

Determinación de arsénico inorgánico en arroz comercializado durante el año 2024 en Santiago de Chile

Determination of inorganic arsenic in rice sold during 2024 in Santiago, Chile

Yanina Corrotea¹, Danahe Allende¹, Bárbara Riveros¹, Marcia Becerra¹, Doris Carbone¹, Katherine Placencia¹, Natalia Valerio¹, Natalia Acuña¹, Muriel Alfaro¹, Lorena Delgado¹, Carlos Choque¹, Luis Honda¹

¹ Departamento Nacional y de Referencia en Salud Ambiental, Instituto de Salud Pública de Chile

Autor para correspondencia: Carlos Choque. cchoque@ispch.cl

RESUMEN

El arsénico (As) es un elemento presente naturalmente en la corteza terrestre y se encuentra en el agua, en el suelo, en el aire y en los alimentos. El arsénico total se compone por el Arsénico Orgánico (AsO) y el Inorgánico (AsIn), el arsénico es considerado tóxico cuando se encuentra en estas formas, y en su forma inorgánica es cancerígeno. El AsIn se encuentra comúnmente en el arroz y otros cereales, pero se acumula más en arroz que en otros alimentos similares, por lo que es importante su regulación. En Chile, el Reglamento Sanitario de los Alimentos (RSA, DS 977/96) establece un límite máximo permitido de 200 µg/kg de AsIn en arroz pulido, no existiendo un límite para arroz integral, ni para arroces destinados a niños, por lo que, es de interés evaluar la concentración de AsIn en arroces disponibles en el comercio establecido. Se llevó a cabo un estudio que analizó 90 muestras de arroz comercializado en Santiago de Chile para determinar la presencia de arsénico inorgánico. De estas muestras, 78 correspondieron a arroz pulido de distintas variedades nacionales e internacionales, y 12 muestras correspondían a arroz integral de origen nacional. Las variedades de arroz pulido incluyeron basmati, convencional, paella, pregraneado, risotto y sushi, siendo el arroz convencional el más frecuente (60%). En cuanto al origen, el 63,3% de las muestras fue de origen nacional, seguido por Paraguay (13,3%) y Argentina (12,2). El resto fueron asiáticas (8,8%) y europeas (2,2%). Respecto a las concentraciones de arsénico inorgánico, la variedad de arroz con mayor mediana fue el arroz pregraneado (71 µg/kg), mientras que la con menor mediana fue el arroz basmati (18 µg/kg). Las diferencias entre variedades fueron estadísticamente significativas, destacando menores niveles de AsIn en el arroz basmati comparado con las variedades pregraneado, convencional e integral. Dentro del arroz pulido, evaluado por país de origen, Paraguay presentó la mayor mediana (68 µg/kg), seguido por Argentina (47 µg/kg) y Chile (41 µg/kg). Las diferencias entre países también fueron significativas, especialmente entre Chile-Paraguay y Paraguay-Pakistán. Todas las muestras cumplieron con los límites establecidos por normativas chilenas (200 µg/kg) e internacionales. Sólo una muestra de origen paraguaya superó el límite de 100 µg/kg, regulado por la Unión Europea y Estados Unidos para arroz infantil, pero no en Chile. Los resultados fueron consistentes con estudios internacionales, evidenciando que el arroz pregraneado tiene la mayor concentración de arsénico inorgánico y el arroz basmati la menor. En conclusión, las muestras de arroz disponibles en el mercado nacional y analizadas en este estudio, cumplieron con la normativa vigente, lo que indica que, desde la perspectiva de arsénico inorgánico, este alimento puede considerarse seguro.

ABSTRACT



Palabras Claves:

Arsénico en arroz; Arsénico inorgánico; Arroz; Inocuidad alimentaria; Exposición a arsénico.

Keywords:

Arsenic in rice; Inorganic arsenic; Rice; Food safety; Arsenic exposure.

Arsenic (As) is a naturally occurring element in the Earth's crust and is found in water, soil, air, and food. Total arsenic is composed of organic arsenic (AsO) and inorganic arsenic (AsIn). Arsenic is considered toxic in these forms, and its inorganic form is carcinogenic. AsIn is commonly found in rice and other cereals, but it accumulates more in rice than in other similar foods, making its regulation important. In Chile, the Reglamento Sanitario de los Alimentos (RSA DS 977/96) establish a maximum permitted limit of 200 µg/kg of AsIn in polished rice. There is no limit for brown rice or for rice intended for infants, so it is important to evaluate the concentration of AsIn in commercially available rice. A study was conducted analyzing 90 samples of commercially available rice in Santiago, Chile, to determine the presence of inorganic arsenic. Of these, 78 samples were polished rice of various national and international varieties, and 12 samples were brown rice of national origin. The polished rice varieties included basmati, conventional, paella, parboiled, risotto, and sushi rice, with conventional rice being the most frequent (60%). Regarding origin, 63.3% of the samples were of national origin, followed by Paraguay (13.3%) and Argentina (12.2%). The remainder were from Asia (8.8%) and Europe (2.2%). With respect to inorganic arsenic concentrations, parboiled rice had the highest median concentration (71 µg/kg), while basmati rice had the lowest (18 µg/kg). The differences between varieties were statistically significant, with basmati rice showing lower levels of inorganic arsenic (AsIn) compared to conventional, parboiled and brown rice varieties. Within polished rice, evaluated by country of origin, Paraguay had the highest median (68 µg/kg), followed by Argentina (47 µg/kg) and Chile (41 µg/kg). Differences between countries were also significant, especially between Chile and Paraguay, and between Paraguay and Pakistan. All samples comply the limits established by Chilean (200 µg/kg) and international regulations. Only one sample of Paraguayan origin exceeded the 100 µg/kg limit, regulated by the European Union and the United States for infant rice, but not in Chile. The results were consistent with international studies, showing that parboiled rice has the highest concentration of inorganic arsenic and basmati rice the lowest. In conclusion, the rice samples available on the national market and analyzed in this study complied with current regulations, indicating that, from the perspective of inorganic arsenic, this food can be considered safe.



