

Metodología para el análisis de riesgo por exposición a arsénico, cadmio y plomo por consumo de arroz en Colombia

Sergio David Mosquera González, Johana Husserl Orjuela
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes

Resumen

El arroz, tercer cereal en producción y consumo a nivel mundial después del maíz y el trigo, es un alimento de alto valor nutricional y energético. En el país cerca del 73% de la población lo consume. Este cereal ha suscitado el interés de la comunidad científica debido a la posible presencia de metales pesados por factores antropogénicos y naturales. La exposición a estos, por tiempo prolongado puede causar cáncer de pulmón, estómago, riñón y afectaciones sobre la piel. En este estudio, se evaluó el riesgo por exposición de As, Cd y Pb por consumo de arroz empleando una metodología de análisis de riesgo por medio de una prueba piloto con 44 muestras de arroz blanco comercializado en Colombia. Los metales pesados se cuantificaron mediante espectroscopia de emisión óptica por plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES); posteriormente se usaron simulaciones de Monte Carlo para estimar el riesgo no cancerígeno (*MOE*) y la probabilidad de riesgo cancerígeno (*RC*) en diferentes grupos etarios de la población colombiana. Como resultados de esta metodología se observó que el mayor riesgo no cancerígeno estimado para As, Cd y Pb fue para los grupos etarios entre 2-13 años, ya que se obtuvo un *MOE* inferior a 100 y la mayor probabilidad de riesgo cancerígeno estimado fue para el grupo etario entre 19-50 años en comparación con los otros para una exposición a As y Pb, superando el valor recomendado (1×10^{-6}). Por lo tanto, se resalta que la ingesta de arroz con As, Cd y Pb puede conducir a riesgos para la salud en los diferentes grupos etarios en mujeres y hombres en Colombia. En el caso de Pb, sería necesario tener valores de referencia más actuales para comprender mejor los riesgos, especialmente para los niños. Esta metodología y las simulaciones propuestas podrían aplicarse en estudios actuales y/o retrospectivos. Se recomienda que se implemente un plan de control y vigilancia del sector agroindustrial y comercial del arroz y se propone un cambio en la concentración máxima permitida de estos metales pesados en arroz blanco para reducir el riesgo.

Palabras clave: *Arsénico, cadmio, plomo, arroz blanco, análisis de riesgo, MOE, riesgo cancerígeno*

Abstract

In Colombia, 73% of the population consumes rice. The presence of heavy metals in rice due to anthropogenic and natural factors has become an object of study. Prolonged exposures to these pollutants may cause lung, stomach and kidney cancers, as well as skin problems. The aim of this study was to evaluate the risk of exposure to arsenic, cadmium, and lead through the consumption of rice. It was estimated risk by analyzing 44 samples of commercial rice sold in Colombia. Arsenic, cadmium, and lead were quantified by ICP-OES and then Monte Carlo simulations were used to determine non-cancer and cancer risk for different age groups. The results showed that the highest non-cancer risk from exposure to arsenic, cadmium, and lead is for age groups between 2-13 years with *MOE* values below to 100; meanwhile cancer risk was highest for the age group between 19-50 years for exposure to arsenic and lead and the calculated risk was considerably higher than the recommended value of 1×10^{-6} . Results obtained in this study suggest that the intake of white rice with heavy metals could represent a risk to the health of the Colombian population. In the case of Pb, having reference most current values would be needed to better understand the risks, especially for children. The proposed simulations could be applied for current or previous studies. A control and surveillance plan should be implemented for white rice producers and it is recommended that the concentration of heavy metals allowed in rice in Colombia is revised.

Keywords: *Arsenic, cadmium, lead, white rice, risk analysis, MOEs, cancer risk*

1. Introducción

La seguridad alimentaria hace parte de los objetivos de desarrollo sostenible [1]; sin embargo, los inconvenientes asociados con deficiencias en el cumplimiento de la inocuidad alimentaria es uno de los problemas de salud pública más importante en todo el mundo [2]. Entre los problemas considerados para este objetivo, está la presencia de elementos potencialmente tóxicos, entre ellos los metales pesados, que se acumulan en los alimentos como arroz y verduras [3], [4]. La minería, procesos industriales, pesticidas, fertilizantes químicos e irrigación de cultivos con agua contaminada, son las principales fuentes de contaminación de metales pesados en los alimentos [3].

