

# Bioaccesibilidad de minerales mayoritarios y oligoelementos en distintas variedades de arroz cocido en Argentina

Trulls, H.E.; Ortiz, M.L.; Zach, A.; Brem, J.C.; Picot, J.A.

Laboratorio de Análisis Físico-Químico anexo a la Cátedra de Biofísica, Facultad de Ciencias Veterinarias, UNNE, Cabral 2139, Corrientes (3400), Argentina.  
E-mail: htrulls@gmail.com

## Resumen

**Trulls, H.E.; Ortiz, M.L.; Zach, A.; Brem, J.C.; Picot, J.A.: Bioaccesibilidad de minerales mayoritarios y oligoelementos en distintas variedades de arroz cocido en Argentina.** *Rev. Vet. 32: 1, 19-24, 2021.* El trabajo se realizó con el objetivo de dilucidar la concentración total y bioaccesible de nutrientes elementales en variedades de arroz de las provincias de Corrientes y Entre Ríos. Las muestras de arroz blanco cocido, del tipo largo fino y fortuna o doble carolina, se procesaron por métodos estandarizados, determinándose humedad, proteínas totales por Kjeldhal y fibra por método gravimétrico-enzimático. Los macrominerales calcio y magnesio se evaluaron por complexometría, el fósforo por espectrofotometría UV-visible, y los microelementos hierro, cobre y cinc por espectrofotometría de absorción atómica. La fracción bioaccesible se determinó por el método de diálisis *in vitro*, utilizando un complejo enzimático y sucesivas incubaciones reproduciendo el proceso de digestión en condiciones fisiológicas. Los resultados de calcio total oscilaron entre 50 mg/100 g de la variedad doble carolina de Corrientes y 87 mg/100 g del largo fino de la misma provincia, el calcio dializable fue entre un 15 y 16%, el fósforo total osciló entre 39,4 mg/100 g en largo fino y 56,2 mg/100 g en doble carolina, ambos entrerrianos y la fracción dializable varió entre 15 y 20%, el contenido de magnesio total fluctuó entre 30,0 mg/100 g y 51,0 mg/100 g y el dializable entre 22 y 31 %. Con respecto al hierro, tuvo concentraciones totales de 6 mg/kg en largo fino con un 60% de dializable y 12 mg/kg en doble carolina, pero con 35% de dializabilidad. El cobre total arrojó valores entre 3,45 mg/kg y 5,70 mg/kg con un 6 al 30% de fracción dializada. El contenido de cinc total varió entre 10,21 mg/kg y 11,48 mg/kg, con una baja fracción bioaccesible, del 3%. Se concluye que los contenidos totales y bioaccesibles de estos nutrientes, asumen una información inicial útil para favorecer un programa de fortificación del arroz, que constituye el cultivo alimentario más importante de la región.

**Palabras clave:** arroz, bioaccesibilidad, macrominerales, elementos traza.

## Abstract

**Trulls, H.E.; Ortiz, M.L.; Zach, A.; Brem, J.C.; Picot, J.A.: Bioaccessibility of major minerals and trace elements in different varieties of cooked rice, from the Argentina.** *Rev. Vet. 32: 1, 19-24, 2021.* The objective of this work was to evaluate the total and bioaccessible concentration of elemental nutrients in rice varieties, from the provinces of Corrientes and Entre Ríos. The samples of cooked white rice, *fine long* and *fortuna* or *double carolina* varieties, were processed by standardized methods, like moisture, total proteins by Kjeldhal, fiber by a gravimetric-enzymatic method. The macroelements calcium and magnesium were evaluated by complexometry, phosphorus by UV-visible spectrophotometry, and the microelements iron, copper and zinc were performed by atomic absorption spectrophotometry. The bioaccessible fraction was determined by an *in vitro* dialysis method, using an enzyme complex and successive incubations reproducing the digestion process under physiological conditions. The results of total calcium ranged between 50 mg/100g of the double carolina variety from Corrientes and 87 mg/100g of the fine long from the same province, the dialyzable calcium was between 15 and 16%, the total phosphorus ranged between 39.4 mg/100g in fine long and 56.2 mg/100g in double carolina, both from Entre Ríos, and the dialysable fraction varied between 15 and 20%, the total magnesium content fluctuated between 30.0 mg/100g and 51.0 mg/100g and the dialyzable between 22 and 31%. Regarding iron, it had total concentrations of 6 mg/kg in fine long rice, with 60% of dialyzable fraction and 12 mg/kg in double caroline, but with 35% of dialyzability. Total copper yielded values between 3.45 mg/kg and 5.70 mg/kg with 6 to 30% dialysed fraction. The total zinc content varied between

10.21 mg/kg and 11.48 mg/kg, with a low bioaccessible fraction of 3%. It is concluded that the total and bioaccessible contents of these nutrients is initial information to promote a fortification program in rice, which is the most important crop in the region.

