

USO DE HORNO MICROONDAS EN LA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD: YUCA, ÑAME Y PLÁTANO

OVEN MICROWAVE USE IN THE DETERMINATION OF MOISTURE CONTENT WATER CONTENT: CASSAVA, YAM AND PLANTAIN

UTILIZAÇÃO DO FORNO MICROONDAS NA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE: MANDIOCA, INHAME E BANANA DA TERRA

CARLOS GARCÍA M.¹, SAUL DUSSÁN S.², NELSON GUTIERREZ G.³

RESUMEN

En la caracterización y procesamiento de productos agrícolas, el contenido de humedad es una de las principales características físicas a ser determinadas, sin embargo requiere normalmente de varias horas para conocer los resultados. En este trabajo fueron comparadas dos técnicas para determinar el contenido de humedad de yuca, ñame y plátano verde. La técnica denominada aquí convencional (AOAC N° 925.09 y AOAC 925.10) y la técnica del horno microondas. Fueron utilizadas las potencias de 140W, 280W y 560W en el horno microondas, tamaño de muestra de 10g y determinado el contenido de humedad del producto a cada minuto hasta obtener valores estadísticamente iguales a los encontrados por el método de referencia o convencional. Se comprobó la posibilidad real de utilizar el horno de microondas como un método rápido para determinación de humedad de yuca, ñame y plátano verde utilizando una

Recibido para evaluación: 26/03/2011. **Aprobado para publicación:** 15/12/2011

- 1 Ingeniero de Alimentos. Candidato a MSc. Docente Universidad de Córdoba Sede Berastegui.
- 2 Ingeniero Agrícola, MSc, PhD. Docente Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira
- 3 Ingeniero Agrícola, MSc., PhD. Docente Facultad de Ingeniería, Universidad Surcolombiana.

Correspondencia: sdussans@palmira.unal.edu.co

potencia de 560W durante 5 min de exposición para yuca, 8 min para ñame y 4 min para plátano verde. Los resultados mostraron que no hubo diferencia entre las técnicas aplicadas, sugiriendo el empleo del horno microondas por razones relacionadas al tiempo de exposición, eficiencia y practicidad en la determinación del contenido de humedad de productos agrícolas.

ABSTRACT

In the characterization and processing of agricultural products, the moisture content is one of the main physical characteristics to be determined, however normally takes several hours for results. In this work two techniques were compared to determine the moisture content of cassava, yam and green plantain. The conventional technique AOAC 925.09 and AOAC No. 925.10 and the microwave oven technique were evaluated. Were used the powers of 140W, 280W and 560W in the microwave, 10g sample size and determined the product moisture content every minute until statistically equal to those found by the conventional method. We confirmed the real possibility of using microwave as a quick method for determination of moisture from cassava, yams and green plantain using a power of 560W for 5 min exposure to cassava, 8 min for yam and 4 min for green bananas. The results showed no difference between the techniques used, suggesting the use of microwave oven for reasons related to the exposure time, efficiency and practicality in determining moisture content in agricultural products.

RESUMO

Na caracterização e processamento de produtos agrícolas, o teor de umidade é uma das principais características físicas a ser determinado, porém são necessárias várias horas para conhecer os resultados. Neste trabalho foram comparadas duas técnicas para determinar o teor de umidade de mandioca, inhame y banana da terra. A técnica aqui denominada convencional (AOAC 925.09 y AOAC 925.10) y a técnica do forno microondas. Foram utilizadas as potencias de 140W, 280W y 560W no forno de microondas, tamanho da amostra de 10g e determinado o teor de umidade a cada minuto até obter valores estatisticamente iguais aos encontrado pelo método convencional. Foi comprovada a possibilidade real de utilizar o forno de microondas como um método rápido na determinação do teor de umidade utilizando uma potencia de 560W durante 5 min de exposição para mandioca, 8 min para inhame e 4 min para banana da terra verde. Os resultados mostraram que no houve diferença entre as técnicas aplicadas, sugerindo o uso do forno de microondas por motivo do tempo de exposição, eficiência y praticidade na determinação do teor de umidade de produtos agrícolas.

PALABRAS CLAVES:

Hortalizas, Agua, Método, Secado.