Copyright © 2025 Este es un artículo open-access distribuido bajo los términos de la Creative Commons Attribution License (CC BY). El uso, distribución o reproducción en otros foros esta permitido, siempre que el/los Autor/es y el/los dueño/s de los derechos de autor sean acreditados y que la publicación original sea citada, en concordancia con la práctica académica aceptada. No usar, distribuir o reproducir si no se cumplen con estos términos.

Conflictos de interés. Los autores declaran no tener conflicto de interés

Financiamiento. La elaboración de este estudio no contó con fuentes de financiación específicas.



INTRODUCCIÓN

El arroz es el alimento básico de más de la mitad de la población mundial, siendo Asia, parte de África y Sudamérica las principales regiones consumidoras (1). La mayor parte del arroz mundial corresponde a *Oryza sativa*, una especie vegetal que se estima se originó en Asia, perteneciente a la familia de las gramíneas.

La producción nacional abastece cerca del 42% del consumo interno de arroz, mientras que el 58% restante corresponde a importaciones (2). La producción nacional se concentra entre la región de Maule (principalmente la comuna de Linares) y la Región de Ñuble (comuna de San Carlos), y su principal destino es el mercado interno.

Los arroces importados provienen principalmente de Argentina, Uruguay, Paraguay y Pakistán, según lo indicado en el boletín de cereales de ODEPA del año 2021 (2). El consumo per cápita de arroz se sitúa entre los 10 y 11 kilos al año, con una frecuencia de preparación de tres a cuatro veces por semana (19). Este nivel de consumo es comparable al observado en países como Estados Unidos y diversas naciones europeas; por ejemplo, en Estados Unidos el consumo per cápita alcanzó 11,7 kg por persona al año en 2021, según datos de FAOSTAT, mientras que en varios países europeos y Australia el consumo promedio se sitúa por debajo de los 10 kg por persona al año. (3, 4)

En el mercado chileno se encuentran dos tipos de arroz: el arroz pulido convencional de grano largo ancho de origen nacional y de grano largo delgado importado desde Argentina, Paraguay y de países asiáticos como Tailandia o Vietnam (5).

El arsénico (As) es un elemento presente naturalmente en la corteza terrestre y se encuentra en el agua, en el suelo, en el aire y en los alimentos. Su uso en productos de consumo fue prohibido en Estados Unidos y en la Unión Europea, debido a la creciente evidencia de la toxicidad. Desde el 2013, el uso agrícola de compuestos de arsénico fue prohibido gradualmente en países occidentales (6, 14).

Tabla 1. Regulaciones de AsIn en arroz según normativas internacionales y nacional.

| País / Comunidad / Organismo (Año de vigencia) | Arroz pulido | Arroz integral | Arroz para alimentos de infantes |
|--|------------------|------------------|----------------------------------|
| Codex Alimentarius (17) | 200 µg/kg (2014) | 350 µg/kg (2016) | Sin regulación |
| Unión Europea (16) | 150 µg/kg (2015) | 250 µg/kg (2015) | 100 µg/kg (2015)*, ** |
| E.E.U.U. (15) | Sin regulación | Sin regulación | 100 µg/kg (2020)* |
| Chile | 200 µg/kg (1996) | Sin regulación | Sin regulación |

*Menores de 12 meses.** Menores de 3 años.

La toxicidad del As depende de su forma (inorgánica u orgánica), estado de oxidación, solubilidad, estado físico y de las tasas de absorción-eliminación (7). El arsénico total (AsT) se compone de la suma del arsénico inorgánico (AsIn) y el arsénico orgánico (AsO). La exposición humana al arsénico ocurre principalmente a través del consumo de alimentos y agua potable con presencia de As (7, 8). El AsIn se encuentra comúnmente en el arroz, otros cereales, verduras, frutas, carnes, lácteos y algas marinas, el AsIn es 100 veces más tóxico que el AsO (13), el cual se encuentra usualmente en mariscos y es considerado de baja toxicidad (10, 11). Numerosas investigaciones han demostrado que entre el 60 y el 90% del arsénico presente en los granos de arroz se encuentra en su forma inorgánica (3, 10, 11, 12). El AsIn en arroz se encuentra regulado por diferentes países, comunidades u organizaciones internacionales, como, por ejemplo, en Estados Unidos, La Unión Europea y en el Codex Alimentarius, mientras que en Chile se regula a través del Reglamento Sanitario de los Alimentos (RSA) Decreto Supremo 977 del año 1996 (DS 977/96), donde se establece un límite máximo permitido de 200 µg de AsIn por kg de arroz pulido. En la Tabla 1, se muestra la regulación de AsIn e arroz según normativas internacionales y nacional.

