



## Cocción de arroz: eficiencia energética, valor nutricional y metales pesados

María Belén Medina <sup>a,b</sup>; Rodrigo Barragán <sup>b</sup>; David Colman Casanova <sup>b</sup>; Micaela Piacenza <sup>b</sup>; Martín Sebastián Munitz <sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos de Entre Ríos (ICTAER), Argentina

<sup>b</sup> Facultad de Ciencias de la Alimentación – Universidad Nacional de Entre Ríos, Argentina

Correspondencia: martin.munitz@uner.edu.ar

Recibido: Agosto 5, 2021. Aceptado: Octubre 04, 2021. Publicado: Diciembre 21, 2021

### Resumen

El arroz es uno de los cereales más producidos y consumidos en el mundo, debido a su aporte calórico a la dieta de los seres humanos. El componente principal del arroz es el almidón, pero también es una fuente importante de minerales, fibras y vitaminas. El arroz puede contener también niveles importantes de metales tóxicos. Existen varios métodos utilizados para la cocción del arroz a nivel doméstico, siendo los más comunes el arroz hervido, la cocción en olla arrocera eléctrica, cocción a presión y cocción en microondas. Se evaluó la eficiencia energética de los métodos hallando que la cocción en olla arrocera eléctrica logró un ahorro del 35 – 40 % en comparación con el método por microondas y el tradicional. La cocción óhmica resultó ser la más rápida, con un tiempo de 5 – 7,5 minutos. Este cereal sufre procesos previos a su consumo, los que pueden afectar el contenido de los compuestos mencionados. El lavado del grano genera una reducción del contenido de minerales esenciales y tóxicos, así como de vitaminas B1 y B2 y de ácido fítico. El remojo no generó cambios significativos en el contenido de vitamina B2, minerales y ácido fítico. La cocción por microondas provocó una menor disminución de vitaminas y ácido fítico que la cocción a altas presiones. La cocción con remojo previo provoca no solo la disminución de metales pesados, sino también de minerales esenciales. Por último, otros autores estudiaron el efecto del tiempo y temperatura de cocción con el fin de analizar la variabilidad de las fracciones digeribles del almidón de arroz. Encontraron que, al aumentar la temperatura de 50 a 90°C, la fracción de almidón de digestión rápida se incrementa.

**Palabras clave:** cocción de arroz; eficiencia energética; valor nutricional; metales pesados.

### Abstract

Rice is one of the most produced and consumed cereals in the world, because of its caloric intake in the diet of human beings. Starch is the main component of rice grain, but it is also an important source of minerals, fibers, and vitamins. Rice can also contain significant levels of toxic metals. There are several household cooking methods, and the most common ones are boiling, electric rice cooker, pressure cooking, and microwave cooking. The energy efficiency of the different methods was evaluated, finding that the cooking process using an electric rice cooker achieved savings of 35 – 40 % compared to the microwave and traditional methods. Ohmic cooking turned out to be the fastest cooking method, with a time of 5 - 7.5 minutes. Different processes could be applied to this cereal before its consumption, which can affect the mentioned compounds' content. The previous grain washing generates an essential and toxic minerals content reduction, as well as vitamins B1, B2 and phytic acid. The pre-soaking did not generate significant changes in the content of vitamin B2, minerals and phytic acid. Microwave cooking generated lower vitamin and phytic acid decrease than high pressure cooking. The pre-soaking method followed by cooking generated not only a heavy metal reduction, but also, an essential mineral reduction. Finally, other authors studied the effect of cooking time and temperature in the variability of rice starch digestible fractions. They found that changing temperature from 50 to 90 °C, generates the increase of rapidly digesting starch fraction.

**Keywords:** rice cooking; energy efficiency; nutritional value, heavy metals.

### 1. Introducción

El arroz es una de las fuentes nutricionales y energéticas más importantes de la población mundial, siendo el alimento principal de millones de personas. Se cultiva ampliamente en todo el mundo, la producción mundial en el año 2018 fue de 506,3 millones de toneladas de arroz blanco [1].

El componente principal del arroz es el almidón, el cual está formado por dos fracciones principales, una lineal llamada amilosa y una ramificada denominada amilopectina. Se considera que ambas determinan la calidad culinaria de las diferentes variedades de arroz, siendo la preferencia de los consumidores de América Latina el arroz de alta amilosa (>28 %) e intermedio (25 a 27 %). Los arroces con alto contenido de

amilosa luego de su cocción son granos sueltos, más firmes, secos y de textura suave [2].