KEYWORDS:

Vegetables, Water, Method, Drying.

PALAVRAS CHAVE:

Hortalças, Água, Método, Secagem.

INTRODUCCIÓN

Los métodos para determinar la humedad en productos agrícolas con elevados contenidos de almidón se clasifican en directos e indirectos. En los métodos directos el agua de la muestra se determina gravimétricamente a través de la pérdida de peso utilizando un equipo como el horno (convección forzada, vacío o microondas) por un determinado tiempo, este método requiere pequeñas muestras homogéneas y el contenido de humedad puede ser medido en un rango efectivo de 0,01% a 99,99% de agua [1].

Debido a su mayor fiabilidad se emplean métodos directos como estándar para la evaluación comparativa de otros procedimientos. En los métodos indirectos, la humedad del producto se calcula con base en otras propiedades como las eléctricas. Son métodos prácticos y rápidos, pero están sujetos a errores resultantes de la variación de las propiedades físicas del producto (temperatura o humedad).

Como tecnologías emergentes para la determinación de humedad en productos agrícolas se encuentra el uso de luz infrarroja [2], resonancia magnética nuclear (RMN) [3] y métodos volumétricos como el de Karl Fischer en determinado tipo de alimentos [4]. Los métodos oficiales de la AOAC 925.09 [5] y AOAC 925.10 [6] son específicos para productos como yuca, ñame y plátano caracterizados por un alto contenido de humedad y carbohidratos.

Se han realizado varios estudios con el objetivo de establecer una metodología para la determinación de humedad utilizando la energía del horno microondas que proporción resultados en menor tiempo que el método convencional para granos [7], productos agrícolas [8], semilla de maíz [9], en lácteos [10] materiales en polvo y alimentos [11]. Sin embargo, radiación electromagnética de alta frecuencia, en el proceso de secado de productos agrícolas utilizando microondas presenta rápido aumento de la temperatura en las muestras y puede ocasionar incineración del material eliminándose almidón, grasas, proteínas además de agua, lo que implica una fuente de error para el método. Por estas razones es recomendado determinar el tiempo de exposición máximo de la muestra a la radiación en varias potencias para evitar incinerar el material [12].

En la retirada de agua del producto utilizando energía de microondas la duración de este calentamiento depende solamente de la potencia suministrada y no depende de la forma y volumen del material procesado como si sucede en el método convencional [12].

El diseño de la muestra en el caso de alimentos primarios, como carnes, frutas y hortalizas la inferencia estadística, está limitada a la homogeneidad de las muestras utilizadas (variedad y grado de maduración), por eso algunos autores [13,14] proponen que la eficacia del horno microondas es función de la humedad del producto, el tipo de aparato utilizado, el método adoptado y el tipo de producto.

El uso del horno microondas en la determinación del contenido de humedad es de gran utilidad en la industria de alimentos por presentar menor consumo de energía, mayor comodidad y rapidez y, por consiguiente, mayor economía operacional [15]. El objetivo de este trabajo fue determinar la potencia y tiempo máximo de exposición en horno microondas de muestras de yuca, ñame y plátano como principales variables en la determinación del contenido de humedad.

MÉTODO

Se tomaron muestras de yuca (*Manihot esculenta crantz*), ñame espino (*Dioscorea rotundata*) y plátano verde (*Musa paradisiaca*) provenientes de la ciudad de Montería, Córdoba, Colombia (cosecha 2010).

La humedad de referencia (%H_{ref}) usada para la validación del procedimiento se determinó por el método convencional No. 925.09 AOAC para las muestras de yuca, ñame y No. 925.10 AOAC para la muestra de plátano, métodos recomendados para productos agrícolas con elevado contenido de almidón.

Utilizando los métodos tradicionales la yuca y ñame fueron lavados con agua potable, pelados, cortados en rodajas con 1,0 cm de espesor, divididas en cuatro partes (cuarteadas) y pesadas muestras iniciales de 2 a 5 g. El plátano se cortó en rodajas de 0,5 cm de espesor, cuarteadas y secadas en estufa de aire a 100-105°C durante 4 horas, seguido de un tratamiento en estufa a vacío -25 mm Hg a 95°C por 3 horas. Las muestras posteriormente fueron colocadas 20 min en

el desecador y calculado el contenido de humedad por diferencia de peso.