El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), en estudios previos, indicó que las concentraciones encontradas de As en arroz de origen chileno, no superan los límites establecidos por la normativa nacional y del Codex Alimentarius (2, 20). Sin embargo, dado que la producción nacional no cubre completamente la demanda, y más del 50 por ciento del arroz consumido en Chile es importado, se hace relevante investigar la presencia de este contaminante en productos provenientes del extranjero.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la presencia y concentración de arsénico inorgánico en muestras de arroz, adquiridas en zonas urbanas de la ciudad de Santiago. Se busca determinar, describir y comparar los niveles de AsIn en estas muestras, en relación con la normativa nacional e internacional, aportando información actualizada sobre la presencia de este contaminante en productos disponibles en el mercado chileno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo.

Se realizó un muestreo por conveniencia, recolectándose 90 muestras independientes de arroz, provenientes de supermercados ubicados en zonas urbanas de Santiago de Chile, disponibles para la venta durante septiembre de 2024. Cada muestra estuvo compuesta por dos unidades de arroz correspondientes

a un mismo lote comercial, en el formato disponible en el mercado. Ambas unidades fueron homogeneizadas para conformar una única unidad muestral destinada al análisis.

Se verificó que todas las muestras presentaran fechas de vencimiento posteriores a la fecha de adquisición. Posteriormente, las muestras fueron almacenadas a temperatura ambiente hasta su análisis, el cual se llevó a cabo en el Instituto de Salud Pública de Chile (ISP).

Método analítico.

Se tomaron 400 g de cada muestra, las cuales fueron homogeneizadas y trituradas. Para el análisis, 1 g de arroz fue sometido a extracción con ácido nítrico 0,1 mol/L y peróxido de hidrógeno al 3% v/v, seguido de una extracción en fase sólida de intercambio aniónico. El extracto obtenido fue pre-reducido con yoduro de potasio en presencia de ácido ascórbico, para luego determinar el arsénico inorgánico (AsIn) mediante Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES) con generación de hidruros, utilizando borohidruro de sodio como agente reductor. El análisis se realizó por duplicado y, para los controles de calidad, se emplearon materiales de referencia certificados y/o muestras fortificadas en matriz.

Los límites de detección (LD) y cuantificación (LC) de la metodología fueron: arroz pulido (LD = 10 µg/kg, LC = 30 µg/kg) y arroz integral (LD = 20 µg/kg, LC = 70 µg/kg). Los resultados superiores al límite de detección (LD) e inferiores al límite de cuantificación (LC) del método se incorporaron al análisis descriptivo y estadístico mediante un valor numérico extrapolado

a partir de la curva de calibración, conforme a las recomendaciones de FAO/WHO (18,19). En el documento, estos resultados se identifican en cursiva y subrayado. Este procedimiento permitió tratar dichos resultados como valores numéricos, evitando su consideración como cero y teniendo en cuenta que el estudio incluyó distintos tipos de arroz con diferentes límites de cuantificación.

Análisis estadístico.

Para realizar el análisis estadístico, como son las pruebas de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk, y test para evaluar diferencias entre grupos: Kruskal-Wallis y prueba t de Student, se utilizó la aplicación Statkingdom.

RESULTADOS

Descripción de las muestras de arroz.

De las 90 muestras, el 86,7% (n=78) correspondió al tipo arroz pulido. La diferencia corresponde a arroz integral (n=12). Dentro de las muestras de arroz pulido, se identificaron las siguientes variedades: basmati, convencional, paella, pregraneado, risotto y sushi, de acuerdo con lo rotulado en el envase.

La Figura 1, representa el número de muestras y su variedad de arroz según su origen. En relación con las variedades de arroz, el 60,0% (n=54) corresponde a arroz convencional, seguido por el arroz pregraneado e integral, que representan el 13,3% (n=12) cada una. Las otras variedades corresponden a basmati, paella, risotto y sushi, sumando el 13,4% restante. Por otra

