

OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE ARROZ INTEGRAL DE COCCIÓN RÁPIDA

Jhoana Colina y Marisa Guerra

RESUMEN

Los cereales más consumidos en Venezuela son maíz, trigo y arroz, el último de los cuales tiene mayor rendimiento y un mejor valor nutricional que disminuye al procesarlo para obtener el arroz blanco. El arroz integral, rico en vitaminas y minerales, presenta bajo consumo por su largo tiempo de cocción (45-60min), baja estabilidad y atributos sensoriales no atractivos. En los últimos años ha habido un auge en el desarrollo de productos saludables y de rápida preparación. El presente estudio tuvo como objetivo la obtención y evaluación de arroz integral de cocción rápida. Se utilizó un proceso de tres etapas: 1) Remojo: Se evaluaron los efectos de la solución, temperatura

y tiempo sobre la absorción de agua, incremento de volumen y humedad. 2) Cocción: Se estudió los efectos de la temperatura y el tiempo sobre la absorción de agua, incremento de volumen y gelatinización; el tratamiento que resultó mejor se comparó con la cocción a vapor. 3) Secado: Se utilizaron dos temperaturas y se midió la capacidad de rehidratación. Se determinó la composición proximal y el contenido de minerales al arroz crudo y precocido. Se obtuvo un arroz integral de cocción rápida (25min) el cual mantuvo sus características nutricionales, en cuanto a proteínas, grasa y minerales.

Introducción

A escala mundial, el arroz (*Oryza sativa* L.) es el cultivo de cereales más importante, ya que se produce en todos los continentes, siendo el alimento principal de 2/3 de la población mundial. (FAO, 2000; 2005). En Venezuela, los cereales más consumidos son maíz, trigo y arroz. Este último es el segundo cereal en producción del país, aunque su rendimiento es mayor al del maíz. De hecho, en cuanto a cereales se refiere, el arroz tiene una potencialidad de producción alta mientras el maíz es cultivado con bajo rendimiento (FAO, 2000).

El arroz es una buena fuente de energía, ya que su mayor componente son carbohidratos (81,2%). Posee un bajo contenido de grasa, es fácilmente digerible e hipoalergénico, por lo que es el primer cereal reco-

mendado por pediatras cuando se introducen cereales como alimentación complementaria (Guerra, 1991, 2003). Al pulir el arroz se elimina el salvado, donde se concentran la mayor cantidad de vitaminas, minerales y fibra (Guerra, 1990). Además, en el salvado del arroz integral se encuentran lípidos, así como los pentosanos y antioxidantes presentes en el grano de arroz (Pszczola, 2001). Estos lípidos son ricos en nutrientes tales como la vitamina E y tienen efectos en la reducción del colesterol sanguíneo de los consumidores (Guerra, 1990).

El arroz integral es el de menor consumo, a pesar de sus beneficios en nutrientes y antioxidantes naturales, por lo que últimamente ha habido gran interés en su consumo como alimento saludable (Mohapatra y Bal, 2006). Este tipo de arroz tiene la desventaja de que

necesita un tiempo prolongado de cocción (45-60min; Castillo, 1990), el cual puede ser disminuido con el desarrollo de un proceso de precocción que permita la obtención de un producto de cocción rápida.

Una de las primeras patentes para la manufactura de arroz de cocción rápida la tuvo Kraft Food Inc., cuando en 1946 sacó al mercado estadounidense Minute Rice, arroz blanco que se cocina en 10min (Kraft, 2000). Desde entonces se han hecho esfuerzos importantes para desarrollar métodos que acorten el tiempo de preparación del arroz, tales como los patentados en EEUU bajo los números 3,879,566 y 4,133,898 por Cox y Cox (1975) y por Carlson *et al.* (1979), respectivamente. Aunque el procedimiento general para la producción de la mayoría de los arroces instantáneos involucra los pasos básicos de remojo

en agua, cocción y secado, se ha demostrado que variaciones en estos procedimientos tienen efectos significativos sobre el tiempo de cocción y la calidad sensorial de los productos finales (Roberts *et al.*, 1980; Smith *et al.*, 1985; Castillo, 1990).

El presente estudio tiene como objetivo obtener y evaluar un arroz integral de cocción rápida, con el fin de desarrollar un proceso que permita la disminución del tiempo de cocción del arroz integral.

Materiales y Métodos

Materia prima

En el estudio se utilizó arroz integral proveniente de la agroindustria arrocería de Acarigua, Estado Portuguesa, Venezuela. El arroz fue almacenado en bolsas a -10°C en un congelador hasta el experimento (15 días).

PALABRAS CLAVE / Arroz Integral / Cocción Rápida / Remojo / Secado /

Recibido: 20/11/08. Modificado: 29/09/2009. Aceptado: 30/09/2009.

Jhoana Yamilet Colina Moncayo. Ingeniera Química, Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre", Venezuela. M.Sc. en Ciencia de los Alimentos,

Universidad Simón Bolívar (USB), Venezuela. Profesora, USB, Venezuela. Dirección: Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos. Edif. Aulas. Piso 3.

Ofic. 319A. Universidad Simón Bolívar, Baruta. Caracas, Venezuela. e-mail: jhoanacolina@usb.ve

Marisa Guerra. Licenciada en Biología, Universidad Central de Venezuela. Doctora en Ciencia de los Alimentos, Universidad de Campinas, Brasil. Profesora, USB, Venezuela.