**Key words:** rice, bioaccessibility, macrominerals, trace elements.

## INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa*) es el alimento más popular en el mundo. En Argentina, la principal zona de cultivo se encuentra en el noreste del país, principalmente en las provincias de Corrientes (45%) y Entre Ríos (36%). El 19% restante se reparte entre las provincias de Santa Fe, Formosa y Chaco. La producción primaria se concentra en esta región debido al tipo de clima y de suelo, que favorecen la inundación necesaria para el cultivo<sup>14</sup>.

Constituye el alimento básico de más de la mitad de la población mundial. Se produce en 113 países y representa un símbolo de identidad cultural y de unidad mundial, razón por la cual las Naciones Unidas celebraron en 2004 el *Año Internacional del Arroz*<sup>8</sup>. En Argentina, la producción oscila en alrededor de 1,5 millones de toneladas al año, de las cuales solo el 35% se destina al consumo interno y el resto se exporta<sup>24</sup>.

La composición química y nutricional de los granos depende de la variedad, de las condiciones climáticas y edáficas del cultivo y de factores que involucran la cosecha y manejo del tratamiento posterior del grano<sup>9</sup>. Este cereal es una buena fuente de energía, ya que sus mayores componentes son carbohidratos (81,2%). Posee un bajo contenido de grasa, es fácilmente digerible e hipoalergénico, por lo cual es el primer cereal recomendado por pediatras cuando se introducen cereales como alimentación complementaria<sup>11</sup>.

Si bien su contenido de proteína es bajo (7-9% promedio en peso) el grano de arroz es la mayor fuente proteica en los países consumidores de este cereal, aportando el 60% de la proteína total de la dieta en Asia<sup>28</sup>. Las glutelinas constituyen la fracción mayoritaria proteica, determinando su alto valor nutricional que la convierte en una de las mejores proteínas vegetales<sup>26</sup>.

La composición elemental del grano, que incluye elementos mayoritarios y trazas, está influenciada por factores ambientales, como ser la composición de los suelos, el manejo del cultivo y variaciones estacionales, además de factores genéticos. La determinación del contenido multi-elemental en un alimento -y en particular del arroz- es una importante herramienta para discriminar el origen geográfico y la trazabilidad de ese producto, siendo este último concepto cada vez más considerado en sanidad alimentaria, implicando garantía de origen, inocuidad de un alimento y certificación de calidad del cereal<sup>20</sup>.

El análisis realizado sobre el contenido de macro y microminerales del arroz demuestran que también está influenciado por el procesamiento y tratamiento de los granos para obtener los diferentes tipos que se comercializan; es así que el pulido y blanqueamiento provoca

una gran pérdida de minerales que en su mayoría están en la cáscara del cereal.

Se han reportado valores importantes de elementos minerales esenciales como fósforo, potasio, magnesio, calcio, zinc, sodio, manganeso, hierro, cobre, molibdeno y selenio, en arroz blanco, integral y parbolizado<sup>25</sup>.

Es importante destacar que nutrientes como hierro (Fe) y zinc (Zn) no están presentes en abundancia en alimentos a base de arroz<sup>9</sup>; estas deficiencias de nutrientes (minerales traza) en el arroz, son ahora reconocidas como las causas del hambre oculta para algunas personas que consumen arroz como su principal fuente de calorías en muchos países en desarrollo<sup>21,30</sup>.

Las deficiencias de micronutrientes, que son prevalentes en estos países pobres, afectan procesos metabólicos que dan lugar al deterioro de funciones sensoriales y cognitivas, al debilitamiento del sistema inmunológico y finalmente al aumento de la morbilidad y la mortalidad, por lo cual este *hambre oculta* produce como consecuencias: baja productividad y pérdidas económicas netas para individuos, hogares y naciones<sup>32</sup>. Por ello, muchos países están introduciendo programas de fortificación del arroz con micronutrientes, principalmente Fe y Zn, ya que se ha demostrado que es una intervención sostenible, segura y efectiva, que genera un impacto significativo en la salud pública.