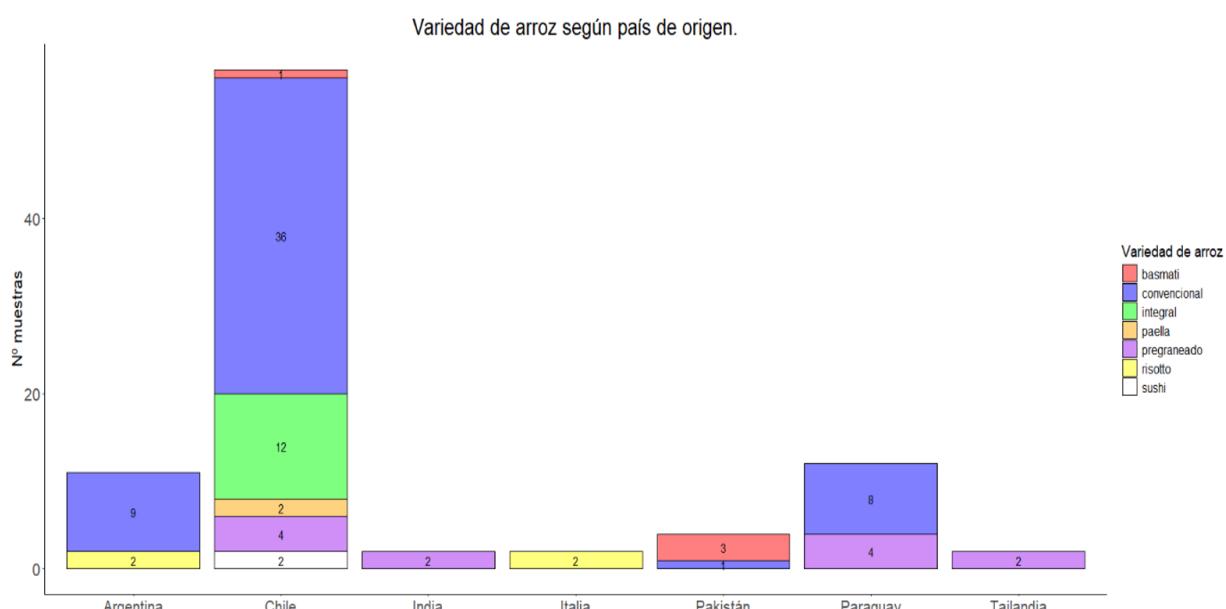


Figura 1. Distribución de las muestras de arroz según su variedad y país de origen.

parte, se observa que las muestras adquiridas de arroz son principalmente de origen nacional (63,3%, n=57), y de los arroces importados, destacan los de origen paraguayo con un 13,3% (n=12) y luego argentino con un 12,2% (n=11), y en menores cantidades muestras de Pakistán, Italia, India y Tailandia, 2 de cada país. Cabe destacar que el 88,8% (n=80) de las muestras, corresponden a muestras de origen sudamericano, el 8,8% (n=8) a origen asiático y un 2,2% (n=2) corresponde a europeo. En el caso de las muestras de arroz de origen chileno (n=57), la variedad predominante fue el arroz convencional, con 36 muestras, lo que representa 40% del total. En segundo lugar, se encontró el arroz integral, con 12 muestras y el arroz pregraneado con 4 muestras. Las variedades especiales estuvieron presentes en menor proporción: paella y sushi con 2 muestras cada una, y basmati con 1 muestra. No se registraron muestras de arroz risotto de origen chileno. Esta distribución refleja que el mercado nacional se concentra principalmente en arroz convencional, seguido por integral, mientras que las variedades diferenciadas son poco frecuentes.

Concentración de arsénico inorgánico en función a la variedad de arroz.

En la Figura 2, se muestran las concentraciones de arsénico inorgánico (n=90), según las variedades de arroz, donde se incluye el arroz integral. Las variedades con mayor concentración de AsIn corresponden a arroz pregraneado, con una mediana de 71 µg/kg, arroz integral con mediana de 54 µg/kg, arroz para risotto con mediana de 49 µg/kg y el arroz convencional con mediana de 47 µg/kg, mientras que, las variedades con

menores concentraciones de AsIn fueron los arroces basmati y sushi, con medianas de 18 y 32 µg/kg, respectivamente.

Se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$) para evaluar diferencias significativas en la concentración de arsénico inorgánico (AsIn) entre variedades de arroz, considerando que los datos no necesariamente seguían una distribución normal. Los resultados indicaron que la diferencia entre las medias de algunos grupos es lo suficientemente grande como para ser estadísticamente significativa ($p < 0,001$). Al realizar comparaciones múltiples entre las variedades (α corregido = 0,002381) se observa que la concentración de AsIn en arroz Basmati fue significativamente menor que en las variedades pregraneado ($p = 1,367e-7$), convencional ($p = 0,00024$) e integral ($p = 0,00015$). Asimismo, se encontró que existen diferencias significativas entre la variedad pregraneado y convencional ($p = 0,00096$) y entre pregraneado y sushi ($p = 0,00182$).

Concentración de arsénico inorgánico en función del origen de las muestras.

En la Figura 3, se representan las concentraciones de arsénico inorgánico distribuidas en cuartiles para la totalidad de las muestras (90) según país de origen, mediante un gráfico de cajas y bigotes. Las medianas fueron de 68 µg/kg para Paraguay, 47 µg/kg para Argentina, 41 µg/kg para Chile y 18 µg/kg para las muestras originarias de Pakistán. Para el caso de India, Italia y Tailandia, se obtuvieron medianas de 47, 49 y 52 µg/kg, respectivamente.