MANUFACTURE AND EVALUATION OF A QUICK-COOKING BROWN RICE

Jhoana Colina and Marisa Guerra

SUMMARY

The cereals of highest consumption in Venezuela are corn, wheat and rice, the later having a higher yield and a better nutritional value that decreases with processing. Brown rice is rich in vitamins and minerals and its consumption is low, due to its long cooking time (45-60min). In recent years there has been a boom in the development of healthy products of fast preparation. The objective was to obtain and evaluate a quick-cooking brown rice. A three-stage process was used: 1) Soaking. The effects of dissolution, temperature and time on the water absorp-

tion, volume increase and humidity were evaluated. 2) Cooking. The effects of temperature and time on water absorption, volume increase and gelatinization were studied, and the best treatment was compared with heating in an autoclave. 3) Drying. Two temperatures were used and the rehydration capacity was measured. The composition and mineral content of the raw brown rice and the quick cooking brown rice were determined. A quick cooking (25min) brown rice was obtained which maintained its nutritional characteristics in terms of protein, fat and minerals.

OBTENÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM ARROZ INTEGRAL DE COCÇÃO RÁPIDA

Jhoana Colina e Marisa Guerra

RESUMO

Os cereais mais consumidos na Venezuela são o milho, trigo e arroz. Este último tem maior rendimento e melhor valor nutritivo, o que diminui com o processamento para obter o arroz branco. O arroz integral, rico em vitaminas e minerais, apresenta baixo consumo pelo longo tempo de cocção (45-60min). Nos últimos anos tem existido aumento no desenvolvimento de produtos saudáveis e de rápida preparação, pelo que o objetivo deste estudo é a obtenção e avaliação de um arroz integral de cocção rápida. Utilizou-se o um processo e tres etapas: 1) Colocar de molho e avaliar os efeitos da solução, temperatura

e tempo sobre a absorção de agua, aumento de volume e unidade. 2) Cocção. Estudou-se os efeitos da temperatura e tempo sobre a absorção de agua, aumento de volume e gelatinização; o tratamento que resultou melhor comparou-se com a cocção a vapor. 3) secado. Utilizaram-se duas temperaturas e mediu-se a capacidade de rehidratação. Determinou-se a composição proximal e o conteúdo de minerais do arroz cru e precocado. Obteve-se um arroz integral de cocção rápida (25min) o qual manteve suas características nutricionais, quanto a proteínas, gordura e minerais.

Proceso de precocción

La preparación del arroz integral de cocción rápida incluyó tres etapas, remojo, cocción y secado.

Remojo

En esta etapa del proceso se siguieron las recomendaciones de Roberts *et al.* (1980) y Smith *et al.* (1985). Se determinaron los efectos de los factores solución (agua destilada y 1% de citrato de sodio grado alimenticio), temperatura (25 ± 2 y $50 \pm 1^\circ\text{C}$), y tiempo de remojo (8 y 16h). Las ocho combinaciones de estos tres factores se señalan en la Figura 1. Las variables respuesta medidas fueron los porcentajes de absorción de agua, de incremento de volumen y humedad. Se utilizó un diseño factorial 2^3 con tres réplicas y los análisis se realizaron por triplicado. El proceso de remojo consistió en

colocar una muestra de 100g en un vaso de precipitado de 1 litro, al cual le fue adicionado 800ml de la solución de remojo. La mezcla (1:8) fue agitada manualmente de forma eventual, a la temperatura y tiempo seleccionados en un baño termostático. Al finalizar el periodo de remojo, la solución fue decantada y el exceso de agua removido por extensión de las muestras sobre papel absorbente.

La cantidad de agua retenida por la muestra se midió pesando la muestra antes y después del proceso de remojo. El porcentaje de absorción de agua fue determinado dividiendo la diferencia de peso entre el peso inicial del arroz sin remojar y multiplicado por 100 (Smith *et al.*, 1985).

El volumen de las muestras de arroz se midió antes y después del proceso de remojo colocando una alícuota de 10g de arroz en un cilindro graduado.

El porcentaje de incremento de volumen fue determinado por la división del incremento de volumen del arroz remojado entre el volumen original del arroz crudo, $\times 100$ (Smith *et al.*, 1985).

La humedad fue determinada según el método oficial 925.10 (AOAC, 1990). Se utilizó calentamiento a presión atmosférica, en una estufa marca Lab-Line, a una temperatura de 103°C .