La fortificación del arroz a gran escala es eficaz cuando se promueve a través de un movimiento multisectorial, que incluye gobierno, sector privado y organizaciones científicas y sociales. El análisis de los niveles de micronutrientes en el arroz, previo al inicio de estas políticas, y su porcentaje efectivo de mineral biodisponible, es uno de los pasos fundamentales<sup>32</sup>.

En la actualidad se destacan numerosos estudios, no sólo sobre el contenido total de minerales en un alimento, sino también el porcentaje que puede ser absorbido por el individuo, considerándose como fracción bioaccesible, que representa la cantidad de nutrientes liberada de la matriz alimentaria, en contraste a la biodisponibilidad de nutrientes, que se refiere a las comidas disponibles para su utilización en condiciones fisiológicas<sup>22</sup>.

La bioaccesibilidad puede ser determinada por tres metodologías generales, que son estudios *in vitro*, bioensayos e investigaciones de balances, estas últimas en animales de experimentación. Los métodos *in vitro* incluyen la solubilidad y dializabilidad y también experimentos de consumo mineral, utilizando enzimas digestivas que simulan todo el fenómeno de la digestión. La dializabilidad de los minerales, como un indicador de la bioaccesibilidad es un método *in vitro* ampliamente utilizado, de gran reproductibilidad en el laboratorio<sup>5</sup>.

El procedimiento involucra una digestión enzimática en condiciones que simulan las fisiológicas, siempre considerando los parámetros lumbales de cada compartimento digestivo, como las enzimas específicas y el pH, además de ciertas consideraciones, como la naturaleza de la matriz del alimento, los procesamientos previos y las prácticas de preparación antes del consumo<sup>10</sup>.

Este trabajo tuvo como objetivo dilucidar la concentración total y bioaccesible de nutrientes elementales de las variedades de arroz consideradas, teniendo en cuenta que en Argentina los organismos oficiales nacionales como el INTA priorizan el estudio de elementos traza en arroz además de los nutrientes minerales en general, como indicadores de calidad, destinados principalmente al mercado de exportación.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Los granos de arroz se obtuvieron de molinos arroceros de las provincias de Corrientes y Entre Ríos, que comercializan su producción bajo diferentes denominaciones. Las muestras fueron de arroz blanco de las variedades largo fino y fortuna o doble carolina, seleccionadas de los envases adquiridos en diferentes centros comerciales, analizándose el producto destinado al consumidor final.

El proceso de cocción de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis Físico-Químicos, perteneciente a la Facultad de Ciencias Veterinarias de la UNNE, donde se pesaron 100 g de arroz, los cuales se llevaron a cocción durante 15 minutos junto con 200 ml de agua destilada desionizada, dejándose secar por 2 h en cajas de Petri. Posteriormente se tomaron los datos del pesaje de las cajas vacías y con el arroz luego de la cocción, para obtener por diferencia el peso fresco del mismo.

Las muestras fueron llevadas a estufa por 48 h a temperatura de 100-105°C registrándose así el peso seco, luego fueron molidas manualmente en mortero hasta obtener un polvo uniforme. Para realizar el análisis de concentración total de minerales se utilizó el método de disgregación por vía seca, es decir la acenización de las muestras, pesando 0,5 g de las mismas y colocando en horno mufla a 500°C por 8 h. Luego se disolvieron las cenizas en ácido clorhídrico y se llevó a un volumen final de 50 ml. Se trabajó por cuadruplicado.

La fracción bioaccesible se determinó por el método de diálisis *in vitro*, utilizando un complejo enzimático y sucesivas incubaciones reproduciendo el proceso de digestión en condiciones fisiológicas del tracto gastrointestinal, es decir simulando la composición química del fluido digestivo, el pH y el tiempo de residencia característico para cada uno de los compartimentos digestivos<sup>5,19</sup>.

Se trabajó por cuadruplicado. Cinco gramos de muestra de arroz cocido, liofilizado y molido se homogeneizaron con 22 ml de HCl 0,1 N y se ajustó a pH 2 con HCl 6N. Para la digestión ácida con pepsina

se agregaron 0,208 g de pepsina porcina a cada frasco (equivalente a 0,5 g de pepsina por cada 100 g de homogeneizado). Se incubó 2 h a 37°C en un baño con agitación. Posteriormente las muestras se colocaron en baño de hielo, a fines de detener la etapa gástrica de digestión.