El arroz (*Oryza sativa* L.) está entre los cereales de alto consumo a nivel mundial y es utilizado por la población como alimento energético [5]. En Colombia, el arroz está entre los alimentos más ingeridos junto con la papa, plátano, avena, maíz y leche. Se estima un consumo de arroz de 189.4 g promedio persona⁻¹ día⁻¹, y cerca del 73.8% de la población colombiana consume diariamente este cereal [6]. El ciclo de cultivo tiene una duración entre 3 a 4 meses dependiendo de condiciones climáticas, suelo y presencia de agua. Durante este ciclo la planta en sus diferentes etapas de crecimiento está expuesta a la acumulación de metales pesados, provenientes de fuentes antropogénicas o naturales. En Colombia, los departamentos del Tolima (27%), Meta (17%) y Casanare (15%) tienen mayores áreas de siembra, y en ellos se reporta que sus suelos tienen presencia de As, Cd, Cr, Hg y Pb [7], [8]. Los cultivos sembrados en suelos contaminados absorben metales pesados generando riesgos para la salud de los ecosistemas y la seguridad alimentaria [9].

La exposición prolongada a altas concentraciones de arsénico (durante más de diez años) puede producir una enfermedad llamada arsenicosis, cuyos síntomas frecuentes se relacionan con la piel, aunque en casos más graves puede derivar en diversos tipos de cáncer (como el de piel, pulmón y riñón), la exposición a cadmio puede producir efectos adversos a la salud humana, incluyendo daños en los riñones y posibles efectos en huesos y fracturas; estos dos metales pesados son catalogados en el grupo 1 según la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC), indicando carcinogenicidad en humanos [10], [11]. El plomo está en el grupo 2A, es decir, probablemente cancerígeno para humanos; la exposición prolongada a plomo puede causar deterioro sobre la memoria, reducción en tiempos de reacción y habilidades para entender, siendo los niños los mayormente afectados en su comportamiento, la facilidad de aprendizaje y habilidad de concentración.

La posibilidad que el arroz pueda estar contaminado por metales pesados ha llamado el interés de la comunidad científica [4], [12]–[16]; en diversas investigaciones se reportan casos en donde se han alcanzado y hasta superado las dosis de referencia para exposición crónica oral (*RfD*) recomendados por

la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) y El Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA)[17]. Estas dosis de referencia tienen rango para arsénico de 0.3-8.0 $\mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$, para cadmio de 0.36-1.0 $\mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y plomo de 0.5-3.6 $\mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Con esta evidencia, en el país se han realizado investigaciones sobre las concentraciones de estos metales pesados en suelos agrícolas y su efecto en los alimentos [7], [8].

Otra investigación realizada en el año 2013 fue un perfil de riesgo de arsénico en arroz en Colombia en el cual se cuantificó este metal pesado en muestras provenientes de las zonas del triángulo del Tolima y la región de Meta – Orinoquía, no obstante, no fue posible el desarrollo de una evaluación de riesgo porque los datos no obedecían a un muestreo estadísticamente significativo por lo tanto se sugirió continuar con el levantamiento de datos [5].

Se han propuesto algunos métodos para estimar los riesgos potenciales para la salud causados por los contaminantes, clasificando sus efectos en cancerígenos y no cancerígenos. Con el fin de valorar los riesgos para la salud humana, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) indica las directrices de la metodología de análisis de riesgo para establecer la dosis promedio diaria de los contaminantes que se evalúan, y sugiere seguir cuatro etapas: a) la identificación del peligro, b) estudios de dosis-respuesta, c) la evaluación de la exposición y d) la caracterización del riesgo [18].

El objetivo de esta investigación fue hacer un piloto para el análisis cuantitativo de riesgo por el consumo de arroz blanco con presencia de arsénico, cadmio y plomo. Se realizó un muestreo de 44 muestras de arroz blanco de las diferentes marcas de mayor consumo y registradas por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) con venta actual país. El muestreo se realizó en la ciudad de Bogotá. Las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo en muestras de arroz se determinaron por digestión ácida asistida por microondas y análisis por ICP-OES por generador de hidruros y forma directa. La información secundaria sobre el consumo de arroz, peso corporal de la población y el porcentaje de individuos que consumen este cereal, así como la información sobre las directrices para valorar el riesgo para la salud humana de la exposición a elementos tóxicos se obtuvo de la literatura y encuestas realizadas a diferentes grupos etarios de la población colombiana [6]. Esta información se usó para construir una metodología para el análisis de riesgo usando simulaciones de Monte Carlo (sistema que utiliza números aleatorios para medir los efectos de la incertidumbre en un modelo de hoja de cálculo que se aproxima a una situación real [19]) para el consumo de arroz blanco con presencia de arsénico, cadmio y plomo en los diferentes grupos etarios de la población. Según el conocimiento de los autores, esta es la primera vez que se usan las simulaciones de Monte Carlo para establecer los riesgos no cancerígenos y cancerígenos asociados al consumo de arroz blanco con presencia de arsénico, cadmio y plomo en el país.