Cocción

El proceso de cocción fue dividido en dos partes. Primero, se evaluó el efecto de los factores temperatura (85°C) y ebullición (96°C), y tiempo de cocción (25 y 30min; Roberts *et al.*, 1980; Smith *et al.*, 1985). Las cuatro combinaciones de temperatura y tiempo se aprecian en la Figura 2. Las variables respuesta fueron los porcentajes de absorción de agua, de incremento de volumen y

de gelatinización. Se utilizó un diseño factorial 2^2 con tres réplicas. Segundo, se realizó una comparación pareada entre el tratamiento que resultó mejor en la primera parte y la cocción en autoclave a 121°C y 15psig durante 3min (Roberts *et al.*, 1980; Smith *et al.*, 1985). Los análisis fueron hechos por triplicado. El proceso de cocción consistió en colocar una muestra de 10g de arroz remojado en un vaso de precipitado de 400ml que contenía 200ml de agua destilada, y se aplicaron dos métodos de cocción: 1) en un autoclave a 121°C , 15psig, durante 3min; y 2) en un baño termostático de agua a 85 y 96°C , durante 25 y 30min. Al finalizar el proceso de cocción, la solución fue decantada y el arroz cocido fue enfriado con agua ($0-2^\circ\text{C}$) para detener la cocción. El exceso de agua fue removido por extensión de las muestras sobre papel absorbente. A las muestras le fue deter-

minado el porcentaje de absorción de agua, de incremento de volumen y de gelatinización. Las dos primeras determinaciones se realizaron siguiendo el mismo procedimiento descrito para la etapa de remojo.

Para determinar el grado de gelatinización se colocaron 0,2g de harina de arroz integral desgrasada (100 mesh), 98ml de agua y 2ml de KOH 10M en una fiola de 250ml. Se agitó por 5min y se centrifugó por 15min a 3500rpm. En un tubo de ensayo se colocó 1ml del sobrenadante, 0,4ml de HCl 0,5M y se llevaron a 10ml con agua destilada. Se le añadieron 0,1ml de solución de yodo (1g de yodo y 4g de yoduro de potasio por 100ml de agua), se mezclaron y determinó la absorbancia a 600nm (absorbancia A). Se preparó el blanco colocando 9ml de agua y 5ml de KOH 10M en una fiola de 250ml, pero se le añadió 1ml de HCl 0,5M para neutralizar (absorbancia B). El porcentaje de gelatinización se expresó como la relación entre las absorbancias (Birch y Priestley, 1973).

Secado

Se ensayaron dos temperaturas de secado (82 y 93°C) en una estufa de convección forzada (Binder) y se midió la capacidad de rehidratación (Roberts *et al.*, 1980; Smith *et al.*, 1985).

Antes de iniciar las operaciones para la obtención de un arroz de cocción rápida, se procedió a determinar el tiempo de cocción del mismo utilizando la prueba de Ranghino (Juliano, 1985). Para ello, en un vaso de precipitado de 250ml, se hirvieron 100ml de agua destilada (96 ± 2°C) y se introdujeron 5g de arroz integral crudo, comenzándose inmediatamente a medir el tiempo de cocción. Después de 10min, 10 granos de arroz fueron removidos y presionados entre dos placas de vidrio, procedimiento que se repitió con intervalos de 1min. Se consideró como tiempo de cocción óptimo cuando ≥ 90% de los granos no tenían el centro opaco o crudo. El arroz se

cocinó a fuego lento por 2min adicionales para asegurar que el centro de todos los granos hubiese sido gelatinizado, minutos estos que fueron tomados en cuenta para el tiempo de cocción. Al arroz integral de cocción rápida también se le aplicó este procedimiento para conocer su tiempo de cocción.

Se elaboraron las curvas de secado para cada temperatura y al fin de determinar el tiempo de secado necesario para que el arroz integral alcanzara una humedad del 11% (COVENIN, 1986). Para esto, el arroz cocido se dispuso en una bandeja de 30×20cm, con un espesor de capa de ~1cm. Se tomó una muestra para la determinación de la humedad inicial. El arroz fue distribuido uniformemente y se registró el peso inicial de la muestra. El secado se llevó a cabo por 5h 30min, tiempo durante el cual se registró la variación del peso utilizando una balanza de precisión electrónica (AND, Japón) en diferentes intervalos de tiempo y se determinó la masa final de la muestra después de 18h, para calcular el contenido de humedad en equilibrio. Se midieron también la temperatura ambiente y la temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo, en intervalos de 30min.

Para determinar la capacidad de rehidratación se colocaron 10g de muestra en un vaso de precipitado de 600ml y se le adicionaron 400ml de agua destilada; luego se procedió a hervirla a 100°C por 5min. Se filtró el contenido del vaso de precipitado por 1min y se pesaron los sólidos. La capacidad de rehidratación fue expresada como la relación de pesos entre el arroz rehidratado y seco (Smith *et al.*, 1985).

Para la evaluación del arroz integral crudo y de cocción rápida se determinó la composición proximal y el contenido de minerales.

La composición proximal se determinó utilizando métodos estándares (AOAC, 1990), a saber: la humedad (925.10) en una estufa marca Lab-Line, a 103°C; para la grasa cruda (920.39) se usó un equipo Soxhlet, con tiempo de extracción

con hexano de 6 h; la concentración de N₂ por el método micro Kjeldhal (979.09), usando el factor 6,25 para la conversión del porcentaje de N₂ a proteínas; las cenizas (923.03) por incineración de la muestra a una temperatura de 525°C. Los carbohidratos se determinaron por diferencia.

Para la determinación de minerales, a partir de las cenizas se preparó una solución ácida según norma COVENIN 1178 (1983), a la cual se le determinó P, Mn, Cu, Mg, Al, Fe, Na, K, Zn y Ca, utilizando espectroscopia de emisión atómica con plasma acoplado inducido, con un equipo Spectroflame XL ICP (GBC, Australia).