En la técnica de microondas, fue utilizado un horno microondas doméstico de marca Haceb HM-1.1 con una frecuencia de 2450MHz, 110 Voltios y dimensiones internas de 354x228x373mm. Las muestras de los productos agrícolas evaluados fueron homogéneas de 10g en todos los ensayos, dispuestas en cápsulas de porcelanas y distribuidas uniformemente en el plato del microondas.

Fueron evaluadas tres (3) potencias diferentes 140W, 280W y 560W a intervalos de 1 min hasta alcanzar el valor del contenido de humedad obtenido por el método convencional o de referencia. Una vez conocida estas variaciones del contenido de humedad, se procedió a realizar ensayos a intervalos de tiempos diferentes dependiendo del tipo de producto y la potencia utilizada con el fin de definir con mayor precisión los tiempos de exposición. En los tiempos de exposición seleccionados las muestras fueron renovadas en cada repetición.

La pérdida de humedad fue expresada en porcentaje, calculada relacionando la pérdida de humedad con el contenido inicial de humedad. Las muestras de producto al finalizar cada periodo de exposición fueron retiradas del microondas, colocadas en un desecador durante 15 min y determinando el peso final en balanza digital con sensibilidad de 0,001 g.

Se aplicó un diseño experimental completamente al azar correspondiente a 3 tratamientos por cada producto agrícola correspondientes a las potencias 140W, 280 W y 560W. Para cada periodo de exposición se realizaron 5 veces el mismo ensayo y se utilizaron 8 muestras o repeticiones por ensayo. Los tiempos en cada potencia que no presentaron diferencia significativa con la humedad de referencia (método convencional) se aplicó la prueba bilateral de comparación de medias a un nivel de confianza del 95%. A los tiempos de los tratamientos que resultaron iguales se confirmó con una prueba de t-Student para dos muestras independientes.

Se determinaron los parámetros analíticos recomendados por el Food Chemicals Codex [16] para validación de métodos acorde a la categoría I correspondiente a métodos que cuantifican un componente mayoritario en el alimento. El método fue válido teniendo en

cuenta la exactitud, precisión, especificidad, linealidad y grado de reproducibilidad. Se determinó la relación de Horwith para establecer la precisión esperada acorde a los parámetros de Single – Laboratory Validation AOAC [17]. Horwitz $RSD_r = 2C^{-0,1505}$ $RSD_r = 2C^{-0,1505}$ donde C es la concentración en decimal y la desviación estándar relativa encontrada (RSD_r) y predicha ($PRSD_r$). La relación de Horwitz

$HorRat = \frac{RSD_r}{PRSD_r}$ $HorRat = \frac{RSD_r}{PRSD_r}$. Para evaluar el parámetro de linealidad se realizó la curva de recobrado, determinándose la ecuación de la recta por el método de los mínimos cuadrados.

