultores y abarca desde el secado natural al sol hasta el artificial mediante el uso de aire caliente (Oke y Omotayo 2012). El secado artificial produce la principal transformación del grano en la postcosecha y, a su vez, es el procedimiento que más atención requiere para no afectar la calidad. De la energía utilizada en el proceso de producción de granos, el secado consume alrededor del 50 %; al tomar en cuenta los factores de calidad y consumo energético, se puede apreciar la importancia que adquiere la correcta realización del secado (Tinoco y Ospina 2010).

Habitualmente el proceso de secado del cacao se lleva a cabo usando el deshidratado natural tradicional al sol (Manoj y Manivannan 2013); se realiza en patios de secado, con la exposición del cacao al aire libre y a la radiación solar directa. Este tipo de secado por convección natural sólo depende de la irradiación solar (Pangavhane *et al.* 2002); por lo que se presenta como la propuesta más conveniente para los sectores rurales donde la energía eléctrica es escasa o no está disponible.

Los problemas asociados al deshidratado al sol son: sobre-deshidratación, deshidratación insuficiente, rehidratación por efectos de lluvia,

decoloración debida a los efectos de la radiación ultravioleta y contaminación por agentes externos como aves, insectos, microorganismos y humos (Dilip y Rajeev 2004).

En Venezuela, el cacao es secado al sol mediante protocolos no uniformes que dependen de las costumbres de los agricultores y de la disponibilidad de infraestructura para su ejecución (Zambrano *et al.* 2010). Sin embargo, por ser un rubro de importancia económica en el país, con proyección de exportación, es necesario usar innovaciones tecnológicas postcosecha. Al respecto, se tiene que tomar en cuenta las variables que influyen en el proceso de secado del grano y que mantengan la calidad final del mismo.

El cacao cultivado en Chuao es principalmente Criollo y presenta una gran variabilidad genética, con introgresiones de cacao Trinitario que le dan una mayor diversidad y le proporcionan su calidad y aroma, permitiéndole distinguirse como el mejor de los cacaos cultivados (González 2007). El siguiente estudio tuvo como objetivo determinar el comportamiento de las variables atmosféricas que influyen en el proceso de secado tradicional del cacao de Chuao, estado Aragua y su correlación con las variables humedad y acidez final del cacao.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó durante en el proceso de secado de cacao, en la zafra decembrina del año 2007, en Chuao, estado Aragua, Venezuela. Esta es una localidad costera cuyas coordenadas geográficas son 10° 29' 32,45" N y 67° 31' 39,14" O. El periodo de cosecha correspondió a nueve días; este coincidió con el proceso de secado en su totalidad, desde la salida del cacao del fermentador hasta alcanzar la humedad final del producto, mediante exposición directa al sol en patio.

En las inmediaciones del patio de secado, se instaló una estación meteorológica digital para el registro de la data medioambiental que influyó directamente sobre proceso de secado. Se determinó la temperatura ambiental (°C), humedad ambiental (%) e irradiación solar ( $W.m^{-2}$ ). Las mediciones se realizaron a intervalos estándar de 15 minutos.

Para determinar la humedad del grano y acidez titulable se tomaron 96 muestras por triplicado de la masa de cacao, cada una de 20 g. Estas fueron obtenidas durante los nueve días en el proceso de secado, cada 20 min (desde la colocación de la masa de cacao para su exposición al sol en el patio, hasta su recogida). En algunos casos no fue posible tomar el mismo número de muestras, por las condiciones de nubosidad de la zona que limitó el proceso de secado.

Las muestras se identificaron y empaquetaron en bolsas herméticas, selladas al vacío y se conservaron en un congelador en el rango de temperatura de -24 °C y 14 °C, para garantizar que no se modificaran sus características. Posteriormente, se llevaron al laboratorio del Instituto de Ciencias y Tecnología de Alimentos (ICTA), Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela para los análisis respectivos. La humedad fue determinada en estufa a 105 °C, según método N° 931.04 (AOAC 1990) y los resultados se expresaron en porcentaje (%). La acidez total titulable se fijó según el método N° 942.15 (AOAC 1980) y se reportó en términos de miliequivalentes de ácido acético.