El arroz es una fuente importante de minerales, fibras y en menor proporción de vitaminas [3,4]. El bajo contenido de grasa, además de contener vitaminas del grupo B (tiamina, riboflavina, niacina) y elementos esenciales que incluyen hierro (Fe), zinc (Zn), magnesio (Mg), cobre (Cu), aluminio (Al) y manganeso (Mn), hacen que el arroz sea considerado un alimento adecuado para todas las dietas. Aunque no es rico en fuente de proteína (2 a 2,5 mg/taza de arroz cocido), su calidad proteica es más alta que la de otros cereales [5].

Los minerales son nutrientes esenciales para la salud y juegan un papel importante en procesos fisiológicos y síntesis de macronutrientes. La tiamina (vitamina B1) está estrechamente relacionada con el metabolismo normal de glucosa en el cerebro, y su deficiencia puede debilitar la memoria [6]. La falta de riboflavina (vitamina B2) puede causar anemia por interferir en la absorción de hierro, pudiendo dar lugar a cáncer y enfermedades cardiovasculares [7].

El arroz posee un alto valor nutricional, pero, es importante destacar la presencia de contaminantes, especialmente los metales tóxicos, como por ejemplo, arsénico (As), plomo (Pb) y cadmio (Cd). Debido al alto consumo de arroz, los consumidores están expuestos a altos niveles, por lo que, se deberían tomar medidas adecuadas para evitar su incremento [8-11]. La exposición prolongada al arsénico a través del consumo de agua y alimentos contaminados puede causar cáncer y lesiones cutáneas. También se ha asociado a problemas de desarrollo, enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes [12].

## 2. Cocción de arroz

El arroz debe cocinarse antes del consumo. La cocción se puede describir como el proceso de gelatinización del almidón, presente en el cereal, a tiempos y temperaturas elevadas. Así, los gránulos de almidón absorben agua, se hinchan y, en presencia de calor, se gelatinizan completamente (liberándose amilosa al medio acuoso). Existen varios métodos utilizados para la cocción del arroz a nivel doméstico, siendo los más comunes el arroz hervido, la cocción en olla arrocera eléctrica (ERC, "electric rice cooker"), cocción a presión y cocción en microondas. La cocción mediante el hervor del arroz (método tradicional) es el método más antiguo y también el menos energéticamente eficiente, el cual consiste en sumergir el arroz en agua hirviendo hasta que llega al punto justo de cocción, separando finalmente el arroz cocido del agua por colación. Es común realizar un remojo previo a la cocción, logrando así una distribución uniforme del agua y una gelatinización total del almidón [13-15].

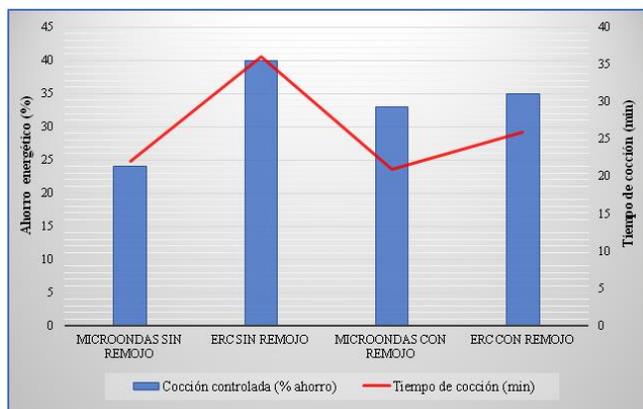
## 3. Eficiencia energética de los métodos de cocción

En el método de cocción tradicional la fuente de calor suele ser una llama o una placa calefactora en la que la energía térmica debe transferirse desde una superficie de calentamiento hasta la olla de cocción, y luego a la mezcla de arroz y agua por conducción térmica y convección. En el caso de los métodos de cocción por microondas, así como por calentamiento óhmico, los alimentos se calientan a través de la movilidad de rotaciones dipolares e iónicas. La principal diferencia en los mecanismos de calentamiento de estas dos últimas técnicas es que con la segunda, los componentes iónicos son dominantes, y los efectos de rotación de dipolos son relativamente pequeños; mientras que con la primera los efectos de los dipolos se vuelven significativos [16-22].

Partiendo de la base de que el método de cocción tradicional es el menos eficiente energéticamente, se han realizado varias investigaciones comparando la cocción en microondas con la cocción en ERC, y la cocción a presión en microondas y calentamiento óhmico [19-21].