Se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (α

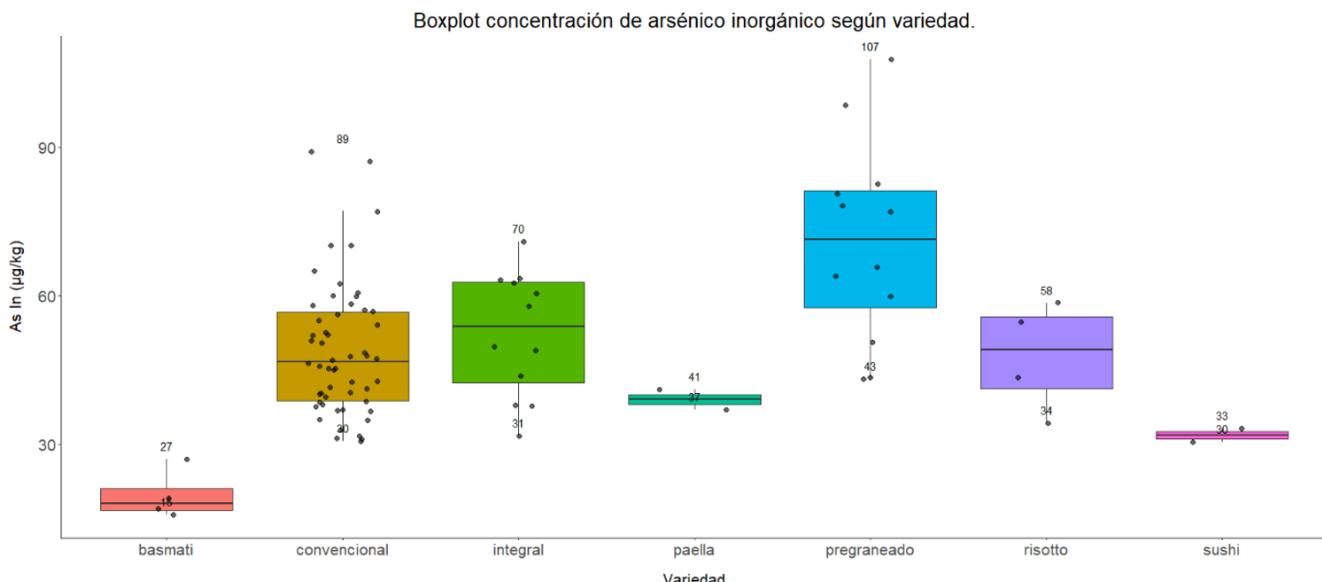


Figura 2. Concentración de arsénico inorgánico según variedad de arroz.

= 0,05) para evaluar diferencias en la concentración de arsénico inorgánico entre los distintos orígenes (países) de arroz. Se considera que las medias de algunos grupos no son iguales ($p = 0,002147$). En otras palabras, la diferencia entre las medias de algunos grupos es lo suficientemente grande como para ser estadísticamente significativa. El procedimiento de comparaciones múltiples posterior evidenció que existen diferencias significativas entre Chile y Paraguay ($p = 0,00065$) siendo las concentraciones mayores en Paraguay y también diferencias significativas entre Paraguay y Pakistán ($p = 0,002158$).

En base a los análisis del contenido de AsIn por variedad, donde los arroces integrales y pregraneados

presentaron las medianas más altas, se realizó un segundo comparativo en función del origen de las muestras, pero excluyendo el arroz integral, ya que todas las muestras de arroz integral contempladas en este estudio fueron de origen chileno. Así, quitando el arroz integral y comparando la concentración de AsIn según país de origen, se mantienen las diferencias significativas entre Chile y Paraguay ($p = 0,00020$) y entre Paraguay y Pakistán ($p = 0,00351$), es decir, la influencia del arroz integral en los datos no modifica mayormente las relaciones descritas por país.

En la Figura 4, se muestran las concentraciones de arsénico inorgánico según la región (continente) de

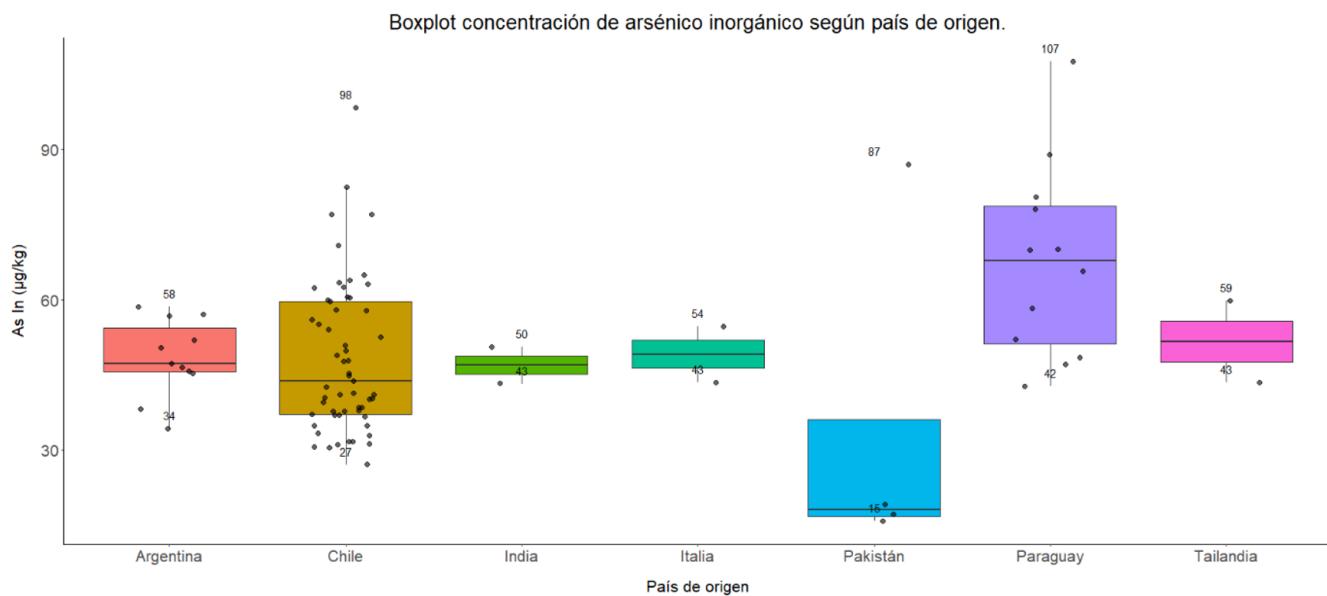


Figura 3. Concentración de arsénico inorgánico en arroz según país de origen.