Cada vez que el cacao se recogió del patio y se guardó en el sitio de almacenamiento nocturno, se evaluaron las condiciones de temperatura y humedad ambiental, bajo las cuales estaba expuesto durante la noche. La toma de muestras y registro de la información se llevó a cabo sin interferir con las actividades propias del proceso de secado, que la comunidad de Chuao ejecuta desde tiempos ancestrales. De esta manera la exploración fue obtenida sin perturbaciones externas, más que las propias de la zona.

Se procedió al análisis sistemático del comportamiento de las variables atmosféricas medidas en tiempo real, por medio del software Wheaterlink®. Para la obtención de las líneas de tendencia promedio con sus respectivos coeficientes de correlación (CR) y desviación

estándar (DS) relacionadas con cada variable, se usó del software Curve Expert Basic 1.40.

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos en laboratorio se realizaron análisis de varianza (ANOVA), a fin de evaluar si el tiempo y/o el día de secado presentaban algún efecto sobre estos parámetros, a un nivel de significancia de 5%; en caso afirmativo, se realizó la prueba de rangos múltiples de Duncan, para esto se utilizó el software Statgraphics Plus 5.1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la data correspondiente a los días de medición para las variables atmosféricas, se tomó como referencia el “tiempo cero minutos” que coincide con las 00:00 (medianoche); por lo que, 510 min serán las 08:30 a.m., 810 min se corresponde con las 01:30 p.m., y así sucesivamente.

### Variables atmosféricas que influyen en el proceso de secado del cacao de Chuao

#### Temperatura ambiental promedio en función del tiempo $T(t)$ :

La Figura 1 muestra el comportamiento de la variable temperatura ambiental promedio con polinomio de grado 19, de la forma,

$$T(t) = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + \dots + s^{19}^1$$

una desviación estándar (DS) = 0,416217y un coeficiente de correlación (CR) = 0,989267.

Los valores promedios mínimos y máximos para el comportamiento de la temperatura ambiental para el estado Aragua, reportados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) son de 20,77 - 30,88 °C.

Se aprecia el incremento de la temperatura ambiental desde un valor cercano a los 22 °C, 510 minutos (08:30 a.m.); hasta superar los 30 °C en el tiempo 810 minutos (01:30 p.m.). De allí, inicia un prolongado y sostenido descenso de la temperatura ambiental hasta la mañana

<sup>1</sup>Coefficientes polinomio temperatura ambiental promedio

a = 2.408266E+01    b = -9.817462E-02    c = 7.591900E-03    d = -2.139287E-04    e = 3.0347989E-06  
 f = -2.559479E-08    g = 1.400017E-10    h = -5.205994E-13    i = 1.341799E-15    j = -2.369258E-18  
 k = 2.644044E-21    l = -1.155148E-24    m = -1.739549E-27    n = 4.138330E-30    o = -4.470683E-33  
 p = 3.068993E-36    q = -1.407014E-39    r = 4.202885E-43    s = -7.437222E-47    t = 5.934954E-51

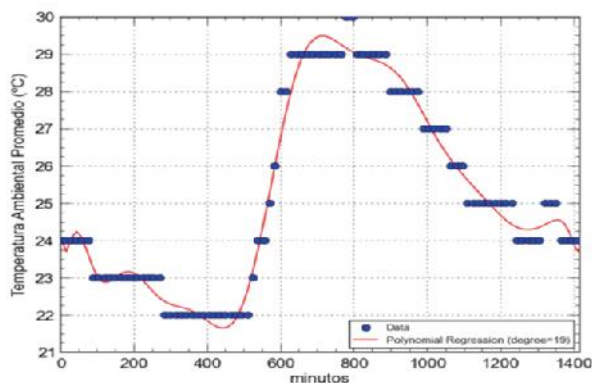


Figura 1. Temperatura ambiental promedio (°C) en función del tiempo (min) de secado del cacao en Chuao, estado Aragua en la zafra decembrina 2007.