*3.1 Comparación de cocción con microondas, ERC y a presión*  
Lakshmi et al. [13] realizaron cocciones por microondas y ERC bajo condiciones normales y controladas. Esto último significa que la entrada de energía durante el proceso de cocción se controló, con el objetivo de igualar la energía real requerida para cocinar, manteniendo las pérdidas por evaporación al mínimo posible. De este modo, monitoreando la temperatura se detenía el suministro de potencia al microondas una vez que la temperatura de la mezcla de arroz y agua alcanzaba la temperatura de ebullición. La cocción controlada resultó en ahorros de energía, a expensas de prolongar levemente los tiempos de cocción en comparación con el proceso en condiciones normales (diferencias de 1 minuto entre una cocción y otra). Asimismo, la cocción controlada en ERC resultó en ahorros de energía, tanto en arroz sin remojo previo como en uno previamente remojado, cuyos valores son 40 % y 35 %, respectivamente; mientras que en la cocción por microondas, se observó una reducción del consumo energético entre el 14 y 24 % en el caso de arroz sin remojar y de 12 a 33 % en el caso de arroz previamente remojado.

Estos resultados, junto con los tiempos de cada cocción, se presentan en la Fig. 1.



**Figura 1.** Máximo ahorro energético (%) de la cocción controlada con microondas y ERC en comparación con la cocción normal (con y sin remojo), y tiempos, en minutos, del proceso [13].

Por otra parte, Lakshmi et al. [13], realizaron un análisis entre la cocción en ERC, microondas y a presión, utilizando como parámetro de comparación el consumo energético específico (SEC, que es igual a la energía eléctrica de entrada/kg de arroz utilizados en la cocción). La cocción en ERC obtuvo el menor SEC, siendo el consumo energético menor al 36 % y 39 % en comparación con el método por microondas y a presión, respectivamente. Por otro lado, la SEC en la cocción por microondas obtuvo valores levemente menores que en la cocción a presión en forma controlada, entre 6 % y 9 % en arroz sin remojar y arroz previamente remojado, respectivamente. Finalizado el análisis de las cocciones, Lakshmi et al. [13] concluyeron que la cocción en ERC fue la más eficiente energéticamente mientras que, la cocción por microondas ofrece el menor tiempo de cocción entre las diferentes opciones, 22 y 21 minutos, contra los 36 a 26 minutos de la cocción por ERC en arroz sin remojar y previamente remojado, respectivamente. Estos métodos siguen siendo más lentos que la cocción por el método tradicional, con un tiempo aproximado de 10-15 min. La cocción en microondas fue la segunda mejor opción luego de la cocción en ERC, considerando el tiempo de cocción.

### 3.2 Comparación de cocción con microondas y calentamiento óhmico

Gavahian et al. [18] y Ekezie et al. [22] compararon la eficiencia de los métodos de cocción por microondas y calentamiento óhmico en relación al método de cocción tradicional y concluyeron que el método de calentamiento óhmico ofrece varias ventajas. Si bien, el método de microondas no aceleró el proceso de cocción, el calentamiento óhmico resolvió varios inconvenientes del método de cocción tradicional, como por ejemplo, el tiempo de proceso prolongado, alta energía consumida y ensuciamiento. Se demostró que la cocción óhmica es energéticamente más eficiente, reduciendo el tiempo de preparación en un 48 % en comparación con el método de cocción convencional. Esto puede deberse a que la cocción óhmica puede ablandar los granos de arroz a un ritmo mayor

que otros métodos. Además, Gavahian et al. [20] destacan en la comparación del método por microondas y el óhmico, que este último consume menos energía, ahorra tiempo de proceso, y a nivel industrial no necesita de un sector aislado para la seguridad operativa.

## 4. Pre cocción y cocción: influencia en el valor nutricional y de metales pesados

### 4.1 Pre Cocción (remojo y lavado)

El lavado y el remojo son procesos comunes de pre cocción del arroz, los cuales, junto con la cocción, pueden provocar la pérdida directa de minerales y vitaminas, aunque presentan como ventaja la disminución del contenido de metales tóxicos [23].

El remojo puede mejorar la calidad de cocción del arroz. Sin embargo, si este se realiza en agua tibia puede aumentar la pérdida del contenido de minerales durante la cocción. Otro aspecto positivo es que puede reducir efectivamente el contenido de ácido fítico (AF), el cual es un antinutriente que presenta alta densidad de grupos fosfato cargados negativamente, inhibiendo la absorción intestinal de minerales debido a la formación de complejos estables con ellos [23-26]. El lavado del arroz puede eliminar el polvo de la superficie del grano de arroz, reducir el contenido de tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2) y la bioaccesibilidad del Cu, Fe, Zn y As [23,27].