Análisis estadístico

En la etapa de remojo se realizó un análisis de varianza utilizando el programa Statgraphics Plus 4.0 con el fin de determinar el efecto de los factores estudiados sobre las variables respuesta ($\alpha=0,05$) y para la validez de los resultados obtenidos se procedió a verificar los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianza e independencia. La prueba *a posteriori* utilizada fue la prueba de intervalos múltiples de Duncan. Para la primera parte de la etapa de cocción se le aplicó a los datos el mismo tratamiento estadístico que para el remojo, mientras que para la segunda, se utilizó una t-pareada con el objetivo de determinar si existen diferencias estadísticamente significativas ($\alpha=0,05$) entre los dos tratamientos, tras verificar la normalidad de los pares de datos. Esta última prueba también fue aplicada a la etapa de secado, composición proximal y minerales. Para el tiempo de cocción se usó la prueba t-Student con el fin de determinar si el cambio en esta variable era significativo ($\alpha=0,05$).

Resultados y Discusión

Remojo

El remojo permite incrementar la profundidad y uniformidad de migración del agua en el grano de arroz (Smith *et*

al., 1985), lo cual produce una hidratación suficiente para que el almidón se gelatinice en el proceso de cocción (Juliano, 1985), ya que se llevan a cabo dos mecanismos: 1) la difusión del agua desde la superficie hacia el centro del grano, y 2) cambios físicos y químicos de los componentes del arroz (Suzuki *et al.*, 1976). Por tal razón es deseable en esta etapa de precocción una absorción de agua y contenido de humedad máximos (Smith *et al.*, 1985).

En esta etapa se evaluó el efecto de la solución, temperatura y tiempo de remojo sobre la absorción de agua, incremento de volumen y humedad. Como se observa en la Figura 1 los tratamientos 4 (1%, 25°C, 16h) y 5 (agua, 25°C, 16h) son los que producen una mayor absorción de agua (24,50 y 24,42%); para el incremento de volumen se obtuvo que el tratamiento 7 (agua, 50°C, 16h) produce el valor más alto de esta variable (16,3%), mientras que en el contenido de humedad los tratamientos 6 (1%, 50°C, 16h) y 7 arrojan el mayor valor (30,69 y 30,85%), mientras que los otros tratamientos presentaron diferencias pero tuvieron una baja respuesta.

El análisis estadístico de los datos mostró que ninguno de los factores estudiados afecta significativamente la absorción de agua del arroz integral en el remojo ($p>0,05$). Sin embargo, la interacción de la solución y el tiempo de remojo puede ser tomada en cuenta, ya que el valor de *p* está muy cerca del valor del error tipo I establecido ($p=0,0517$). El tiempo de remojo tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el incremento de volumen del arroz integral ($p=0,0000$), pero en el análisis de varianza se encontró que existen dos interacciones: solución-tiempo ($p=0,0001$) y temperatura-tiempo ($p=0,0159$), que influyen de forma significativa en esta variable, por lo cual en general, cuando una interacción es grande, los efectos principales correspondientes tienen escaso significado práctico (Montgomery, 2004).

La solución ($p=0,0001$) y tiempo de remojo ($p=0,0000$)

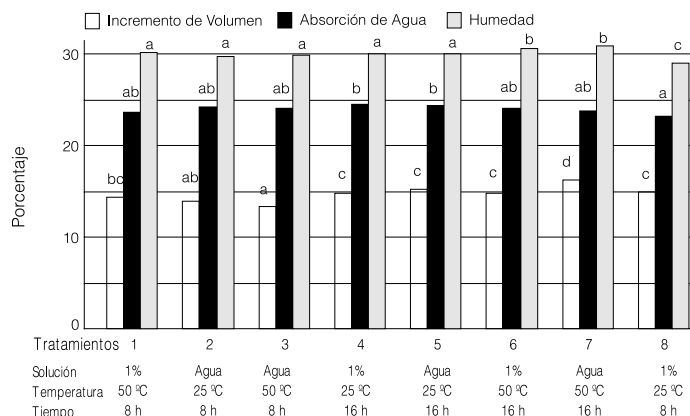


Figura 1. Absorción de agua, incremento de volumen y humedad del arroz integral a diferentes condiciones de remojo. Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0,05$).

afectan de forma significativa el contenido de humedad, sin embargo, la interacción de los tres factores estudiados es estadísticamente significativa ($p = 0,0258$). Ahora bien, para determinar las condiciones a utilizar en el proceso de precocción del arroz integral, se realizará un análisis para cada uno de los factores evaluado, tomando en cuenta que es deseable valores máximos de absorción de agua, incremento de volumen y humedad (Smith *et al.*, 1985).

Para la solución de remojo, los dos niveles utilizados (agua y citrato de sodio 1%) producen la respuesta más alta para la absorción de agua y contenido de humedad (tratamientos 4 y 5; Figura 1); sin embargo, no existen diferencias estadísticamente significativas entre estos tratamientos, por lo que se escogió utilizar agua en la etapa de remojo. Además, esto no acarrea un costo adicional al proceso de precocción, aunado a que el mayor porcentaje de incremento de volumen se obtuvo cuando la solución de remojo fue agua. Este resultado también coincide con lo reportado por Ghosh y Mukherjee (1988), quienes estudiaron diferentes métodos de producción de arroz de cocción rápida, sin que hubiese un efecto beneficioso en la reducción del tiempo de cocción del arroz pretratado con sustancias químicas (citrato y cloruro de calcio).