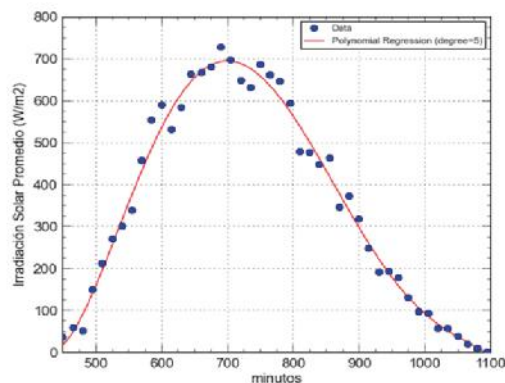


Figura 2. Irradiación solar promedio en función del tiempo (min) de secado del cacao en Chuao, estado Aragua en la zafra decembrina 2007.

del siguiente día, aproximándose el valor de la temperatura nuevamente a los 22 °C iniciales.

#### Irradiación solar promedio en función del tiempo $I(t)$ .

La Figura 2 permite observar la aproximación para el comportamiento de la irradiación solar promedio en función de la hora del día. El resultado fue un polinomio de grado 5, de la forma:

$$I(t) = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + f^{5^2}$$

cuya DS = 30,287368 y CR = 0,993219.

Al contrastar las gráficas de temperatura ambiental promedio (Figura 1) e irradiación solar promedio (Figura 2), se evidencia una estrecha relación entre ambas variables. Se observa que la temperatura ambiental promedio  $T(t)$ , mantiene su incremento al pasar el punto de máxima irradiación solar (tiempo: 720 minutos o 12:00 del mediodía); es decir, que la temperatura ambiental continuó elevándose aproximadamente durante una hora y media más, después de la máxima irradiación solar. Esto es una consecuencia directa del calentamiento

del suelo y edificaciones contiguas al patio de secado. Al descender los niveles de irradiación solar, los mismos liberan energía en forma de calor sensible que se transfiere por convección al aire circundante e incrementa la temperatura. Los valores obtenidos concuerdan con la estimación del potencial de energía solar en Venezuela en la franja costera (Posso *et al.* 2014).

#### Humedad ambiental promedio en función del tiempo $H(t)$ .

La Figura 3, muestra la curva que mejor aproximación estadística presenta para este caso; un polinomio de grado 19 de la forma

$$H(t) = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + \dots + s^{19^3}$$

con una DS= 1,211358 y un CR= 0,991878.

El INAMEH reporta como valor promedio mínimo 54,05 % y máximo 90,86 % para el comportamiento de la humedad ambiental para el estado Aragua. En la Figura 3, se aprecia el descenso de la humedad ambiental aproximadamente en el mismo periodo de tiempo

<sup>2</sup>Coefficientes polinomio irradiación solar promedio

a = 3.696730E+04    b = -2.741207E+02    c = 7.693878E-01    d = -1.020102E-03    e = 6.4552407E-07    f = -1.575636E-10

<sup>3</sup>Coefficientes polinomio humedad ambiental promedio

a = 8.575043E+01    b = 2.6643026E-01    c = -2.052879E-02    d = 5.980317E-04    e = -9.003569E-06  
 f = 8.071765E-08    g = -4.655883E-10    h = 1.801660E-12    i = -4.736994E-15    j = 8.213198E-18  
 k = -7.966363E-21    l = -5.758933E-25    m = 1.551844E-26    n = -2.726694E-29    o = 2.774189E-32  
 p = -1.881530E-35    q = 8.667583E-39    r = -2.620871E-42    s = 4.711367E-46    t = -3.825817E-50

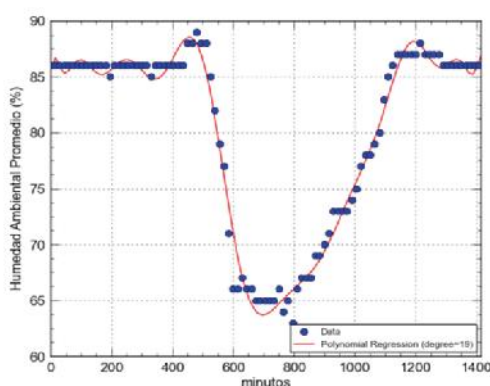


Figura 3. Humedad ambiental promedio  $H(t)$  desecado del cacao en Chuao, estado Aragua en la zafra decembrina 2007.

en el que se consigue la mayor irradiación solar y la mayor temperatura ambiente.