Según Liu et al. [4] el lavado redujo el contenido de ambas vitaminas, y la pérdida de tiamina fue mayor que la de riboflavina. Esto se debe principalmente a la distribución de las mismas en el grano de arroz.

El remojo también disminuyó el contenido de tiamina, mientras que no ejerció cambios significativos en la riboflavina. Lo que podría estar relacionado con sus solubilidades en el agua [28]. Por otro lado, Liu et al. [4] analizaron el contenido de minerales, descubriendo que el lavado provocó disminuciones significativas en los contenidos de Mg, Ca, Mn y Fe. El magnesio mostró la mayor reducción, con un promedio de 54,2 %; seguido del hierro con un valor promedio de reducción de 40,6 %. El calcio sufrió una reducción de aproximadamente 23,5 %; y por último el manganeso presentó una reducción similar al calcio. Estos minerales se ubican principalmente en la fracción de salvado y endospermo del grano de arroz, por lo que pueden ser eliminados fácilmente durante el lavado del grano. Por otro lado, la reducción del contenido de Zn fue sólo del 12,2 %. Puede deberse a que el Zn está muy concentrado en el embrión de arroz y distribuido uniformemente en la capa de salvado y endospermo [29]. Finalmente, la reducción del contenido de minerales por lavado se relaciona principalmente con la distribución de minerales en los granos de arroz y la morfología del arroz.

No se observaron cambios significativos en el contenido de minerales después del remojo.

Por último, considerando el contenido de AF, Liu et al. [4] hallaron que el lavado del grano de arroz provocó la reducción

del contenido en un promedio de 8,4 %. El remojo disminuyó ligeramente su contenido.

Sharafi et al. [30] encontraron que la tasa de remoción promedio de todos los metales, tanto tóxicos como esenciales, es significativamente diferente entre varios métodos de pre cocción de arroz de la siguiente manera:

Sólo lavado (W) < W + Remojo 1 h < W + Remojo 5 h < W + Remojo 12 h.

En las condiciones de sólo lavado (W), W + Remojo 1 h y W + Remojo 5h, la tasa de remoción promedio de metales esenciales fue mayor que la de los metales tóxicos. En contraste, por los procesos de W + Remojo 12 h y Cocción, la tasa promedio de remoción de metales tóxicos fue más alta que la de los metales esenciales. Los resultados pueden observarse en las Fig. 2 y 3.

#### 4.2 Cocción

Liu et al. [4] evaluaron el efecto de la cocción por microondas (MC) y a altas presiones (HR) en el contenido de vitaminas del grupo B, minerales y AF, en arroz.

El contenido inicial de tiamina del arroz crudo varió entre 0,90 y 1,30 mg/kg. Luego de las cocciones por MC y HR las pérdidas fueron del 48,8 % y del 67,5 %, respectivamente. Considerando la riboflavina, el contenido inicial en el arroz osciló entre 0,29 y 0,31 mg/kg. Similar a lo ocurrido en el caso anterior, la cocción también provocó una reducción sustancial de riboflavina, siendo de 31,9 % y 49,0 % para MC y HR, respectivamente. Éstas pérdidas durante la cocción pueden deberse a su inestabilidad química en soluciones neutras en condiciones de alta temperatura [28]. Las pérdidas de ambas vitaminas fueron menores después de cocinar en microondas.

Jafar et al. [24]; Egli et al. [25]; Roohani et al. [26] también encontraron que la cocción reduce significativamente el contenido de minerales, tiamina, riboflavina y AF en el arroz. Además, Hemalatha et al. [31] determinaron que una cocción a alta presión o con microondas pueden disminuir la bioaccesibilidad del Zn pero aumentar la bioaccesibilidad de Fe. La cocción aumentó ligeramente el contenido de Mg y Mn en arroz. Este fenómeno puede deberse a Mg y Mn fluyó del grano de arroz durante el remojo y pueden ser reabsorbido durante la cocción del arroz, lo que provoca un aumento del contenido de minerales, concluyen Liu et al. [4].

En relación al proceso de cocción del arroz remojado previamente, la cocción con microondas provocó una reducción del 16,0 %; mientras que la cocción a altas presiones generó un 16,3 %. La mayor reducción de AF se observó en el arroz sometido a HC [4].