En cuanto a la temperatura de remojo, este factor no afecta a la absorción de agua,

pero si a las otras dos variables respuesta. Por consiguiente, la temperatura seleccionada fue la de 50°C, que resultó ser la que producía una mayor respuesta. Asimismo, la velocidad de hidratación aumenta con el incremento de temperatura (Juliano, 1985; Poritosh *et al.*, 2006), ya que al calentarse comienza un proceso de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas, que son las menos organizadas y más accesibles, ya que los puentes de hidrógeno no son tan numerosos ni rígidos como en las áreas cristalinas. Además, al incrementarse la temperatura se retiene más agua y el gránulo se hincha, hecho que se evidenció en este estudio porque el incremento de volumen y el contenido de humedad aumentaron. También, se ha reportado que a bajas temperaturas como la ambiental (25°C) puede ocurrir fermentación por bacterias si el tiempo es muy prolongado (Juliano, 1985).

Las tres variables respuestas tuvieron su mayor valor cuando el tiempo de remojo fue de 16h, y como se recomiendan valores máximos (Smith *et al.*, 1985) esa condición se seleccionó para llevar a cabo el proceso de remojo. Esto coincide con lo señalado por Roberts *et al.* (1980), en cuyo estudio sobre la preparación de

arroz integral de cocción rápida el tiempo de remojo utilizado fue de 16h y lo justifican por el hecho que el arroz integral posee capas de salvado que proporcionan una barrera a la hidratación, lo cual lleva a una penetración de agua más lenta al interior del endospermo y, en consecuencia, el tiempo necesario para alcanzar los niveles de humedad deseados es mayor si se compara con el arroz blanco. Finalmente, se puede concluir que las mejores condiciones obtenidas en este estudio para el proceso de remojo fueron: agua a 50°C durante 16h.

Cocción

La cocción del arroz produce esencialmente la gelatinización e hinchamiento de los gránulos de almidón del endospermo del mismo. En esta etapa es deseable obtener un alto porcentaje de gelatinización, una absorción de agua moderada (50-75%) y un porcentaje de incremento de volumen de moderado a alto (70-100%), para que el secado sea óptimo y la calidad del arroz de cocción rápida sea superior (Roberts *et al.*, 1980; Juliano, 1985; Smith *et al.*, 1985).

En la Figura 2 se observa que los tratamientos 4 (85°C, 30min) y 3 (96°C y 25min) son los que producen una absorción de agua moderada, de 52,62 y 73,17%, respectivamente. Para

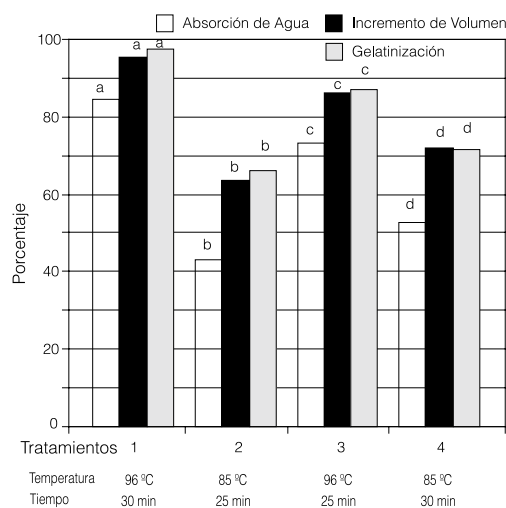


Figura 2 Absorción de agua, incremento de volumen y gelatinización del arroz integral a diferentes condiciones de cocción. Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0,05$).

el incremento de volumen, el tratamiento 3 arroja una respuesta moderada (86,0%) y el 1 (96°C, 30min) un valor alto (95,6). El porcentaje de gelatinización más alto (97,4%) lo obtuvo el tratamiento 1; sin embargo, cabe destacar que en los tratamientos con un tiempo de cocción de 30min (1 y 4), el arroz perdía su integridad física, por lo que serán descartados. Se obtuvo como respuesta que el tiempo ($p = 0,0000$) y la temperatura de cocción ($p = 0,0000$) tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la absorción de agua y el incremento de volumen. Para la gelatinización se observó un efecto estadísticamente significativo, tanto del tiempo ($p = 0,0000$) y temperatura de cocción ($p = 0,0000$) como de la interacción de los mismos ($p = 0,0099$).

Comparando las medias obtenidas para cada una de las variables de respuesta (Figura 2) se seleccionó el tratamiento que produce las condiciones establecidas. De los resultados obtenidos, se tiene que el tratamiento 3 produce una absorción de agua moderada, al igual que un incremento de volumen moderado; además, es el que posee el porcentaje de gelatinización más alto después del tratamiento 1, que fue descartado por lo antes mencionado, razón por la cual estas condiciones (96°C, 25min) fueron las seleccionadas para llevar a cabo el proceso de cocción. Por otra parte, la absorción de agua obtenida es lo suficiente para producir un alto porcentaje de gelatinización, ya que la presencia del agua es necesaria y mientras más limitada sea en los gránulos de almidón, más lento será el proceso de gelatinización (Marshall *et al.*, 1990). Ese porcentaje de agua también permite que el proceso de secado no sea tan prolongado, al tener que eliminar menor cantidad de agua del arroz cocido, disminuyendo el tiempo y los costos de secado.