Los resultados revelan que la humedad relativa del ambiente inicia un proceso de descenso desde 87% en el tiempo 0 (00:00) hasta 63% a los 760 minutos (12:40 p.m.). Luego gana humedad nuevamente, con una tasa de variación similar a la de descenso hasta adentrada la noche

(10:00 p.m.), punto donde alcanzó una humedad de 87%; de allí, hasta la mañana siguiente, la razón de incremento de la humedad decrece haciendo la pendiente de la curva casi horizontal hasta la mañana del día siguiente.

Variables patrón: humedad y acidez final del cacao

El Cuadro 1 muestra los resultados obtenidos para el porcentaje de humedad (%) de los granos de cacao en función del tiempo de secado (min) para cada día de secado.

Se evidencia una disminución del contenido de humedad en la medida en que aumenta el tiempo de secado y con el transcurso de los días. Se aprecia que durante los tres (3) primeros días, la pérdida de humedad fue rápida. A partir del cuarto día, este comportamiento cambia y se observa que la pérdida de humedad es cada vez más lenta hasta llegar al séptimo día. Además, se presentó un comportamiento higroscópico en la masa de cacao durante el período de almacenamiento nocturno (valores en negrilla en los días 3; 4; 6; 7 y 8); donde experimentó

Cuadro 1. Valores obtenidos para la humedad (%) del cacao en función del tiempo (min) para los diferentes días de secado.

Tiempo (min)	Humedad (%) del cacao por días de secado								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	50,93 d	37,72 bcd	33,21 g	24,02 g	14,31 e	9,88 b	9,64 j	7,78 g	6,92 d
20	50,42 d	39,14 e	32,75 g	21,37 f	12,73 d	9,82 b	8,34 i	6,74 cd	5,70 a
40	50,25 d	38,10 cd	30,37 f	18,95 e	11,77 c	<b>8,97 a</b>	8,26 i	6,92 cde	5,98 ab
60	44,07 b	37,14 b	26,41 d	18,36 e	12,00 c		8,11 hi	6,83 e	6,10 c
80	45,79 c	38,49 de	27,76 e	18,04 e	11,95 c		7,72 fg	6,63 bc	6,21 c
100	46,59 c	37,27 bc	29,38 f	15,70 d	12,64 d		7,51 def	6,54 bc	5,98 ab
120	43,89 b	37,06 b	25,64 cd	18,04 e	10,90 b		7,48 def	7,27 ef	6,96 d
140	41,13 b	33,69 a	24,24 b	15,70 d	10,93 b		7,07 c	6,18 ab	
160	40,39 a		24,88 cb	16,23 d	10,47 b		7,83 gh	6,51 bc	
180			25,04 cd	15,94 d	10,89 b		7,25 cd	7,46 fg	
200			<b>22,79 a</b>	14,72 bc	10,49 b		7,55 ef	7,00 de	
220				14,33 ab	10,59 b		7,49 def	6,48 bc	
240				15,96 ab	9,36 a		7,28 cd	<b>5,84 a</b>	
260				13,56 a	10,70 b		6,76 b		
280				14,07 ab			6,43 a		

Cada valor representa el promedio de tres determinaciones (n=3). Los valores en cada fila con al menos una letra en común no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí a un nivel de significancia de 5% (P<0.05).

pequeños incrementos en su contenido de humedad debido a la absorción de agua proveniente de la humedad del aire circundante.

En la Figura 4, se presenta la curva de secado obtenida en el patio de secado solar tradicional de la localidad bajo estudio durante la zafra decembrina 2007. Esto se corresponde con el comportamiento de la pérdida de humedad del cacao durante el proceso de deshidratado solar consecutivamente día por día.

Se destacan dos puntos: en el primero, la tasa de extracción de humedad de los granos de cacao expuestos directamente al sol en función del tiempo de exposición. En segundo lugar, la humedad de la masa de cacao al iniciar el proceso de secado fue de aproximadamente 51%. Al finalizar el proceso la humedad alcanzó

el valor de 7%, aproximadamente; valores equivalentes con lo expresado por el Instituto Nacional de Nutrición (INN 2001).

En la Figura 5 se observa la línea de tendencia para la variación de la humedad del cacao. Se desprende que la mejor aproximación estadística que representa el comportamiento de la humedad del cacao durante el proceso de secado tradicional al sol resulta en un polinomio de grado 5, de la forma:

$$\text{Humedad cacao } (t) = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + f^5^4$$

con CR = 0,996363 y una DS = 1,131872. Por otra parte, de la línea de tendencia se verifica que la humedad crítica resulta en 30,37%, asociada al tiempo crítico de 380 min y un tiempo total de deshidratado de 1.900 min consecutivos.