Cocinar arroz con exceso de agua (en una proporción de arroz y agua de 1:6) puede reducir las concentraciones de arsénico en un 30,0 %, además de otros metales tóxicos como Cadmio (Cd) y Plomo (Pb). Sin embargo, esto también puede reducir la cantidad de elementos esenciales que incluyen potasio (K), níquel (Ni), molibdeno (Mo), magnesio (Mg), cobalto (Co), manganeso (Mn), calcio (Ca), selenio (Se), hierro (Fe), zinc

(Zn) y cobre (Cu) en un 50,0 %, 44,6 %, 38,5 %, 22,4 %, 21,2 %, 16,5 %, 14,5 %, 12,0 %, 8,2 %, 7,7 % y 0,2 %, respectivamente [32].

El arsénico inorgánico, al igual que otros metales pesados, se pueden encontrar en el suelo y agua de pozo. La principal fuente de bioaccesibilidad del As para los seres humanos es a través de la cadena alimenticia y el agua que beben. Si bien el contenido promedio de As en vegetales puede ascender a 20 ng/g; en arroz puede alcanzar niveles de 280 ng/g [33].

En las Fig. 2 y 3 pueden observarse las reducciones en metales pesados y esenciales luego de la etapa de lavado y cocción del arroz.

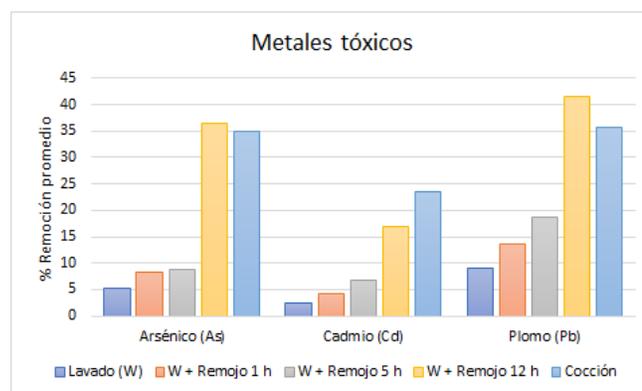


Figura 2. Remoción promedio (%) de la cantidad de metales tóxicos por distintos métodos de pre cocción y cocción de arroz.

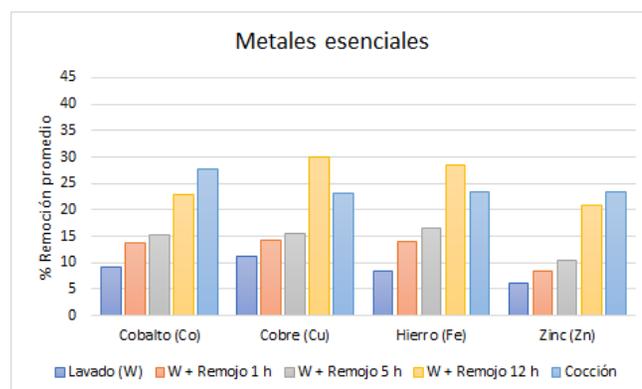
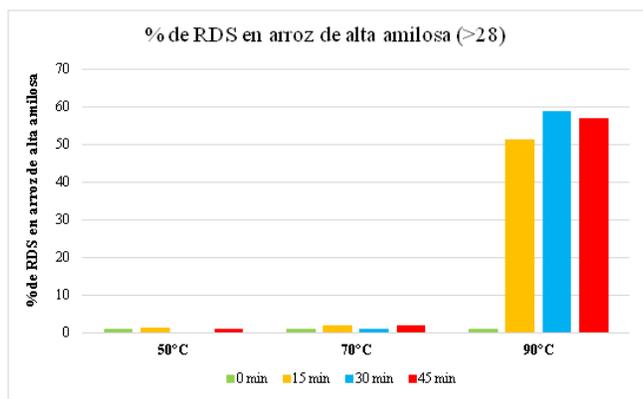


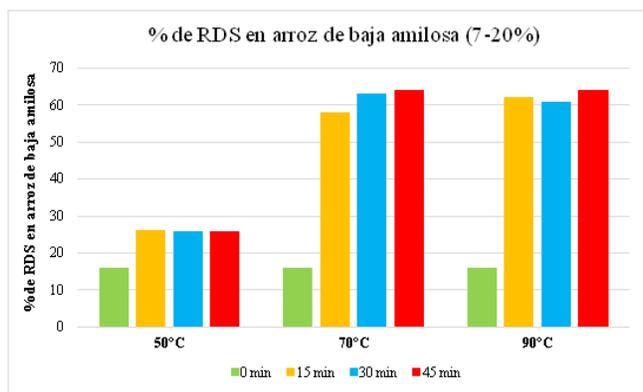
Figura 3. Remoción promedio (%) de la cantidad de metales esenciales por distintos métodos de pre cocción y cocción de arroz.