Los métodos de cocción influyen asimismo en la calidad final del producto

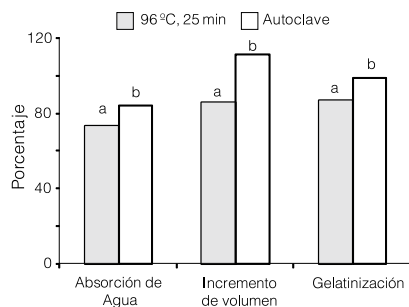


Figura 3. Efecto del método de cocción sobre la absorción de agua, incremento de volumen y gelatinización del arroz integral. Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0,05$).

(Ghosh y Mukherjee, 1988). La vaporización del arroz bajo presión en un autoclave incrementa la velocidad de gelatinización y disminuye el tiempo de cocción (Smith *et al.*, 1985), ya que la presión acelera el proceso de absorción de agua por parte de las moléculas que constituyen el almidón (amilosa y amilopectina), por lo que en este estudio se comparó la cocción de arroz en agua en ebullición (96°C, 25min) con la llevada a cabo en autoclave (121°C, 3min, 15psig). Los resultados del análisis estadístico señalan que hay diferencias estadísticamente significativas entre estos dos tratamientos para la absorción de agua ($p=0,0131$), el incremento de volumen ($p=0,0012$) y la gelatinización ($p=0,0067$; Figura 3).

Estos resultados indican que las mejores condiciones para el proceso de cocción son 96°C y 25min, debido a que la absorción de agua en la cocción con autoclave es elevada (84,44%) y, además, la gelatinización fue de 99,3%. Ghosh y Mukherjee (1988) encontraron que la excesiva gelatinización que se producía en la cocción con vapor ocasionaba que se obtuvieran arroces de baja calidad después del proceso de secado.

Secado

El secado es un proceso de conservación de alimentos que, a través de la eliminación de agua, limita las posibles reacciones químicas de degradación, así como el desarrollo de los microorganismos responsables del deterioro (Sharma *et al.*,

2003). Por otra parte, el secado a altas temperaturas (80-100°C) permite la obtención de arroces con una mejor capacidad de rehidratación que aquellos secados a baja temperatura, debido a que se producen excesivas fisuras (Ghosh y Mukherjee, 1988).

Antes de probar las condiciones de secado se procedió a realizar las curvas de secado para cada temperatura, con el fin de determinar de forma gráfica el tiempo de secado necesario para alcanzar una humedad del 11% (0,11g agua/g sólidos secos). Se obtuvo que para la temperatura de 82°C, el tiempo necesario para alcanzar la humedad deseada fue 167min (2h 47min), mientras que para 93°C se requieren 133min (2h 13min).

Después de llevar a cabo el proceso de secado del arroz precocido a las dos condiciones a evaluar, se encontró que no existen diferencias significativas en la capacidad de rehidratación ($p=0,2697$), por lo que se procedió a establecer la condición de secado en base al gasto de energía, determinándose que el secado a 82°C por 2h 47min consume menor cantidad de energía para alcanzar la humedad deseada (Tabla I).

El proceso de precocción del arroz integral produjo un rendimiento promedio de 92,5g arroz de cocción rápida/100g arroz integral. Para cuantificar este rendimiento se tomó nota de las cantidades de arroz a procesar y la obtención del producto final. Las pérdidas producidas por el proceso de precocción probablemente se deben a sólidos que se solubilizaron en el agua de cocción y a la disminución del contenido de agua producida por el secado.

Tiempo de cocción

El tiempo de cocción del arroz integral crudo fue de 45 \pm 1°C, mientras que el arroz integral precocido mostró un tiempo de cocción de 25 \pm 1°C minutos. Esta disminución significativa ($p = 0,0000$) de 20

TABLA I
CAPACIDAD DE REHIDRATACIÓN DEL ARROZ INTEGRAL DE COCCIÓN RÁPIDA Y GASTO ENERGÉTICO EN EL SECADO

	82°C	93°C
Capacidad de rehidratación	3,5 \pm 0,1 a	3,6 \pm 0,2 a
Gasto energético (J)	2501,66	3485,93

Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0,05$).

minutos representa un 45%, por lo que el producto puede ser clasificado como un arroz de cocción rápida (Juliano, 1985).

Composición proximal y contenido de minerales

En la Tabla II se muestra la composición proximal y el contenido de minerales del arroz crudo y de cocción rápida. Para el arroz de cocción rápida se cumplió con la humedad establecida como límite en el proceso de precocción (11,5 \pm 0,1g/100g). Este valor de humedad le proporciona estabilidad al producto, evitando la infestación por insectos y el desarrollo de microorganismos (Heinemann *et al.*, 2005), especialmente el crecimiento de mohos productores de aflatoxinas (COVENIN 1641, 1999).