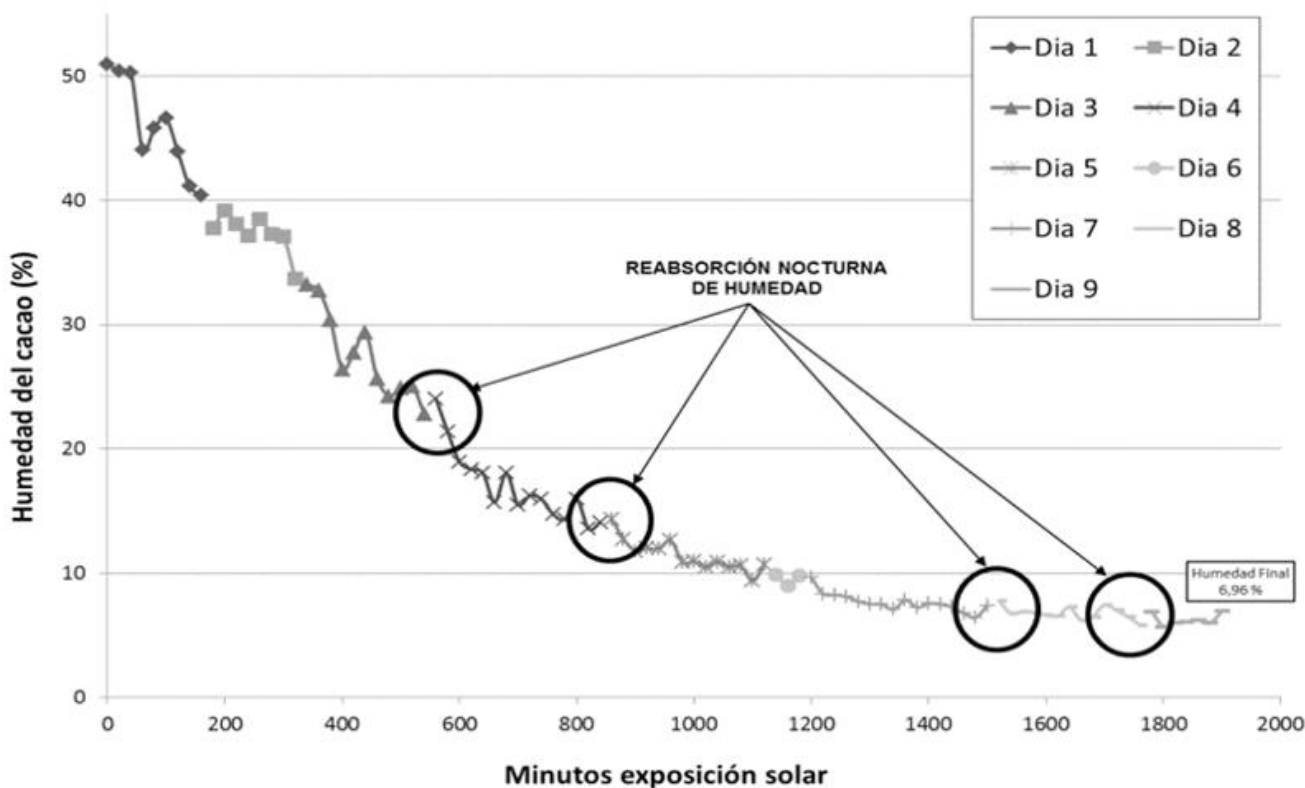


Figura 4. Curva de secado del cacao de Chuao, estado Aragua, obtenida en patio de secado tradicional al sol en la zafra decembrina 2007.