Luego se colocaron sacos de diálisis cerrados en ambos extremos (porosidad 12-14.000 Å), conteniendo una solución con 25 ml de agua desionizada y la cantidad de NaHCO<sub>3</sub> equivalente a la acidez titulable, previamente medida<sup>5</sup> incubándose en el baño a 37°C por 45 minutos, luego se agregaron 10,3 ml de la mezcla de pancreatina y sales biliares (correspondiente a 0,042 g de pancreatina y 0,266 g de sales biliares por cada 5 g de muestra liofilizada), continuándose la incubación por dos horas más a 37°C en agitación.

Finalmente, se extrajeron los sacos de membrana de diálisis, se los lavó con agua desionizada, se cortó un extremo y se transfirió el contenido a cápsulas de porcelana, evaporándose en plancha caliente hasta sequedad y posteriormente destruyendo toda la materia orgánica en mufla a 500°C.

La concentración de los nutrientes minerales totales y los que atravesaron la membrana semipermeable, considerados como los que pueden ser absorbidos por el organismo, se determinaron previa digestión seca (cenizas) y una disolución en ácidos inorgánicos, usando técnicas estandarizadas<sup>3</sup>, dosando los macro-minerales calcio y magnesio por volumetría de formación de complejos, con solución de EDTA 0,01 M valorada a pH 10 y 12 y fósforo por espectrofotometría de absorción molecular o UV-visible con lectura a 660 nm<sup>7</sup>. Los elementos (micronutrientes) se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica con llama aire-acetileno, utilizando un equipo marca GBC 932 Plus.

La determinación de proteína cruda se realizó por método micro Kjeldahl, calculando el contenido proteico a partir del nitrógeno obtenido, utilizando el factor 5,95 sugerido en el caso de los cereales. La fibra dietaria se realizó por métodos enzimático y gravimétrico, utilizando las enzimas comerciales amilasa, proteasa y amilogucosidasa, con el agregado de etanol para finalmente precipitar la fibra y pesarla<sup>3</sup>.

Los valores fueron tabulados categóricamente en planillas de cálculos Excel, desde donde se exportaron hacia el software Infostat 2003. A fines de validar la normalidad de los datos obtenidos, se utilizó el test de Shapiro-Wilk. Correlaciones de Pearson se usaron para determinar la dependencia entre variables. Se consideraron diferencias significativas con  $p < 0,05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se expresan los porcentajes de humedad, proteína y fibra dietaria en las dos variedades de arroz cocido de ambas provincias. Analizando el porcentaje de humedad, fue muy similar en todos los casos, variando entre 63 y 70%; se hallaron muy pocos estudios de humedad en arroz ya cocinado, listo para su

**Tabla 1.** Composición nutricional de las dos variedades de arroz cocido.

v variedad de arroz	procedencia	humedad %	proteína %	fibra dietaria %
largo fino	Corrientes	64,83	4,24±1,11	5,2±1,1
	Entre Ríos	70,87	6,42±2,31	5,1±1,0
doble carolina	Corrientes	68,03	8,02±0,44	5,5±1,1
	Entre Ríos	63,80	7,03±2,41	5,6±1,1

**Tabla 2.** Valores de macrominerales totales y bioaccesibles en las dos variedades de arroz.

variedad de arroz	procedencia	calcio Ca (mg/100g)		magnesio Mg (mg/100g)		fósforo P (mg/100g)	
		total	dializable	total	dializable	total	dializable
largo fino	Corrientes	87,5±5,26	15,8%	31±4,26	25,5%	39,85±3,26	20,5%
	Entre Ríos	51,3±7,11	16,20%	39±5,18	31,10%	39,45±0,96	18,6%
doble carolina	Corrientes	50,3±4,66	15,8%	51±3,16	22,8%	44,5±2,26	17,5%
	Entre Ríos	75,1±5,19	15, %4	30±3,68	25,8%	56,2±5,86	15,9%

**Tabla 3.** Concentraciones totales y fracción dializable de elementos traza en las muestras de arroz cocido analizadas.

variedad de arroz	procedencia	hierro Fe (mg/kg)		cobre Cu (mg/kg)		zinc Zn (mg/kg)	
		total	dializable	total	dializable	total	dializable
largo fino	Corrientes	6,99±2,05	68%	5,50±1,48	6,26%	11,24±0,48	3%
	Entre Ríos	6,50±1,58	59%	5,70±1,55	7,2%	11,48±1,32	3,5%
doble carolina	Corrientes	13,36±1,42	37,5%	2,81±1,39	30,3%	10,64±1,31	2,9%
	Entre Ríos	11,83±1,33	35%	3,45±1,43	26,8%	10,21±1,48	3,1%

ingestión, como en el presente trabajo; se destaca uno realizado en arroz blanco argentino cocido, que reporta 70% de humedad promedio <sup>24</sup>.