2. Materiales y métodos

2.1. Muestreo de arroz blanco

Con base en un estudio del sector Retail de la cantidad de almacenes de cadena en el país, se seleccionaron ocho (S1 a S8) almacenes de cadena en los cuales se vende arroz blanco [20]. Estos almacenes representan el mayor porcentaje de presencia en el país hasta el año 2017 y todos ubicados en la ciudad de Bogotá D.C. Y según el estudio de Análisis cuantitativo de la competencia en el mercado colombiano de arroz blanco [21] se seleccionaron nueve (OA1 a OA9) Organizaciones del sector Agroindustrial del arroz a nivel nacional, las cuales se encuentran registradas en la SIC [22], y siendo estas las de mayor porcentaje de ventas de la industria molinera de arroz en el año 2015. También se consideraron veinte (M1 a M20) marcas de arroz, las cuales conforman las diferentes Organizaciones. El número de muestras de arroz blanco que se obtuvieron en estos almacenes fue seleccionado por muestreo de conglomerados. Las muestras se agruparon por porcentaje de venta de la organización agroindustrial y los porcentajes de presencia de los almacenes de cadena en el país (ver Tabla S1). Se seleccionaron al azar las muestras de arroz blanco de los estantes de los almacenes de cadena. Para el análisis se obtuvieron 44 bolsas de arroz blanco, de 500 g y 1000 g de arroz de acuerdo con la cantidad disponible en el supermercado en el momento de la compra. El número de muestras seleccionadas se determinó en función de las proporciones de grandes poblaciones, con un nivel de significancia del 95% (ver información Tabla S1). Las bolsas de arroz se abrieron cuidadosamente para tomar una submuestra de 10 g, esta cantidad se maceró (el arroz no se lavó antes de proceder a la maceración) y se homogenizó. Todas las muestras se almacenaron en contenedores farmacéuticos PET Natural de 25 mL libre de metales pesados (esterilizados con 5% v/v HNO₃) y se etiquetaron de orden ascendente de 1 a 44. El muestreo se realizó durante los meses de agosto y septiembre del 2019.

2.2. Cuantificación de arsénico, cadmio y plomo en arroz

El método analítico utilizado se basó en los métodos EPA-3051A [23], NMKL 186 [24] y el sistema para digestión en microondas MARSTM 6 [25] para el análisis de arsénico, cadmio y plomo en arroz. Se realizó la estandarización del método analítico por medio de la aplicación del diseño experimental Taguchi ortogonal L8 de siete factores, cada uno con dos niveles (-1, +1) (ver Tabla S2). Las 44 muestras de arroz fueron analizadas en el Laboratorio Integrado de Ingeniería Ambiental de la Universidad de los Andes. La digestión de las muestras de arroz se realizó en un Sistema de Reacción Acelerado de Microondas, Modelo MARSTM 6 (CEM Corporation). De acuerdo con los resultados arrojados por el diseño experimental, se seleccionaron las mejores condiciones en la estandarización del método.