He et al. [14] realizaron diferentes cocciones, cuyas variables principales fueron el tiempo y la temperatura, con el fin de analizar la variabilidad de las fracciones digeribles del almidón de arroz céreo, bajo y alto en amilosa. Las fracciones nutricionales estudiadas fueron, almidón de digestión rápida (RSD), el almidón de digestión lenta (SDS) y el almidón resistente (RS) encontrando que a medida que la temperatura de cocción se incrementa de 50 °C a 90 °C, la fracción de RDS aumenta significativamente, mientras que las fracciones de SDS y RS muestran un cierto grado de reducción. Por ejemplo, en arroz de alta amilosa con un tiempo de cocción de 15 minutos y

una temperatura de 50 °C tuvo una fracción de RDS de 1,4 % que aumentó hasta 51,4 % al elevar la temperatura de cocción a 90 °C (Fig. 4). Del mismo modo, en arroz de baja amilosa hubo un aumento de 26,3 % a 62,2 % (Fig. 5). En el caso del arroz ceroso el aumento fue de algo menos significativo. Este aumento de la fracción de RDS en el arroz de alta amilosa cocinado a una temperatura más elevada puede atribuirse al mayor grado de alteración de la estructura del almidón incluida la desintegración de las dobles hélices de la amilopectina, la pérdida del orden cristalino y la alteración de las interacciones amilosa-amilosa y/o amilosa-amilopectina.



**Figura 4.** Impacto de la temperatura y el tiempo de cocción sobre la digestión in vitro de RDS en arroz de alta amilosa [14].



**Figura 5.** Impacto de la temperatura y el tiempo de cocción sobre la digestión in vitro de RDS en arroz de baja amilosa [14].

Por otro lado, He et al. [14] compararon el efecto de la temperatura y tiempo de cocción, y encontraron que el segundo factor tuvo un efecto más reducido sobre la digestibilidad in vitro del almidón, existiendo un leve aumento en las fracciones de RDS (Fig. 4 y 5). Esto puede deberse a una mayor absorción de agua, que podría haber destruido la estructura molecular original del almidón provocando una mejor gelatinización, la cual acarrea la lixiviación de amilosa y un aumento en el contenido de RDS.

## 5. Conclusiones

Si se considera la eficiencia energética en la cocción de arroz, se podría elegir entre dos opciones principales, la cocción en olla arroceras eléctrica y por calentamiento óhmico. Esta última, ofrece además, la ventaja de su rapidez, pudiendo ablandar los granos de arroz a mayor velocidad en comparación con otros métodos de cocción, mientras que la primera, si bien tiene tiempos más largos de cocción, es altamente eficiente en términos energéticos. Para seleccionar cuál de los métodos es mejor considerando un aspecto global, se debería continuar estudiando ambos métodos en conjunto. Sin embargo, como solución de compromiso, considerando tiempos de cocción y eficiencia energética, el calentamiento óhmico puede ser una gran opción.

Desde el punto de vista de las características nutricionales, cuando se trata de metales tóxicos y metales esenciales, se pudo observar que las condiciones óptimas para la preparación y cocción del arroz para minimizar los niveles de metales tóxicos mientras se mantienen los metales esenciales en niveles máximos incluyen lavar, remojar durante 1 h y luego cocinar.

En cuanto al contenido de tiamina, riboflavina, bioaccesibilidad de minerales y ácido fólico, se observó que el lavado reduce los contenidos de todos estos, mientras que el remojo sólo disminuyó el contenido de tiamina, sin ejercer cambios en el resto. Además, la bioaccesibilidad de Zn y Ca aumentaron después del lavado y remojo. Luego de la cocción con granos previamente lavados y remojados se puede determinar que hubo disminución de tiamina, riboflavina y ácido fólico. La cocción por alta presión ejerció una mayor influencia sobre el ácido fólico, tiamina y riboflavina considerando los otros métodos debido a su alta temperatura de cocción; mientras que la cocción por microondas resultó en la menor pérdida de vitamina B. En general, la bioaccesibilidad de minerales después de la cocción a presiones elevadas, fue la más baja entre los métodos de cocción.