<sup>4</sup>Coefficientes polinomio línea de tendencia para variación de humedad del cacao

a = 5.025871E+01    b = -4.768937E-02    c = -4.296358E-05    d = 9.493200E-08    e = -5.400390E-11    f = 1.028359E-14

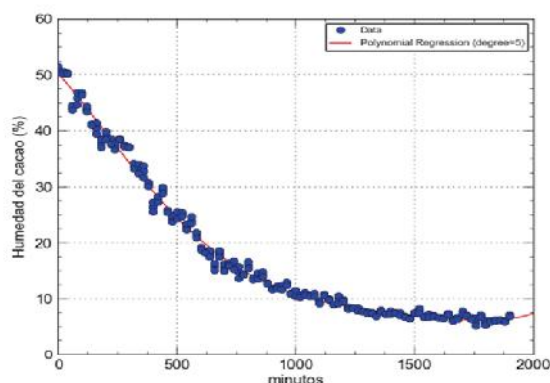


Figura 5. Línea de tendencia para variación de la humedad del cacao de Chuao, estado Aragua, durante zafra decembrina 2007.

El Cuadro 2, muestra los valores de la acidez titulable de las muestras de cacao evaluadas. Se observa que los valores promedios ( $X^*$ ) de este parámetro para cada uno de los diferentes días de secado oscilaron entre 0,84 y 0,98 %.

Los valores difieren de los obtenidos por Grazani et al. (2003) en granos forastero trinitario

cosechado en Cumboto, estado Aragua y que oscilaron entre 0,3 - 0,35 %; mientras que, Ortiz et al. (2004) reportan valores de 1,01 - 1,10 % en mezclas de cacao tipo forastero y criollo fermentados y secados de la misma localidad (Cumboto); estos valores son ligeramente superiores a los obtenidos en el presente estudio.

### CONCLUSIONES

El comportamiento de la variable temperatura ambiental promedio  $T(t)$ , se presenta como un polinomio de grado 19, con una  $DS = 0,416217$  y un  $CR = 0,989267$ . La irradiación solar promedio  $I(t)$ , un polinomio de grado 5, cuya  $DS = 30,287368$  y  $CR = 0,993219$ . La variable humedad ambiental promedio  $H(t)$ , representada mediante un polinomio de grado 19, con una  $DS = 1,211358$  y un  $CR = 0,991878$ .

La humedad de la masa de cacao al iniciar el proceso de secado es de 50,93 % y la humedad al finalizar el proceso alcanzó el valor de 6,96%.

El cacao mostró un comportamiento higroscópico durante el periodo de almacenamiento nocturno,

Cuadro 1. Valores obtenidos para la humedad (%) del cacao en función del tiempo (min) para los diferentes días de secado.

Tiempo (min)	Humedad (%) del cacao por días de secado								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,95 abe	0,91 bde	0,90 ac	0,78 af	0,89 a	0,74 ag	0,95 a	0,84 bcfg	1,06 d
20	0,85 abe	0,88 bde	0,85 ac	0,75 af	0,95 a	1,08 ag	0,82 a	0,96 bcfg	0,99 d
40	1,13 abe	0,89 bde	0,77 ac	0,79 af	0,93 a	<b>0,76 ag</b>	0,78 a	0,71 bcfg	1,03 d
60	0,77 abe	0,90 bde	0,76 ac	0,79 af	0,77 a		0,87 a	1,18 bcfg	1,07 d
80	0,89 abe	0,93 bde	0,83 ac	0,85 af	0,79 a		0,85 a	0,99 bcfg	0,79 d
100	0,86 abe	0,91 bde	0,90 ac	0,83 af	0,82 a		0,81 a	0,94 bcfg	0,70 d
120	0,79 abe	0,91 bde	0,97 ac	0,77 af	0,88 a		0,96 a	0,72 bcfg	1,16 d
140	0,91 abe	1,17 db	0,80 ac	0,97 af	0,85 a		0,82 a	0,80bcfg	
160	0,79 abe		0,88 ac	0,89 af	0,74 a		0,60 a	0,89 bcfg	
180			0,89 ac	0,86 af	0,94 a		0,83 a	0,85 bcfg	
200			<b>0,84 ac</b>	0,85 af	0,85 a		0,73 a	1,06 bcfg	
220				0,78 af	0,76 a		0,80 a	0,93 bcfg	
240				0,86 af	0,72 a		0,85 a	<b>0,83 bcfg</b>	
260				0,93 af	0,81a		0,83 a		
280				0,82 af			0,76 a		
$X^*$	0,89 abe	0,94 bde	0,85 ac	0,84 af	0,84 a	0,86 ag	0,82 a	0,91 bcfg	0,98 d

Cada valor representa el promedio de tres determinaciones ( $n=3$ ). Los valores en cada fila con al menos una letra en común no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí a un nivel de significancia de 5% ( $P<0.05$ ).

donde experimentó pequeños incrementos de humedad debido a la absorción de agua proveniente de la humedad del aire circundante.