Considerando el contenido proteico, fue mayor en la variedad doble carolina (7 a 8 %) que en el arroz largo fino, que osciló entre 4 y 6%. Tales datos coinciden con estudios actuales que informan valores medios de 6,9% en arroz pulido en general, señalando la importancia de la variedad y de las condiciones ambientales del cultivo para este nutriente <sup>1</sup>. Los valores porcentuales de fibra dietaria fueron en general muy similares, rondando el 5%; los mismos se encuentran en el rango de lo reportado por la bibliografía <sup>4</sup>.

El contenido total y bioaccesible de los macrominerales calcio (Ca), magnesio (Mg) y fósforo (P) figuran en la Tabla 2. Para el Ca se obtuvieron valores comprendidos entre 50 mg/100g correspondiente a la variedad doble carolina de Corrientes y 87 mg/100g del largo fino de la misma provincia, valores similares a los informados en variedades europeas, que destacan el poco aporte del arroz a la ingesta diaria de Ca en la dieta <sup>25</sup>, los valores de calcio dializable estuvieron entre el 15 y 16%.

Las concentraciones promedio de P total oscilaron entre 39,4 mg/100g para largo fino de Entre Ríos y 56,2 mg/100g en doble carolina de la misma provincia, destacándose valores mayores en la variedad doble carolina proveniente de las dos provincias. Otros trabajos muestran mucha dispersión en el contenido total de fósforo desde 10,4 mg/100g hasta 120,3 mg/100g <sup>2</sup>.

Valores mayores a 110,0 mg/100g han sido reportados en otros estudios, indicando que el arroz puede ser una fuente dietética importante de fósforo <sup>25</sup>. Los por-

centajes de P dializable en este trabajo arrojó valores entre 15,9% en el doble carolina de Entre Ríos y 20,5 % en el largo fino correntino.

Con respecto a los valores promedio de Mg total, los mismos oscilaron entre 30,0 mg/100g en arroz entrerriano y 51,0 mg/100g en el arroz correntino, ambos valores extremos de la variedad doble carolina. Se han reportado valores similares, alrededor de 30,0 mg/100g <sup>27</sup>. La fracción *bioaccesible* osciló entre 22,8% en doble carolina correntino y 31,10% en largo fino de Entre Ríos. Es importante destacar la escasa información sobre la fracción bioaccesible en este alimento de los tres macrominerales analizados.

En la Tabla 3 se presentan los resultados de los elementos traza en arroces comerciales según variedad, los valores de hierro total (Fe T) de la variedad doble carolina resultaron superiores (el doble) a la concentración de la variedad largo fino en las dos provincias. Estos valores fueron superiores a los reportados en trabajos previos <sup>25</sup> y similares a lo publicado en trabajos recientes <sup>18</sup>.

Con respecto a la fracción dializable es dable destacar que la variedad doble carolina que presentó mayor concentración total, registró un 35% de fracción bioaccesible, a diferencia de la variedad largo fino, que con menor contenido total, presentó mayor porcentaje para la fracción dializable (60%).

Respecto al cobre, es importante destacar que el arroz es considerado como un alimento "fuente de cobre", debido a que una porción de 50 g de arroz aporta en promedio un 27% de la ingesta diaria recomendada (IDR) para una población adulta masculina (IDR: 900 microgramos / día) <sup>12</sup>.

Los valores de cobre total (Cu T) obtenidos en este trabajo, variaron entre 3,45 mg/kg correspondiente a la variedad doble carolina de Entre Ríos y 5,70 mg/kg del largo fino de igual procedencia. Se han reportado similares valores<sup>17</sup>; mientras que valores inferiores entre 1,9 y 2,4 mg/kg fueron informados por otros autores<sup>16,23</sup>, siempre en muestras de arroz cocido, como en el presente estudio, donde publicaron valores superiores de 7,2 mg/kg<sup>31</sup>.