El contenido de proteínas de éstos arroces se encuentra dentro del intervalo (7,7-10,8g/100g) reportado por la tabla de composición de alimentos para

arroz integral (INN, 1999). Por otra parte, se puede visualizar que el proceso de precocción no produjo una diferencia significativa en este componente, indicando que las proteínas no se ven afectadas por este proceso. Este resultado coincide con lo señalado por Juliano (1985) para la parbolización, tecnología que involucra etapas similares a las utilizadas en este estudio (remojo, vaporización, secado).

De acuerdo a los resultados en la Tabla II, el contenido de grasa del arroz integral crudo se encuentra en el intervalo (1,6-3,7g/100g) reportado por la tabla de composición de alimentos (INN, 1999). Además, se puede visualizar diferencias significativas entre estos ($p=0,0000$) para este componente, observándose un incremento del mismo, posiblemente porque al solubilizarse y gelatinizarse el almidón se permite la entrada del solvente, logrando la extracción del aceite, lo que no

TABLA II
COMPOSICIÓN PROXIMAL Y CONTENIDO DE MINERALES DEL ARROZ CRUDO Y DE COCCIÓN RÁPIDA

Componente	Arroz integral crudo	Arroz de cocción rápida
Proteínas g/100g	9,5 \pm 0,1 a	9,1 \pm 0,2 a
Grasas g/100g	3,5 \pm 0,3 a	5,2 \pm 0,3 b
Cenizas g/100g	1,1 \pm 0,0 a	0,7 \pm 0,0 b
Carbohidratos* g/100g	85,9	85,0
Minerales (mg/100g)		
Ca	12,6 \pm 0,6 a	13,0 \pm 0,2 a
Mn	2,2 \pm 0,1 a	1,9 \pm 0,0 b
Na	11,1 \pm 0,5 a	10,5 \pm 0,5 a
Cu	0,5 \pm 0,0 a	0,5 \pm 0,0 a
Mg	152,7 \pm 6,3 a	75,1 \pm 2,9 b
Al	9,2 \pm 0,0 a	9,1 \pm 0,0 a
Zn	2,7 \pm 0,1 a	1,8 \pm 0,1 b
P	345,6 \pm 10,0 a	177,7 \pm 8,0 b
Fe	0,3 \pm 0,0 a	0,1 \pm 0,0 b
K	348,7 \pm 3,5 a	71,4 \pm 1,8 b

*Los carbohidratos se calcularon por diferencia. Se reporta la media y desviación estándar de triplicados en base seca. Letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ($p < 0,05$).

sucede en el almidón crudo, ya que la grasa y la proteína se encuentran fuertemente embebidas en la matriz de almidón. Roberts *et al.* (1980) desarrollaron un proceso para la preparación de un arroz integral de cocción rápida, que involucraba una etapa de remojo, cocción y secado, y obtuvieron un aumento del valor nutricional del mismo, incluyendo el contenido de grasa.

El contenido de cenizas del arroz integral crudo esta dentro del intervalo (0,8 a 1,9%) reportado por Guerra (1990). Este valor refleja el contenido de minerales en el mismo. Al igual que para la grasa, en las cenizas se observan diferencias significativas ($p=0,0000$) entre los arroces. Roberts *et al.* (1980) reportan una disminución de los minerales con el proceso de preparación de un arroz integral de cocción rápida, hecho que coincide con lo obtenido en esta investigación. Además, Heinemann *et al.* (2005) señalan una disminución del K y el P con la parbolización, siendo estos macroelementos los más abundantes en el arroz integral (Tabla II). Esta disminución probablemente se deba a la solubilización de los minerales en el agua de remojo y cocción.

En cuanto a los minerales, el K fue el elemento más abundante en el arroz integral crudo, seguido por el P, Mg, Ca, Na y Al. Entre los microelementos se notó la presencia de Zn, Mn, Cu y Fe. Estos resultados coinciden con los reportados por la literatura (Heinemann *et al.*, 2005; Juliano, 1985; Wolnik *et al.*, 1985). El proceso de precocción no afectó significativamente el contenido de Ca, Na, Cu y Al, mientras que Mn, Mg, Zn, P, Fe y K sufrieron una disminución significativa. A pesar de que los minerales, a diferencia de las vitaminas y de los aminoácidos, no se destruyen por exposición al calor, la luz, los oxidantes, los valores extremos de pH u otros factores que afectan a los

nutrientes orgánicos, muchos minerales presentan una buena solubilidad en agua, por lo que es razonable esperar que la cocción de los alimentos produzca ciertas pérdidas de estos componentes. En la cocción de pasta las pérdidas de K son superiores al 50%, hecho que es predecible porque este mineral se encuentra en los alimentos como ión libre (Miller, 2000). Por otra parte, se cree que los patrones de retención de algunos minerales son el resultado de la interacción de diferentes factores tales como la localización del mineral en el grano, la solubilidad durante el remojo y la cocción, diferentes velocidades de migración, así como también, las variaciones en el proceso térmico (Heinemann *et al.*, 2005).

En lo que respecta a los carbohidratos, se observó una disminución de éstos, sin embargo, no se puede determinar si esta diferencia fue significativa debido a que se obtuvieron por diferencia, por lo que no se cuenta con datos suficientes para el análisis estadístico; sin embargo, se encuentran dentro del intervalo (79,0-87,6g/100g) reportado por la tabla de composición de alimentos (INN, 1999).