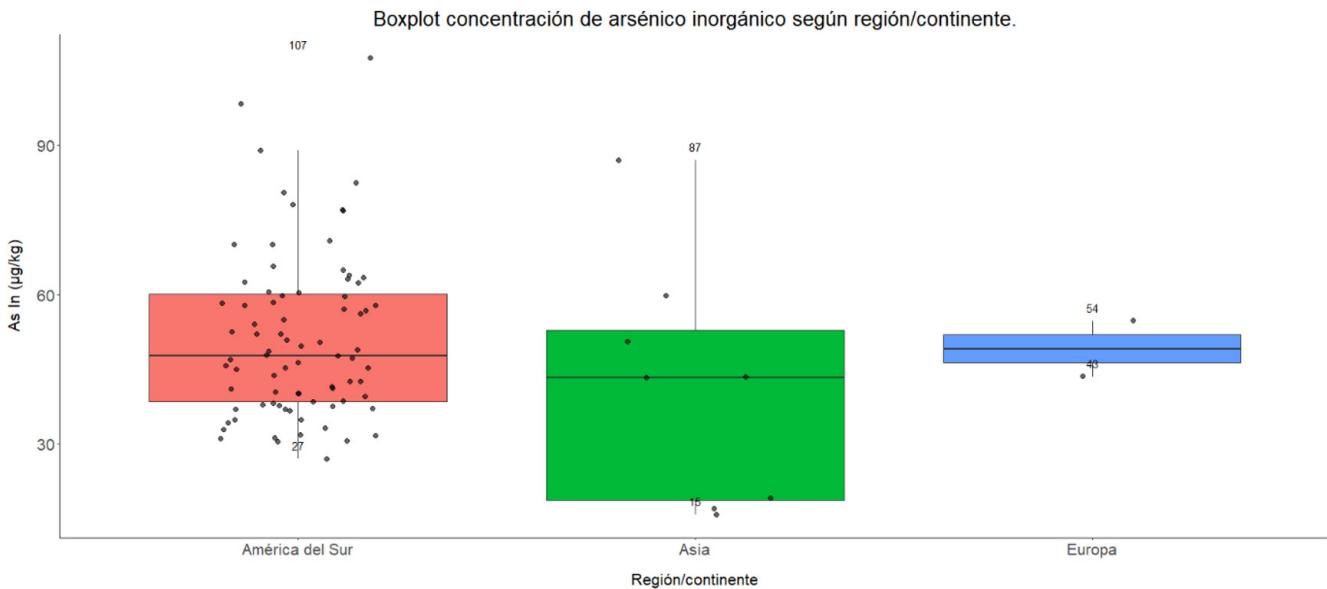


Figura 4. Concentración de arsénico inorgánico en arroz según continente/región de origen.



origen del arroz. Se puede observar que las medianas en todas las regiones no superan los 50 µg/kg, sin embargo, las tendencias muestran que en los arroces analizados de América del Sur presentan valores más altos de AsIn que los de las muestras analizadas de Europa y Asia.

Se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$) para evaluar diferencias en la concentración de arsénico inorgánico entre las distintas regiones de origen del arroz (América del Sur, Asia y Europa). Los resultados mostraron que existe diferencia significativa en las medianas entre América del Sur y las demás regiones ($p = 0,021$). Sin embargo, este resultado se explica principalmente por los valores elevados correspondientes a las muestras de Paraguay, ya que al repetir el análisis excluyendo dicho país, la diferencia entre regiones dejó de ser significativa ($p = 0,08106$). Cabe destacar que, en el caso de Asia y Europa, el número reducido de muestras limita la posibilidad de extrapolar estos resultados y afirmar que representan de manera general los niveles de arsénico inorgánico en arroces de esas procedencias.

DISCUSIÓN.

Las concentraciones de arsénico inorgánico en las 90 muestras analizadas se encontraron por debajo de los límites establecidos por la normativa chilena y por el Codex Alimentarius. Solo una muestra, correspondiente a arroz pregraneado proveniente de Paraguay con un valor de 108 µg/kg, superó el límite de 100 µg/kg establecido por la Unión Europea y Estados Unidos para arroz destinado a consumo infantil, regulación que no existe en Chile.

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con los del estudio realizado en arroces de Eslovenia en 2021 (23), ya que el arroz pregraneado presentó las concentraciones más altas de AsIn, tal como en Eslovenia con un valor medio de 125 ± 36 µg/kg, y la variedad basmati registró los niveles más bajos, similar tendencia a los reportados en Eslovenia con valor medio de $51,1 \pm 15,9$ µg/kg, mientras que el arroz convencional se ubica en un rango intermedio de AsIn. En ambos estudios, el promedio general de AsIn se mantiene por debajo del límite de 100 µg/kg fijado por la normativa internacional para arroz destinado a la alimentación infantil.