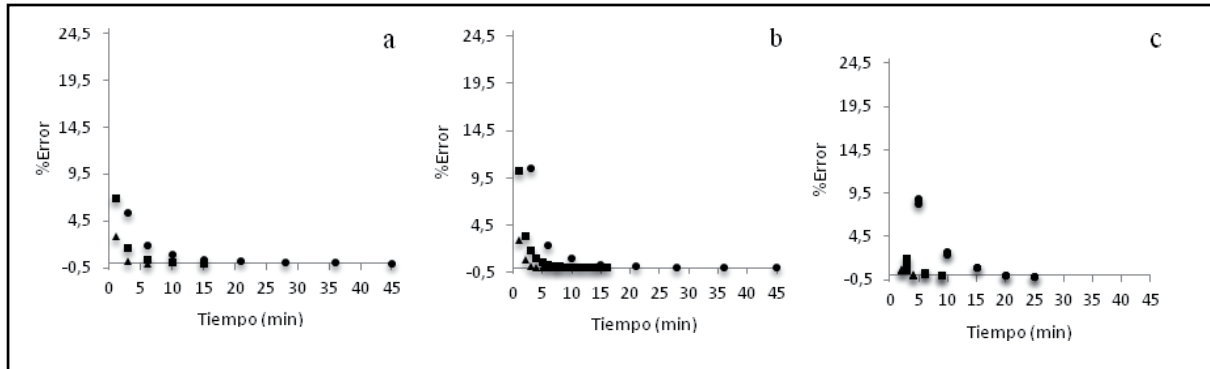
RESULTADOS

Los contenidos de humedad obtenidos a través de la aplicación del método convencional para las muestras de yuca, ñame y plátano verde son presentados en el Cuadro 1. El análisis de precisión demuestra que los valores medios son estadísticamente validados por presentar coeficientes de variación (CV) menores a 1% en todos los casos, los análisis cumplen con la diferencia de 0,2% AACC [18] entre las mediciones por duplicado.

En la Figura 1 el error porcentual del contenido de humedad en todas las potencias evaluadas y para todos los productos se hace menor a mayor tiempo de exposición y finalmente alcanza valores estadísticamente iguales al valor de referencia o convencional.

El porcentaje de error graficado en función del tiempo de exposición en el microondas decrece con el tiempo y la intensidad del tratamiento (Figura 1), Los mayores tiempos de exposición para alcanzar el contenido de humedad de referencia se presentaron en las muestras de ñame, seguidos de yuca y plátano verde. El porcentaje de error tiende a cero a partir de los 21 min a 140W, 10 min a 280W y 5min a 560W en el caso de la yuca y el plátano; y para ñame a los 45 min a 140W, 12 min a 280W y 8 min a 560W. Esto indica que existe una relación directa en la velocidad de retirada de humedad del producto y la cantidad de energía suministrada, es decir que en la medida en que se aplica mayor potencia en el microondas la energía suministrada es mayor y el tiempo de exposición menor.

Figura 1. Porcentaje de error de a. Yuca, b. Ñame y c. Plátano como función del tiempo después del tratamiento de microondas a ●: 140W, ■:280W y ▲:560W



Cuadro 1. Valores de contenido de humedad según método convencional o de referencia (%H_{ref})

	Yuca	Ñame	Plátano verde
Promedio	56,21%	68,55%	64,7%
Desviación estándar	0,00406	0,0057	0,0140
CV	0,65%	0,76%	0,36%

El factor tiempo es esencial para la aplicación de método de microondas. En primera medida se debe evitar la destrucción de las muestras por la exposición prolongada a la radiación electromagnética y además se debe promover el aumento de la temperatura del producto y la evaporización del agua, es decir propiciar el cambio de calor sensible en calor latente de vaporización [15].

El ñame por tener un contenido de humedad inicial mayor que los demás productos presentó mayores tiempos de exposición. La absorción de energía por el producto depende del contenido de humedad, es decir, se calientan más las partes más húmedas del producto, por eso durante el calentamiento se produce nivelación automática de la humedad en el material y la cantidad de energía utilizada igualmente disminuye automáticamente en la medida que se seca el producto.

En general, los tiempos y coeficientes de variación fueron mayores para el ñame. Los productos presentaron deterioro a mayores tiempos de exposición y las medias del coeficiente de variación no presentaron diferencias estadísticas significativas con la humedad de referencia.

Los resultados del estudio de precisión del método (Cuadro 2), demuestran que el coeficiente de variación es menor al 3%, considerado adecuado para este tipo de análisis, excepto con plátano a la potencia de 560W. No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las medias de los resultados y las varianzas a los tiempos de aplicación de las potencias con respecto a la humedad por el método convencional ($p < 0,01$).

Los resultados del estudio de precisión del método (Cuadro 2) demostraron que en todos los casos los porcentajes de recobrado están entre el 93 y el 103%, siendo el recobrado promedio de 100,29% y el coeficiente de variación de 1,56% lo que consideramos veraz con el límite de recuperación del 98-101% [19]. El recobrado del tratamiento de 140W y 280W en la muestra de yuca están por debajo de los límites aceptables, lo que no garantiza la veracidad de la determinación.

El Análisis de las diferencias (bilateral de Dunnett) entre el %H_{mw} y la humedad de referencia no presentaron diferencia significativas a un nivel del 95% en todos los tratamientos evaluados (Cuadro 2), solo el tratamiento a 540W resultó ser significativa la diferencia.