Para la cuantificación de los metales pesados se preparó la muestra de la siguiente manera: Se pesaron $0.5 \text{ g} \pm 0.1 \text{ mg}$ de arroz macerado y homogenizado en un tubo de digestión de teflón PFA, posteriormente se adicionó la mezcla de digestión conformada por una relación de volúmenes HNO_3 (65% v/p): HCl (35% v/p): H_2O_2 (30% v/v) (5:3:2) y se pre-digestó durante 60 minutos, luego se llevó al microondas con una rampa de 5:30 min a 210°C por 15 min utilizando una potencia 1650 W y después de alcanzar temperatura ambiente se filtraron las muestras para llevar a un volumen de aforo de 25 mL con una solución al 5% HNO_3 . Consecutivamente se realizó la medición en ICP espectrómetro iCAP 6000 DUO (Thermo Electron Corporation Scientific) integrado con accesorio de generación de hidruros (Thermo Fisher Scientific) usando la línea de cuantificación y dos líneas de interferencia espectrales respecto a cada metal (ver tabla S3). La validación del método analítico se realizó dentro de los parámetros de calidad analítica establecidos por Eurachem [26], se determinó el rango lineal de análisis (r) a través de tres curvas de calibración, preparadas a partir de los estándares de referencia para AAS y ICP (Merck). La cuantificación se realizó por el método de calibración externa, se establecieron los respectivos blancos de curva y de digestión de muestras. La precisión intermedia de la metodología se verificó al calcular el coeficiente de variación (%CV) de los porcentajes de recuperación promedio en diferentes días en muestras fortificadas y la repetibilidad se verificó al calcular el coeficiente de variación (%CV) de los porcentajes de recuperación promedio en mismo día para la misma muestra fortificada. La veracidad se evaluó con los porcentajes de recuperación promedio (digestión por triplicado) y el %CV entre las concentraciones obtenidas bajo tres niveles de fortificación ($\text{N1} = 0.125 \text{ mg kg}^{-1}$, $\text{N2} = 0.500 \text{ mg kg}^{-1}$ y $\text{N3} = 1.25 \text{ mg kg}^{-1}$). La sensibilidad se determinó con las pendientes de las curvas de calibración, se determinó los límites de detección (LDM) y cuantificación (LCM) del método para cada metal pesado. Las concentraciones cuantificadas de arsénico, cadmio y plomo en el arroz blanco fueron expresadas en $\mu\text{g Kg}^{-1}$ peso fresco, las cuales se compararon con los valores definidos por Codex Alimentarius: International Food Standards para arsénico ($200 \mu\text{g kg}^{-1}$) y plomo ($200 \mu\text{g kg}^{-1}$) para cereales como arroz [27], y con el valor establecido por el Ministerio de Salud y protección Social en la resolución 4506 de 2013 para cadmio ($200 \mu\text{g kg}^{-1}$) [28].

2.3. Simulaciones Monte Carlo para estimar las dosis promedio diario

2.3.1. Evaluación de exposición

La exposición por ingestión debido al consumo de arroz blanco con la presencia de arsénico, cadmio y plomo se estimó usando la tasa de ingestión diaria de arroz en g día^{-1} y el peso corporal del individuo en Kg (Tabla 1; Tabla S4) utilizando datos reales de la población colombiana publicados en el año 2005 [6].

Tabla 1. Peso corporal (Kg) y tasa de ingestión de arroz (g día⁻¹) para diferentes grupos etarios género femenino

Grupo Etario	Individuos que consumen			Tasa ingestión individuo, g día ⁻¹			Peso corporal, Kg		
	Años	%	IC 95%	promedio	IC 95%	promedio	IC 95%	promedio	IC 95%
General	73.8	73.0	74.7	189.4	188.7	190.1	61.2	61.0	61.4
2-3	74.9	71.5	78.4	86.2	81.4	90.4	10.2*	5.6	14.8
4-8	77.0	75.0	79.0	134.9	132.2	137.6	19.5*	11.6	27.6
9-13	76.7	74.7	78.6	196.4	192.2	200.6	36.5*	25.1	50.7
14-18	75.6	73.5	77.8	238.7	233.1	244.4	51.8*	43.5	61.3
19-50	72.8	70.9	74.6	204.2	201.0	207.4	60.7*	53.9	67.8
51-64	69.8	65.1	74.6	163.8	147.8	179.8	64.1*	59.6	68.5

*Valores calculados de la ponderación de la Encuesta realizada a diferentes grupos etarios. Valores para hombres se encuentran en Tabla S4

Para la determinación cuantitativa del riesgo no cancerígeno y cancerígeno, los cálculos se determinaron con base en las directrices de la EPA [18], para lo cual, se calcularon los valores de dosis diaria promedio (*ADD*) y la dosis diaria promedio para toda la vida (*LADD*) respectivamente, por medio de las siguientes ecuaciones,

$$ADD (\mu\text{g Kg}^{-1}\text{día}^{-1}) = \frac{C * IR * EF * CF}{Bw} \quad (1)$$

$$LADD (\mu\text{g Kg}^{-1}\text{día}^{-1}) = \frac{C * IR * EF * CF}{Bw} \quad (2)$$

Donde *C* corresponde a la concentración del metal pesado en la muestra ($\mu\text{g Kg}^{-1}$), *IR* a la tasa de ingestión de arroz (g día⁻¹), *CF* al factor de conversión ($1 \times 10^{-3} \text{ Kg g}^{-1}$), *Bw* corresponde al peso corporal (Kg) y por último *EF* al factor de exposición, el cual está compuesto por la fracción de tiempo expuesto por período de duración de la exposición (años) y dividido por el tiempo de ponderación (años).