La correlación entre variables atmosféricas y la variación de la humedad del cacao durante el secado, se presenta con una línea de tendencia en un polinomio de grado 5 con  $CR = 0,996363$  y una  $DS = 1,131872$ . La humedad crítica resultó en 30,37%, asociada al tiempo crítico de 380 minutos y un tiempo de deshidratado de 1.900 minutos consecutivos.

El rango para la acidez total titulable estuvo comprendido entre 0,84 - 0,98 %.

### LITERATURA CITADA

- Álvarez, C; Tovar, L; García, H; Morillo, F; Sánchez, P; Girón, C; De Fariás, A. 2010. Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (*Theobroma cacao L.*) usando dos tipos de fermentadores. *Revista Científica UDO Agrícola* 10(1):76–87.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists, USA). 1980. *Official Methods of Analysis* (en línea). Consultado 15 jun. 2007. Disponible en: <https://archive.org/stream/gov.law.aocac.methods.1980/aocac.methods.1980>.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists, USA). 1990. *Official Methods of Analysis* (en línea). Consultado 15 jun. 2007. Disponible en: <https://archive.org/details/gov.law.aocac.methods.1.1990>.
- Dilip, J; Rajeev, KJ. 2004. Performance evaluation of an inclined multi-pass solar air heater with in-built thermal storage on deep-bed drying application. *Journal of Food Engineering* 65:497–509.
- Graziani de Fariñas, L; Ortiz de Bertorelli, L; Parra, P. 2003. Características químicas de la semilla de diferentes tipos de cacao de la localidad de Cumboto, Aragua. *Agronomía Trop.* 53 (2):133–144.
- González, E. 2007. Denominación de origen “Cacao Chuao”, Venezuela. IICA & FAO: 14.
- INAMEH (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Venezuela). Sistema de consultas de datos hidrometeorológicos, datos en hora legal de Venezuela (HLV) (en línea). Consultado 20 jun. 2007. Disponible en: <http://estaciones.inameh.gob.ve/descargaDatos/vistas/bajarArchivo.php>.
- INN (Instituto Nacional de Nutrición, Venezuela). 2001. *Tabla de Composición de Alimentos para uso práctico*. Revisión 1999. Primera reimpresión; 539 p.
- Manoj, M; Manivannan, A. 2013. Simulation of solar dryer utilizing greenhouse effect for cocoa bean drying. *International Journal of Advanced Engineering Technology* April-June: 24-27.
- Oke, DO; Omotayo, KF. 2012. Effect of forced-air artificial intermittent drying on cocoa beans in South-Western Nigeria. *Journal of Cereals and Oil seeds* 3(1): 1-5.
- Ortiz de Bertorelli, L; Camacho, G; Graziani de Fariñas, L. 2004. Efecto del secado sobre la calidad del grano fermentado de cacao. *Agronomía Tropical* 54(1): 31–34.
- Pangavhane, DR; Sawhney, RL; Sarsavadia, PN. 2002. Design, development and performance testings of a new natural convection solar dryer. *Energy* 27: 579-590.
- Pastrana, A. 2014. Nopal (*Opuntia lasiacantha*) drying using an indirect solar dryer. *Energy Procedia* 57:2984–2993.
- Posso, F; González, J; Guerra, F; Gómez, H. 2014. Estimación del potencial de energía solar en Venezuela utilizando sistemas de información geográfica. *Revista Geográfica Venezolana* 55(1): 27-43.
- Tinoco, HA; Ospina, DY. 2010. Análisis del proceso de deshidratación de cacao para la disminución del tiempo de secado *Revista EIA* 13: 53-63.
- Zambrano, A; Gómez, A; Ramos, G; Romero, C; Lacruz, C; Rivas, E. 2010. Caracterización de parámetros físicos de calidad en almendras de cacao criollo, trinitario y forastero durante el proceso de secado. *Agronomía Tropical* 60(4): 389-396.