Fueron descartados los tratamientos a 12, 14 y 45min para la muestra de yuca; 17min en el ñame puesto que presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) con la %H_{ref} a través de la prueba t-Student para dos muestras independientes.

A los ensayos de determinación del contenido de humedad por medio de microondas que cumplieron los parámetros de validación (Cuadro 3) se les determinó la precisión esperada según Horwitz por la relación HorRat, cuyos valores validan los procedimientos puesto que se

Cuadro 2. Estudio de exactitud y precisión en el contenido de humedad de yuca, ñame y plátano utilizando el horno microondas

Producto	Potencia	Tiempo (min)	n	%Href	%Hmw	% Recuperación	s	CV
Yuca	140W	45	8	56,21%	52,63%	93,63%	0,0066	1,25%
	280W	12	8	56,21%	54,24%	96,50%	0,0078	1,43%
	280W	14	8	56,21%	54,66%	97,23%	0,0060	1,10%
	560W	5	8	56,21%	56,27%	100,09%	0,0071	1,26%
Ñame	140W	50	8	67,84%	70,38%	103,75%	0,0168	2,39%
	280W	16	8	67,84%	69,08%	101,84%	0,0078	1,12%
	280W	17	8	67,84%	70,15%	103,41%	0,0082	1,18%
	560W	8	8	67,84%	68,74%	101,34%	0,0119	1,73%
	560W	9	8	67,84%	69,13%	101,91%	0,0094	1,36%
	560W	10	8	67,84%	70,15%	103,42%	0,0122	1,74%
Plátano	140W	20	8	64,71%	64,16%	99,15%	0,0070	1,09%
	280W	9	8	64,71%	66,50%	102,77%	0,0076	1,14%
	560W	4	8	64,71%	63,85%	98,68%	0,0221	3,09%

Cuadro 3. Relación de Horwitz de tratamientos que cumplen parámetros de validación

	W	t (min)	H	D	Hor Rat
Yuca	560	5	0,563	-0,001	0,99
Ñame	140	50	0,704	-1,824	1,00
	280	16	0,691	-0,525	1,00
	560	8	0,687	-0,185	1,00
	560	9	0,691	-0,576	1,00
	560	10	0,701	-1,597	1,00
Plátano	140	20	0,642	0,005	0,99
	280	9	0,665	-0,018	0,99

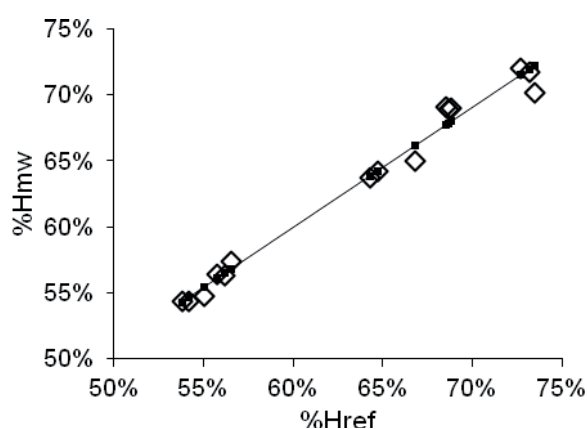
encuentran entre los límites de 0,3 a 1,3 aceptables para un validar métodos en un laboratorio [17].

Al evaluar la linealidad del método (Figura 2) en el rango de humedad de los productos y los parámetros validados (Cuadro 3) del tratamiento por microondas, se obtuvo la ecuación de la $y = 0,909X + 0,053$ con $R^2 = 0,983$, siendo significativa la pendiente y el intercepto, según los test estadísticos realizados.

CONCLUSIONES

El horno microondas a una potencia de 560W resultó ser mas exacto y preciso en la determinación del contenido de humedad, requiriendo 5 min de tiempo de exposición

Figura 2. Regresión lineal en los contenidos de humedad (a. Yuca, b. Ñame y c. Plátano) como función del tiempo de exposición en el horno microondas ◊ %Hmw, ■ Pronostico %Hmw.



para yuca, 8 min para ñame y 4 min para plátano verde. No se presentó diferencia entre las técnicas aplicadas, sugiriendo el empleo del horno microondas por razones relacionadas al tiempo de exposición, eficiencia y practicidad en la determinación del contenido de humedad de yuca, ñame y plátano verde.