El factor de exposición para este estudio se definió igual 0.824, como resultado de un consumo de arroz durante seis días a la semana y 50 semanas al año (se descarta las dos semanas de vacaciones), se debe aclarar que este factor de exposición puede estar sobreestimando el consumo de arroz al compararlo con los datos reales de la población colombiana publicados en el año 2005 sobre la tasa de ingestión de arroz que es cercano al 0.714 [6].

Para el cálculo de la *ADD* el período de tiempo de interés y el tiempo de ponderación son iguales, mientras que para el cálculo de la *LADD* el valor se establece de acuerdo con la Tabla S5. El tiempo de ponderación para el cálculo de la *LADD* es igual a los años de expectativa de vida, es decir, a 70 años basado en los

resultados DANE y US EPA [29] [30]. El valor de C se obtuvo del análisis de las muestras por el método analítico de digestión asistida por microondas y cuantificada por ICP-OES.

Para conocer la distribución a la cual se ajustaban los datos de concentraciones de los metales pesados se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks. Se calcularon los intervalos de dosis a un nivel de significancia del 95% para las ADD y las $LADD$ usando el programa Oracle® Crystal Ball (Enterprise Performance Management, Versión 11.1.2.4.850) a partir de simulaciones del tipo de Monte Carlo para 100000 iteraciones; las distribuciones y parámetros de ajuste usados en dichas simulaciones se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Distribuciones y parámetros de ajuste usados en las simulaciones de tipo Monte Carlo

Parámetros del modelo	Unidad	Distribución de los datos y parámetros de ajuste*	Referencia
Concentración metal pesado en arroz blanco:	$\mu\text{g Kg}^{-1}$		
Arsénico (As)		Log normal (3.05, 0.84)	Este estudio
Cadmio (Cd)		Normal (70.1, 26.0) - truncado a 0	Este estudio
Plomo (Pb)		Uniforme (77.5, 244.2)	Este estudio
Tasa de ingestión	g día^{-1}	Normal, truncado a 0 (Tabla 1 y ver Tabla S4 para diferentes grupos etarios)	[6]
Porcentaje de individuos que consumen arroz (Para calcular RC)	%	Normal, truncado a 0 (Tabla 1 y ver Tabla S4 para diferentes grupos etarios)	[6]
Peso corporal	Kg	Log normal, (Tabla 1 y ver Tabla S4 para diferentes grupos etarios)	[6] [31]
Fracción del tiempo expuesto	Adimensional	Constante, $\frac{6 \text{ días}}{7 \text{ días}} * \frac{50 \text{ semanas}}{52 \text{ semanas}} = 0.824$	Este estudio
Periodo de exposición	Años	Constante, (Ver tabla S5)	Este estudio
Tiempo de ponderación	Años	Constante, (Ver tabla S5)	[30]

*Tipos de distribución y valores: Log normal (μ , σ), los parámetros de población μ y σ son: $\mu = \ln \bar{x} - 0.5 \ln (1 + (s / \bar{x})^2)$, $\sigma = (\ln (1 + (s / \bar{x})^2))^{1/2}$, donde \bar{x} es la media de la muestra y s es la desviación estándar de la muestra. Uniforme (mínimo, máximo); Normal (media, desviación estándar).