Con respecto a la fracción dializable (Cu D), ha variado entre valores porcentuales de 6% en la variedad largo fino y un 30% en doble carolina, coincidentes a estudios realizados que informan valores cercanos al 21%<sup>17</sup> y 32%<sup>16</sup>.

Otro elemento traza evaluado fue el zinc. La concentración de este micronutriente en los alimentos es muy importante, teniendo en cuenta que la Organización Mundial de la Salud considera a la deficiencia de zinc como el quinto factor causante de enfermedades en los países en desarrollo y el undécimo en el mundo<sup>6</sup>.

Los valores totales (Zn T) fueron bastante uniformes en las dos variedades, y de las dos provincias en estudio, presentando 10,21 mg/kg la variedad doble carolina entrerriano y 11,48 mg/kg el largo fino de igual procedencia. Se han reportado valores similares (10,8 mg/kg)<sup>13</sup> y de 15,1 mg/kg<sup>15</sup>. Varios autores refieren valores superiores, de 24 mg/kg<sup>23</sup> y 26,5 mg/kg<sup>31</sup> y finalmente en muestras de arroz largo fino, se informaron valores promedio de 32,3 mg/kg<sup>29</sup>.

Considerando la fracción bioaccesible o dializable, este estudio ha hallado valores que rondan el 3% del contenido total del elemento en todas las muestras analizadas, valores francamente menores a la reportada por la escasa literatura hallada, que refieren un 21% de fracción bioaccesible<sup>17</sup> y otros informan un 13%<sup>29</sup>.

En conclusión, este trabajo permitió registrar información sobre las concentraciones total y bioaccesible de macrominerales y principalmente de oligoelementos esenciales para la salud humana. Es de destacar la escasa información existente sobre la fracción bioaccesible, tanto de macrominerales como así también de hierro.

Este estudio representaría un primer eslabón, de interés para entes gubernamentales y privados, con el objetivo de iniciar un programa de fortificación con minerales, sobre todo de hierro y cinc, de este principal cultivo de nuestra región, que sumaría valor agregado a la hora de su comercialización.

El estudio se enmarca en un proyecto de bioaccesibilidad de elementos traza en arroz, que tiene continuidad en la actualidad con el proyecto "Bioaccesibilidad de minerales mayoritarios y elementos traza en carne de pescado de río consumido en la provincia de Corrientes", ambos financiados por la SGCyT-UNNE.

**Agradecimientos.** Al Dr. Fernando Cámara Martos, responsable del laboratorio del Departamento de Bromatología y Tecnología de los Alimentos, UCO (Córdoba, España), donde uno de los autores realizó una ca-

pacitación en técnicas de bioaccesibilidad, en el marco de una beca doctoral otorgada por la AUIP (*Asociación Universitaria Iberoamericana de Posgrado*).

## REFERENCIAS

1. **Aldoury M, Hettiarachchy N, Horax, R.** 2018. Rice-endosperm and rice-bran proteins: a review *J Am Oil Chem Soc* 95: 943-956.
2. **Antoine JM, Hoofung LA, Grant CN, Dennis HT, Lalor GC.** 2012. Dietary intake of minerals and trace elements in rice on the Jamaican market. *J Food Compos* 26: 111-121.
3. **AOAC International.** 2005. Official methods of analysis of AOAC International. 18th ed., Gaithersburg (MD): AOAC International.
4. **Arendt EK, Zannini E.** 2013. Oats. In: Cereal grains for the food and beverage industries. S. Hughes, R. Cox (eds). Woodhead Publishing Ltd., Oxford Cambridge Filadelfia - Nueva Delhi, p. 243-282.
5. **Cámara F, Amaro MA, Barnerá R, Clemente G.** 2005. Bioaccessibility of minerals in school meals: Comparison between dialysis and solubility methods. *Food Chemistry* 92: 481-489.
6. **Cakmak I.** 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil* 302: 1-17.
7. **Dasbasi T, Saçmacı S, Ülgen A, Kartal S.** 2016. Determination of some metal ions in various meat and baby food samples by atomic spectrometry. *Food Chemistry* 197: 107-113.
8. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).** 2004. Año Internacional del Arroz. El arroz es vida. FAO of the United Nations Viale delle Terme di Caracalla Rome 00100 Italy. *On line*: <http://www.fao.org/rice2004/es/f-sheet/hoja3.pdf>.
9. **Gayen D, Sarkar SN, Datta SK, Datta K.** 2013. Comparative analysis of nutritional compositions of transgenic high iron rice with its non-transgenic counterpart. *Food Chemistry* 138: 835-840.
10. **Gharibzadeh S, Jafari S.** 2017. The importance of minerals in human nutrition: bioavailability, food fortification, processing effects and nano encapsulation. Review. *Trends in Food Science & Technology* 62: 119-132.
11. **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, p 73-103.
12. **Heinemann RJ, Fagundes PL, Pinto EA, Penteadó MV, Lanfer UM.** 2005. Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis* 18: 287-296.
13. **Hemalatha S, Platel K, Srinivasan K.** 2007. Zinc and iron contents and their bioaccessibility in cereals and pulses consumed in India. *Food Chemistry* 102: 1328-1336.
14. **Informes de cadena de valor.** 2017. *Arroz*. Dirección Nacional de Planificación Regional. Subsecretaría de Pro-