Conclusiones

Se establecieron las condiciones del proceso de precocción del arroz integral, con el cual se obtuvo una reducción del 45% del tiempo de cocción del mismo, pudiéndose clasificar como un arroz de cocción rápida. En general, se mantiene el valor nutritivo a pesar de una disminución de algunos minerales (P, K, Mg). Sin embargo, se recomienda ampliar el diseño experimental con el fin de obtener condiciones óptimas del proceso de precocción.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Decanato de Estudios de Postgrado de la Universidad Simón Bolívar por el financiamiento de esta investigación.

REFERENCIAS

- AOAC (1990) *Official Methods of Analysis*. 15^a ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, EEUU. 1298 pp.
- Birch GG, Priestley RJ (1973) Degree of gelatinization of cooked rice. *Starch* 25: 98-100.
- Carlson RA, Roberts RL, Farkas DF (1979) *Process for Preparing Quick-cooking Rice*. U.S. Patent 4,133,898.
- Castillo R (1990) Precocción del arroz. En *Procesos Tecnológicos en el Aprovechamiento Integral del Arroz*. Fundación CIEPE. Yaracuy, Venezuela. 28 pp.
- Cox JP, Cox JM (1975) *Process for Preparing Quick-cooking Rice*. U.S. Patent 3,879,566.
- FAO (2000) *Perfiles Nutricionales por Países-Venezuela*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. 42 pp.
- FAO (2005) *Bases de Datos Estadísticas de la FAO*. FAOSTAT. www.fao.org. (Cons. 15/07/2005).
- Ghosh AK, Mukherjee S (1988) Studies on the development of methods for production of quick cooking rice. *J. Food Sci. Technol.* 25: 182-185.
- Guerra M (1990) Valor nutricional del arroz y sus subproductos. En *Procesos Tecnológicos en el Aprovechamiento Integral del Arroz*. Fundación CIEPE. Yaracuy, Venezuela. 28 pp.
- Guerra M (1991) Los cereales en la alimentación infantil. *Arch. Venez. Puericult. Pediatr.* 54: 88-92.
- Guerra M (2003) Efecto de los procesos tecnológicos en la calidad nutricional de cereales. En *Efecto del Procesamiento sobre el Valor Nutricional de los Alimentos*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela. pp 73-103.
- Heinemann RJB, Fagundes PL, Pinto EA, Penteado MVC, Lanfer-Marquez UM (2005) Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. *J. Food Comp. Anal.* 18: 287-296.
- INN (1999) *Tabla de Composición de Alimentos para uso Práctico*. Serie Cuadernos Azules N° 54. Instituto Nacional de Nutrición. Caracas, Venezuela. 97 pp.
- Juliano BO (1985) *Rice: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, EEUU. 774 pp.
- Kraft (2000) *Fast Easy Meals*. Kraft Foods Inc. www.kraft.com/100/innovations/fasteasy.html, consultada el 05/09/2005.
- Marshall WE, Normand FL, Goynes WR (1990) Effects of lipid and protein removal on starch gelatinization in whole grain milled rice. *Cereal Chem.* 67: 458-463.
- Miller DD (2000) Minerales. En Fennema OR (Ed.) *Química de los Alimentos*. 2^a ed.. Acricbia. Madrid, España. pp. 736-770.
- Mohapatra D, Bal S (2006) Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions. *J. Food Eng.* 73: 253-259.
- Montgomery DC (2004) *Diseño y Análisis de Experimentos*. 2^a ed. Limusa, México. 686 pp.
- COVENIN (1986) *Norma COVENIN 2384. Arroz Blanco para Uso Industrial*. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela. 11 pp.
- COVENIN (1983) *Norma COVENIN 1178. Alimentos. Determinación de Fósforo*. 1^a rev. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela. 15 pp.
- COVENIN (1999) *Norma COVENIN 1641. Arroz Blanco de Grano Largo*. 2^a rev.. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela. 8 pp.
- Poritosh R, Shimizu N, Shiina T, Kimura T (2006) Energy consumption and cost analysis of local parboiling processes. *J. Food Eng.* 76: 646-655.
- Pszczola D (2001) Rice: not just for throwing. *Food Technol.* 55: 53-59.
- Roberts RL, Carlson RA, Farkas DF (1980) Preparation of a quick-cooking brown rice product using a centrifugal fluidized bed drier. *J. Food Sci.* 45: 1080-1081.
- Sharma SK, Mulvaney SJ, Rizvi SS (2003) *Ingeniería de Alimentos*. Limusa. México. pp. 216-224.
- Smith DA, Rao RM, Liuzzo JA, Champagne E (1985) Chemical treatment and process modification for producing improve quick-cooking rice. *J. Food Sci.* 50: 926-931.
- Suzuki K, Kubota K, Omichi M, Hosaka H (1976) Kinetic studies on cooking of rice. *J. Food Sci.* 41: 1180-1183.
- Wolnik KA, Fricke FL, Capar SG, Meyer MW, Satzger D, Bonnin E, Gaston CM (1985) Elements in major raw agricultural crops in the United States. 3. Cadmiun, lead, and eleven other elements in carrots, field corn, onions, rice, spinach, and tomatoes. *J. Agric. Food Chem.* 33: 807-811.