2.3.2. Caracterización Riesgo

El riesgo cancerígeno se estima como la probabilidad gradual de que el individuo desarrolle cáncer durante su vida como resultado de la exposición a un contaminante potencialmente cancerígeno; este riesgo es

proporcional a la exposición acumulada de nivel bajo, se utiliza el factor pendiente de cáncer (Tabla 3), que está establecido en la literatura [32]–[34] y es el resultado de estudios epidemiológicos y bioensayos con animales [35]. El riesgo no cancerígeno por exposición a una sustancia química tóxica incluye los efectos a la salud distintos a cáncer y mutaciones genéticas resultantes de la exposición crónica y se evalúa usando la dosis de referencia de exposición crónica (RfD) y NOAEL (Tabla 3). El RfD es el estimativo de la dosis de una población humana que es posible que no genere efectos adversos apreciables cuando se está expuesto a lo largo de la vida y el NOAEL es la dosis más elevada a la cual no se observan efectos adversos obtenido de estudios toxicológicos con animales [32]–[34], [36].

Tabla 3. Dosis de referencia de exposición crónica oral (RfD) y factor de pendiente del Cáncer (CSF) para arsénico, cadmio y plomo.

Metal Pesado	RfD ($\mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$)			CSF ($\text{mg Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$) ⁻¹
	IRIS (NOAEL)	FAO/WHO (JECFA)	EFSA	
Arsénico inorgánico	0.3[†](0.8) [33]	2.14-50 [4], [13], [36], [37]	0.3-8.0 [14], [17]	1.5 [33]
Cadmio	1.0(10) [34]	1.00 [13], [36]	0.36 [14], [36]	0.006 [35]
Plomo	*[32]	3.57 [4], [37]	0.5-1.5 [14], [36]	0.0085 [38]**

*RfD: reference dose; CSF: cancer slope factor. *Se considera que el plomo es un contaminante que probablemente puede causar cáncer en humanos, sin embargo, no se ha determinado su valor RfD según IRIS. ** Según la OEHHA. †También es definido como BMDL₁₀ (Dosis límite Oral Benchmark*

Para la valoración del riesgo cancerígeno, el *RC* se obtiene del producto entre la *LADD* y el valor *CSF*; dado por la ecuación (3), y para la valoración del riesgo no cancerígeno, el *MOE* esta dado por el cociente entre el *NOAEL* y la *ADD*, dado por la ecuación (4).

$$RC = LADD * CSF \quad (3)$$

$$MOE = \frac{NOAEL (Tabla3)}{Exposición (ADD)} \quad (4)$$

El objetivo del valor numérico del riesgo de cáncer (*RC*) es representar la probabilidad de desarrollar cáncer durante la vida y la EPA [18] ha propuesto un valor aceptable en el cual una persona de cada millón, desarrolla cáncer como resultado de ese tipo de exposición [5].

La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) sugiere que para sustancias genotóxicas un valor de *MOE* igual o superior a 10000 no suscita preocupación en la salud pública mientras que, un valor de

MOE igual o inferior a 100 suscita preocupación en salud pública y un valor inferior a 1 indica que se ha superado el umbral toxicológico y por ende la probabilidad de enfermedad se verá aumentada [5], [17]. Para el cálculo del *MOE* de arsénico y cadmio se tuvo en cuenta el NOAEL y para el plomo se usó la dosis oral de referencia (RfD) que corresponde a 3.57 $\mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Adicionalmente se determinó el *MOE combinado* para cada grupo etario, usando la ecuación (5), por la suposición de exposición combinada de los tres metales en arroz blanco.

$$MOE \text{ combinado} = \frac{1}{\frac{1}{MOE_{As}} + \frac{1}{MOE_{Cd}} + \frac{1}{MOE_{Pb}}} \quad (5)$$

Para la determinación del riesgo no cancerígeno por plomo en arroz, los científicos no consideran apropiado recomendar un valor debido a toda la incertidumbre asociada con este metal, igualmente sucede con los valores de CSF (Tabla 3) usados para la determinación del riesgo cancerígeno por cadmio y plomo.

2.4. Análisis estadístico

El coeficiente de correlación de Spearman se calculó para evaluar si existe una correlación estadísticamente significativa entre las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo cuantificadas en el arroz blanco a un nivel de significancia del 95%. El software estadístico utilizado para el análisis fue STATA/SE 15 (StataCorp, TX, EE. UU.).