- gramación Microeconómica. Ministerio de Hacienda de la Nación, Año 2, N° 33.
15. **Kiewlicz J, Rybicka I.** 2020. Minerals and their bioavailability in relation to dietary fiber, phytates and tannins from gluten & gluten-free flakes. *Food Chem* 305: 125-452.
  16. **Kumari M, Platel K.** 2017 Bioaccessibility of trace elements and chromium speciation. International. *Journal of Food Properties* 20: 1612-1620.
  17. **Li T et al.** 2018. Incorporating bioaccessibility into human health risk Assessment of heavy metals in rice (*Oryza sativa* L.): a probabilistic-based analysis. *J Agric Food Chem* 66: 5683-5690.
  18. **Maganti S, Swaminathan R, Parida A.** 2020. Variation in iron and zinc content in traditional rice genotypes. *Agricultural research* 9: 316-328.
  19. **Marval JR, Cámara MF, Pérez RF, Amaro MA, Moreno RR.** 2012. Optimization of selenium determination based on the HG-ET-AAS method for its application to different food matrices. *Food Anal Methods* 5: 1054-1061.
  20. **Neves LC et al.** 2019. Mineral profile exploratory analysis for rice grains traceability. *Food Chemistry* 300: 125-145.
  21. **Palanog AD et al.** 2019. Zinc and iron nutrition status in the philippines population and local soils. *Frontiers Nutr* 6: 81.
  22. **Parada J, Aguilera JM.** 2007. Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *J Food Sci* 72: R21-R32.
  23. **Praveena SM, Omar NA.** 2017. Heavy metal exposure from cooked rice grain ingestion and its potential health risks to humans from total and bioavailable forms analysis. *Food Chemistry* 235: 203-211.
  24. **Pighin AF, Delandeta MC.** 2019. Contenido de minerales en arroces y productos industriales elaborados a base de arroz. *Diaeta (Buenos Aires)* 37: 30-40.
  25. **Pinto E, Almeida A, Ferreira IM.** 2016. Essential and non-essential elements in rice available in the portuguese and spanish markets. *J Food Comp & Analysis* 48: 81-87.
  26. **Qu L, Satoh H, Ogawa M, Wei X.** 2001. Improved electrophoretical analyses for rice seed storage protein. *Acta Genetica Sinica* 28:730-737.
  27. **Rungea J, Heringerc O, Ribeiro J, Biazatia L.** 2019. Multielement rice grains analysis by ICP OES and classification by processing types. *Food Chem* 271: 419-424.
  28. **Shih FF.** 2003. Review: An update on the processing of high protein rice products. *Nahrung Food* 47: 420-424.
  29. **Singh P, Prasad S, Aalbersberg W.** 2016. Bioavailability of Fe and Zn in selected legumes, cereals, meat and milk products consumed in Fiji. *Food Chem* 207: 125-131.
  30. **Slamet IH, Johnson SE, Impa S, Tsakirpaloglou N.** 2015. Enriching rice with Zn and Fe while minimizing Cd risk. *Frontiers Plant Sci* 6: 121.
  31. **Téklic T, Loncaric Z, Kovacevic VR, Singh BR.** 2013. Metallic trace elements in cereal grains: a review how much metal do we eat. *Food & Energy Security* 2: 81-95.
  32. **World Food Programme's Rice Fortification.** 2017. Promoción de la fortificación del arroz en América Latina y el Caribe. *Editorial Sighth & Life, p 4, 10-18.*