En cuanto a los contenidos de almidón de digestión rápida, de digestión lenta y almidón resistente, se observó que al aumentar la temperatura aumenta el contenido de la fracción de almidón de digestión rápida mientras que disminuyen las fracciones de almidón de digestión lenta y almidón resistente, siendo despreciable el efecto del tiempo de cocción.

## Referencias

- [1] FAO. Food Outlook - Biannual Report on Global Food Markets. Food Outlook, 1. Rome, 2020. Acceso 25 de septiembre de 2020. <https://doi.org/10.4060/ca9509en>.
- [2] Kusano M., Fukushima A., Fujita N.O., Kobayashi M., Oitomen F., Ebana K., Saito K. Deciphering Starch Quality of Rice Kernels Using Metabolite Profiling and Pedigree Network Analysis. *Molecular Plant* 5(2) (2012) 442-451.
- [3] Galán M.G., Drago S.R. Food matrix and cooking process affect mineral bioaccessibility of enteral nutrition formulas. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94(3) (2014) 515-521. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6280>.

- [4] Liu K., Zheng J., Wang X., Chen, F. Effects of household cooking processes on mineral, vitamin B, and phytic acid contents and mineral bioaccessibility in rice. *Food Chemistry* 280 (2019) 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.053>.
- [5] Kennedy G., Burlingame B. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. *Food Chemistry* 80(4) (2003) 589-596. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00507-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00507-1).
- [6] Gibson G.E., Hirsch J.A., Cirio R.T., Jordan B.D., Fonzetti P., Elder J. Abnormal thiamine-dependent processes in Alzheimer's Disease. Lessons from diabetes. *Molecular and Cellular Neuroscience* 55 (2013) 17-25. <https://doi.org/10.1016/j.mcn.2012.09.001>.
- [7] Powers H.J. Riboflavin (vitamin B-2) and health. *The American Journal of Clinical Nutrition* 77(6) (2003) 1352-1360. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.6.1352>.
- [8] Abtahi M., Fakhri Y., Oliveri Conti G., Keramati H., Zandsalimi Y., Bahmani Z., Hosseini Pouya R., Sarkhosh M., Moradi B., Amanidaz N. Heavy metals (As, Cr, Pb, Cd and Ni) concentrations in rice (*Oryza sativa*) from Iran and associated risk assessment: a systematic review. *Toxin Reviews* 36(10) (2017) 331-341. <https://doi.org/10.1080/15569543.2017.1354307>.
- [9] Sharafi K., Nodehi R.N., Yunesian M., Mahvi A.H., Pirsahab M., Nazmara S. Human health risk assessment for some toxic metals in widely consumed rice brands (domestic and imported) in Tehran, Iran: uncertainty and sensitivity analysis. *Food Chemistry* 277 (2019) 145-155. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.090>.
- [10] Pirsahab M., Fattahi N., Sharafi K., Khamotian R., Atafar Z. Essential and toxic heavy metals in cereals and agricultural products marketed in Kermanshah, Iran, and human health risk assessment. *Food Additives and Contaminants Part B* 9(1) (2016) 15-20. <https://doi.org/10.1080/19393210.2015.1099570>.
- [11] Yousefi N., Meserghani M., Bahrami H., Mahvi A.H. Assessment of human health risk for heavy metals in imported rice and its daily intake in Iran. *Research Journal of Environmental Toxicology* 10(1) (2016) 75-81. <https://doi.org/10.3923/rjet.2016.75.81>.
- [12] OMS. Arsenico, 2018. Acceso 13 de septiembre de 2020. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- [13] Lakshmi S., Chakkaravarthi A., Subramanian R., Singh V. Energy consumption in microwave cooking of rice and its comparison with other domestic appliances. *Journal of Food Engineering* 78 (2007) 715-722. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.011>.
- [14] He M., Qiu C., Liao Z., Sui Z., Corke H. Impact of cooking conditions on the properties of rice: Combined temperature and cooking time. *International Journal of Biological Macromolecules* 117 (2018) 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.05.139>.
- [15] Medina M.B., Munitz M.S., Resnik S.L. Effect of household rice cooking on pesticide residues. *Food Chemistry* 342 (2020) 128311. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128311>.
- [16] Al-Harashsheh M., Kingman S.W. Microwave-assisted leaching—a review. *Hydrometallurgy* 73(3-4) (2004) 189-203. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2003.10.006>.
- [17] Meda V., Orsat V., Raghavan V., Microwave heating and the dielectric properties of foods, in *The Microwave Processing of Foods*, 2nd Edition, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 2017, pp. 23-43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100528-6.00002-4>.