En el presente estudio, el promedio de las concentraciones de arsénico inorgánico en las muestras evaluadas de arroz pulido fue de 50 ± 18 µg/kg ($n=78$), si solo se considera las muestras de arroz pulido de origen nacional ($n=45$) la concentración promedio de AsIn alcanza 46 ± 16 µg/kg valor consistente con estudios previos realizados en Chile. En el estudio publicado por el Instituto de Investigaciones

Agropecuarias (INIA) en 2021 (2) reportó un promedio de 47 µg/kg de AsIn en 201 muestras de arroz de origen nacional, correspondientes a las cosechas 2015-2016 y 2016-2017, provenientes de las regiones del Maule (comunas de Linares, Longaví, Parral y Retiro) y Ñuble (comunas de San Carlos y Ñiquén). Asimismo, otro estudio realizado en Chile en 2022 (20), que evaluó 72 muestras de arroz pulido de origen nacional de la cosecha de 2021, reportó una concentración promedio de 74 ± 27 µg/kg de arsénico inorgánico. En todos los casos, el valor promedio de las concentraciones de arsénico inorgánico se encuentra por debajo del límite máximo permitido en Chile (200 µg/kg), así como de normativas internacionales más exigentes, tales como la normativa europea para arroz pulido (150 µg/kg) y para arroz destinado a alimentos infantiles (100 µg/kg).

Por otro lado, en el año 2020 se realizó un estudio global, donde se evaluaron 1.180 muestras de arroz pulido provenientes de 29 zonas de muestreo distintas, en los 5 continentes (24). Dicho estudio determinó que las concentraciones de AsIn presentaron una mediana global de 66 µg/kg con un rango que varió entre 2 µg/kg y un máximo de 399 µg/kg. Las regiones con los niveles más bajos incluyeron a África Oriental con Malawi y Tanzania con mediana de 5 y 9 µg/kg, respectivamente, y algunas áreas del hemisferio sur tropical, como Bali (13 µg/kg) y Java (35 µg/kg). En contraste, el arroz de América del Sur mostró medianas que fluctuaron entre 60 y 107 µg/kg, concentraciones más altas de AsIn que todas las otras regiones, reflejando diferencias geográficas y de manejo agrícola. En América del Sur los países considerados fueron: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay, siendo Chile el de menor mediana y Paraguay la más alta.

En la Tabla 1, se presenta una comparación entre los resultados obtenidos en el estudio global internacional y los del presente estudio, utilizando como criterio de análisis el origen de las muestras, correspondientes a Argentina, Chile, Paraguay e Italia. El estudio global realizado por Carey M. y col., publicó la mediana y el rango de concentraciones de AsIn por país. Se realizó una estimación de la media y la desviación estándar de la concentración de AsIn de los datos expuestos para poder comparar estos valores con los resultados obtenidos en nuestro estudio.

Para realizar una comparación adecuada, se evaluó la normalidad de los datos obtenidos del presente estudio por país, utilizando la prueba de Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$). Los resultados mostraron que las muestras de Argentina y Paraguay presentaron una distribución normal, mientras que los datos correspondientes a Chile no cumplen con esta distribución. En el caso del estudio global, dado que no se cuenta con

Tabla 2: Cuadro comparativo entre estudios; País de origen y número de muestras (n) de arroz, mediana, valores mínimos (Mín.) y máximos (Máx.) y desviación estándar (DS) de AsIn, determinada en el presente estudio y en el estudio global internacional.

| País | Presente estudio | | | | | | | Estudio global internacional (referencia) | | | | | | |
|-----------|------------------|---------|------|------|-------|----|-----------------------------|---|-----|---------|------|------|-----------|-----|
| | n | Mediana | Mín. | Máx. | Media | DS | Test Shapiro-Wilk (valor p) | D i s - tribución normal | n | Mediana | Mín. | Máx. | M e - dia | DS |
| Argentina | 11 | 47 | 34 | 59 | 48 | 8 | 0,668 | Si | 11 | 61 | 38 | 94 | 64* | 14* |
| Chile | 45** | 41 | 27 | 98 | 46 | 16 | 0,009 | No | 11 | 60 | 48 | 68 | 59* | 5* |
| Paraguay | 12 | 68 | 43 | 108 | 68 | 19 | 0,098 | Si | 27 | 107 | 48 | 155 | 104* | 27* |
| Italia | 2 | 49 | 44 | 55 | 49 | 8 | - | - | 106 | 92 | 2 | 244 | 108* | 61* |

* Media y desviación estándar estimada. Media estimada = Mediana + (rango/4), así mismo, desviación estándar estimada = (rango)/4.
Todos los valores de concentraciones de AsIn expresados en µg/kg. ** Se consideraron solo las muestras de arroz pulido para la comparación

datos individuales, se asumió que las muestras son independientes y siguen una distribución normal. Se aplicó la prueba t de Student ($\alpha=0,05$) para comparar los resultados de Argentina y Paraguay entre el estudio global y este estudio. Para Argentina, la media estimada en el estudio global resultó estadísticamente diferente de la reportada en el presente estudio ($p = 0,0037$). En ambos casos, las concentraciones promedio de arsénico inorgánico se encontraron por debajo del límite normativo. En Paraguay también se detectó una diferencia significativa entre las medias ($p < 0,0001$): la concentración promedio estimada en el estudio global fue significativamente mayor que la obtenida en este estudio y superó el límite de 100 µg/kg establecido por la Unión Europea y Estados Unidos para arroz destinado a consumo infantil, a diferencia de lo observado en el estudio nacional.

En el caso de Chile, no fue posible aplicar una prueba estadística formal debido a la falta de normalidad y a la ausencia de datos individuales en el estudio global. No obstante, El presente estudio muestra un intervalo de valores más amplio [27, 98 µg/kg] que el estudio global [48, 68 µg/kg], aunque sin superar los límites nacionales e internacionales. Esta mayor amplitud podría explicarse por el mayor tamaño muestral en el presente estudio ($n=45$) frente al estudio global ($n=11$), lo que incrementó la dispersión de los datos.