A un mayor contenido de humedad inicial de una muestra de producto agrícola indica una mayor absorción de energía de radiación por el microondas.

Existe una correlación lineal entre los valores de contenido de humedad para yuca, ñame y plátano verde determinados por método convencional y el método de microondas.

REFERENCIAS

- [1] RUIZ, R. En: *Current Protocols in Food Analytical Chemistry. Gravimetric Measurements of Water*. John Wiley & Sons, Inc., 2001, p. 5-33.
- [2] MANTANUS, J., ZIÉMONS, E., LEBRUN, P., ROZET, E., KLINKENBERG, R., STREEL, B., EVRARD, B. and HUBERT, P. Moisture content determination of pharmaceutical pellets by near infrared spectroscopy: method development and validation. *Analytica Chimica Acta*, 642, 2009, p.186–192.
- [3] SORLAND, G., LARSEN, P., LUNDBY, F., RUDI, A. and GUIHENEUF, T. Determination of total fat and moisture content in meat using low field NMR. *Meat Science*, 66, 2004, p. 543–550.
- [4] GALLINA, A., STOCCO, N. and MUTINELLI. Titration to determine moisture in honey: A new simplified approach. *Food Control*, 21, 2010, p. 942–944.
- [5] Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods 925.09: Moisture in cassava – Air Oven Methods: Official Methods of Analysis of AOAC International*, 2005.
- [6] Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods 925.10 (32.1.03) – Solids (total) and Moisture in Flour – Air Oven Methods: Official Methods of Analysis of AOAC International*, 2005.
- [7] GORAKHURWALLA, H., GINTY, R. and WATSON, C. Determining moisture content of grain using microwave energy for drying. *Journal Agricultural Engineering Resource*, 20, 1975, p. 319-325.
- [8] CLICK, L. and BAKER, C. Moisture determinations of agricultural products using a microwave oven. *ASAE Paper*, 1980, p. 80-3050.
- [9] KRASZEWSKI, A., NELSON, S. Y YOU, T. Moisture content determination in single corn kernels by microwave resonator techniques. *Journal Agricultural Engineering Resource*, 48, 1991, p. 77-87.
- [10] KRESS-ROGERS, E., KENT, M. Microwave measurement of powder moisture and density. *Journal of Food Engineering*, 6, 1987, p. 345-376.
- [11] NYFORS, E. *Industrial Microwave Sensors. A Review. Subsurface Sensing Technologies and Applications*, 1, 2000, p. 23-43.
- [12] CASADA, M.E., WALTON, L.R., SWETNAM, L.D. and CASADA, J.H. Moisture content as a function of temperature rise under microwave radiation. *Transactions of the ASAE*, 1983, p. 907-911.
- [13] SILVA, P. y VALVERDE, E. Validación de la metodología de cuantificación del magnesio por espectroscopia de absorción atómica de llama en la canasta básica de Costa Rica, *Revista Costarricense de Salud Pública*, 19 (1), 2010, p. 36-41.
- [14] VALENTINI, S. R. T., CASTRO, M.F.P., ALMEIDA, F. H. Determinação do teor de umidade de milho utilizando aparelho de microondas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 18 (2), 1998, p. 237-240.
- [15] BOURAOUI, M., RICHARD, P. and FICHTALI, J. A review of moisture content determination in foods using microwave oven drying. *Food Research International*, Canada, 26 (1), 1993, p. 49-57.
- [16] Committee on Codex Specifications. *Food Chemicals Codex 5 ed.* Washington D.C. (U.S.A): National Academy Press, 2004.
- [17] HALL, B. *Single Laboratory Validation. Official Methods of Analysis*, AOAC International, 2008.
- [18] The American Association of Cereal Chemists. *AACC Method 44-15A, Moisture – Air Oven Methods*. 1995.
- [19] Zumbado, H. *Análisis Químicos de los Alimentos. Métodos Clásicos*. Instituto de Farmacia y Alimentos. Universidad de la Habana, 2004, 435 p.