- [18] Gavahian M., Farahnaky A., Farhoosh R., Javidnia K., Shahidi F. Extraction of essential oils from *Mentha piperita* using advanced techniques: Microwave versus ohmic assisted hydrodistillation. *Food and Bioprocess Technology* 94 (2015) 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.01.003>.
- [19] Gavahian M., Chu Y-H., Sastry S. Extraction from Food and Natural Products by Moderate Electric Field: Mechanisms, Benefits, and Potential Industrial Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17(4) (2018) 1040-1052. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12362>.
- [20] Gavahian M., Lee Y-T., Chu Y-H. Ohmic-assisted hydrodistillation of citronella oil from Taiwanese citronella grass: Impacts on the essential oil and extraction médium. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 48 (2018) 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.05.015>.
- [21] Gavahian M., Chu Y-H., Farahnaky A. Effects of ohmic and microwave cooking on textural softening and physical properties of rice. *Journal of Food Engineering* 243 (2019) 114-124. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.09.010>.
- [22] Ekezie F-G.C., Sun D-W., Han Z., Cheng J-H. Microwave-assisted food processing technologies for enhancing product quality and process efficiency: A review of recent developments. *Trends in Food Science & Technology* 67 (2017) 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.014>.
- [23] Mihucz V.G., Silversmit G., Szalóki I., De Samber B., Schoonjans T., Tatár E., Vincze L., Virág I., Yao J., Záráy G. Removal of some elements from washed and cooked rice studied by inductively coupled plasma mass spectrometry and synchrotron based confocal micro-X-ray fluorescence. *Food Chemistry* 121 (2010) 290-297. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.090>.
- [24] Jafar Q., Basem D.F., Maha M.A.J., Ereifej K. Variation in physico-chemical characteristics, mineral concentrations and cookability of rice marketed in Jordan. *Pakistan Journal of Nutrition* 7(1) (2008) 141-145. <https://doi.org/10.3923/pjn.2008.141.145>.
- [25] Egli I., Davidsson L., Juillerat M.A., Barclay D., Hurrell R.F. The Influence of Soaking and Germination on the Phytase Activity and Phytic Acid Content of Grains and Seeds Potentially Useful for Complementary Feeding. *Journal of Food Science* 67(9) (2006) 3484-3488. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09609.x>.
- [26] Roohani N., Hurrell R., Wegmueller R., Schulin R. Zinc and phytic acid in major foods consumed by a rural and a suburban population in central Iran. *Journal of Food Composition and Analysis* 28(1) (2012) 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.07.005>.
- [27] Horner N.S., Beauchemin D. The effect of cooking and washing rice on the bio-accessibility of As, Cu, Fe, V and Zn using an on-line continuous leaching method. *Analytica Chimica Acta* 758 (2013) 28-35. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2012.11.011>.
- [28] Prodanov M., Sierra I., Vidal Valverde C. Influence of soaking and cooking on the thiamin, riboflavin and niacin contents of legumes. *Food Chemistry* 84(2) (2004) 271-277. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00211-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00211-5).
- [29] Liang J., Li Z., Tsuji K., Nakano K., Nout M.J.R., Hamer R. Milling characteristics and distribution of phytic acid and zinc in long-, medium- and short-grain rice. *Journal of Cereal Science* 48(1) (2008) 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.08.003>.
- [30] Sharafi K., Yunesian M., Mahvi A.H., Pirsahab M., Nazmara S., Nohed R.N. Advantages and disadvantages of different pre-cooking and cooking methods in removal of essential and toxic metals from various rice types human health risk assessment in Tehran households, Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 175 (2019) 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.03.056>.
- [31] Hemalatha S., Platel K., Srinivasan K. Influence of heat processing on the bioaccessibility of zinc and iron from cereals and pulses consumed in India. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 21(1) (2007) 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2006.10.002>.
- [32] Mwale T., Rahman M., Mondal D. Risk and benefit of different cooking methods on essential elements and arsenic in rice. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15(6) (2018) 1056. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061056>.
- [33] Mihucz V.G., Tatár E., Virág I., Zang C., Jao Y., Záráy G. Arsenic removal from rice by washing and cooking with water. *Food Chemistry* 105 (2007) 1718-1725. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.057>.