De manera similar, para Italia, el pequeño tamaño muestral del presente estudio ($n=2$) impidió realizar una comparación estadísticamente válida. Sin embargo, los valores obtenidos se situaron dentro del intervalo reportado por el estudio global.

Finalmente, se observó que las concentraciones

de AsIn en las muestras de arroz disponibles en el mercado nacional cumplieron con la normativa vigente, lo que indica que, desde la perspectiva del arsénico inorgánico, este alimento puede considerarse seguro. Este resultado es coherente con los hallazgos reportados en los distintos estudios revisados en este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

1. USDA. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Economic Research Service. Rice - Rice Sector at a Glance (2025)
2. Paredes, M., Bécerra, V., Donoso, G. (eds.). 100 años del cultivo de arroz en Chile en un contexto internacional. 1920-2020. Tomo II. Libro INIA N° 40. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillán. Chile.; 2021.
3. Zhuyun Gu, Shamali de Silva and Suzie M. Reichman. Arsenic Concentrations and Dietary Exposure in Rice-Based Infant Food in Australia. International Journal Environmental Reserach and Public Health. 2020;17(415).
4. FAOSTAT, Helgi Calculation. Rice Consumption Per Capita in USA. <https://www.helgilibrary.com/indicators/rice-consumption-per-capita/usa/>
5. FIA. Fundacion para la innovacion agraria. Ministerio de Agricultura de Chile. Agenda de innovacion agraria para la cadena del arroz en Chile. 2017.
6. Prasanna Kumarathilaka, Saman Seneweera, Yong Sik Ok, Andrew Meharg, Jochen Bundschuh. Arsenic in cooked rice foods: Assessing health risks and mitigation options. Environment International. 2019;127.
7. Valeria M. Nurchi, Aleksandra Buha Djordjevic, Guido Crisponi, Jan Alexander, Geir Bjørklund and Jan Aaseth. Arsenic Toxicity: Molecular Targets and Therapeutic Agents. Biomolecules. 2020;



8. ATSDR. Resúmenes de Salud Pública - Arsénico. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_ph52.html
9. OMS. Arsénico. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
10. Chung JY, Yu SD, Hong YS. Environmental Source of Arsenic Exposure. *J Prev Med Pub Health.* 11 de septiembre de 2014;47(5):253-7.
11. Christin Hackethal, Johannes F. Kopp, Irmela Sarvan, Tanja Schwerdtle, Oliver Lindtner. Total arsenic and water-soluble arsenic species in foods of the first German total diet study. *Food Chemistry.* 2021;346.
12. Brian Jackson and Tracy Punshon. Recent Advances in the Measurement of Arsenic, Cadmium, and Mercury in Rice and Other Foods. *Curr Environ Health Rep.* 2015;
13. Rajkowska-Myśliwiec, M.; Ciemniak, A.; Karp, G. Arsenic in Rice and Rice-Based Products with RegardProducts with Regard to Consumer Health. *Food.* 2024, 13, 3153.
14. Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 100C (2012)
15. U.S. Department of Health and Human Services Food and Drug Administration Center for Food Safety and Applied Nutrition. Inorganic Arsenic in Rice Cereals for Infants: Action Level Guidance for Industry. Food and Drug Administration (FDA); 2020.
16. REGLAMENTO (UE) 2015/1006 DE LA COMISIÓN. Diario Oficial de la Unión Europea. COMISIÓN EUROPEA. 26 de junio de 2015;
17. Codex Committee on Contaminants in Foods (CCCF). JOINT FAO/WHO FOOD STANDARDS PROGRAMME CODEX COMMITTEE ON CONTAMINANTS IN FOODS 17th Session 15-19 April 2024 (Panama City). Codex Alimentarius Commission; 2024.
18. Álvaro Espinoza Hernández. Valoración de productos de arroz de variedad desarrollada en Chile y su efecto en las ganancias del retail y empresas productoras. [Santiago de Chile]: Universidad de Chile. Facultad de ciencias físicas y matemáticas; 2018.
19. Álvaro Espinoza Hernández. La cadena del arroz en Chile. ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias) Ministerio de Agricultura; 2017.
20. Ramírez, Eimmy, Bastías, Karen, Becerra V., Viviana, Donoso, Gabriel, Paredes C., Mario, Yañez, Jorge. Evaluation of the levels of arsenic in chilean rice according to the agronomic management [en línea]. Chillán, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias Poster INIA Quilamapu N° 41. 2022;
21. World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Consultations and workshops : dietary exposure assessment of chemicals in food : report of a joint FAO/WHO consultation, Annapolis, Maryland, USA, 2-6 May 2005. 2008;80.
22. WHO European Programme for Monitoring and Assessment of Dietary Exposure to Potentially Hazardous Substances (GEMS/Food - EURO). 1995;
23. Šlejkovec Z, Gorše L, Grobler A, Jagodic M, Farnoga I. Arsenic speciation and elemental composition of rice samples from the Slovenian market. *Food Chem.* abril de 2021;342:128348.
24. Manus Carey et al. Global Sourcing of Low Inorganic Arsenic Rice Grain. *Exposure and Health.* 2020;12:711-9.