3. Resultados

Teniendo en cuenta los parámetros para la validación del método analítico (linealidad, precisión, exactitud, límites de detección y selectividad) [26], [39] los resultados para cada uno de estos se muestran en la Tabla Suplementaria 7. Los límites de detección y cuantificación calculados fueron inferiores a las concentraciones máximas permisibles en arroz. El método validado es selectivo debido a que no se presentaron interferencias por otros metales como Fe y Zn, estando estos en mayor proporción (mg Kg^{-1}), en las muestras evaluadas bajo las tres longitudes de onda (ver tabla S3). El porcentaje de recuperación promedio obtenido de las muestras fortificadas ($n=9$) fue del $95\pm 7\%$ para arsénico, $82\pm 4\%$ para cadmio y $85\pm 8\%$ para plomo; estos valores calculados para cada metal se evaluaron con los niveles 2 y 3 de fortificación los cuales son estadísticamente significativos al 100% con un nivel de confianza de 0.05% [26]. Sin embargo, para el nivel 1, los porcentajes de recuperación fueron inferiores a los obtenidos en el nivel 2 y 3, aunque en un rango aceptable para As pero no para Cd y Pb. La precisión del método expresado como porcentaje de variación (%CV) fue inferior al 10%. Los efectos (negativos) de la matriz se

evidenciaron para cadmio y plomo, los cuales se observaron en las curvas de adición estándar en el rango de bajas concentraciones ($<125 \mu\text{g Kg}^{-1}$) y por los bajos porcentajes de recuperación de estos metales (Cd y Pb) en comparación con el arsénico en arroz. Se sugiere que se utilice una técnica analítica como ICP-HPLC-MS que permita la cuantificación de arsenito (As^{3+}), arsenato (As^{5+}), monometilarsenato, arsenoazúcares, entre otros que hacen parte de la especiación del arsénico [17], con la cual se determinaría la concentración de arsénico inorgánico real (As^{3+} y As^{5+}) en el arroz. Aunque se determinó el arsénico total por la técnica ICP-OES por generación de hidruros la técnica ICP-HPLC-MS mejoraría el límite de detección alcanzado en la metodología analítica propuesta en este estudio (Tabla S7).

La mayor concentración de arsénico encontrada en el arroz blanco analizado fue de $161.4 \mu\text{g Kg}^{-1}$. De las 44 muestras evaluadas se encontró que el 23% de las muestras de arroz analizadas presentaron contenido de arsénico total mayor al LDM con una concentración promedio de As de $75.3 \pm 38.3 \mu\text{g Kg}^{-1}$. El porcentaje restante estuvo por debajo del límite de detección del método para arsénico (LDM, ver tabla S7). Ninguna de las muestras superó el valor límite máximo establecido para alimentos ($200 \mu\text{g Kg}^{-1}$ As total en cereal) según el Codex Alimentarius [27]. A continuación, se muestran las concentraciones obtenidas de As en las 44 muestras de arroz blanco muestreado (Figura 1).

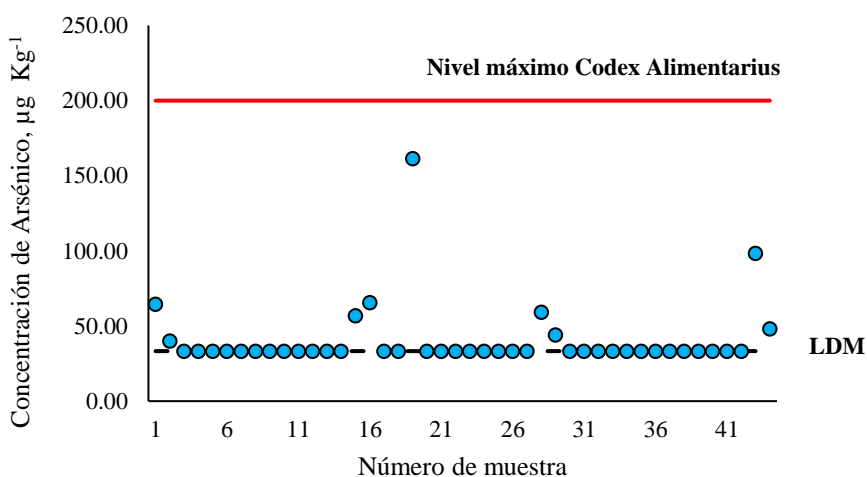


Figura 1. Concentración de arsénico en muestras de arroz blanco comercializado en el país

En cuanto al análisis de cadmio, el 7% de las muestras, la concentración estuvo por debajo del límite de detección del método (LDM, ver tabla S7); mientras que, el 93% de las muestras restantes, presentaron una concentración promedio de Cd de $74.1 \pm 22.2 \mu\text{g Kg}^{-1}$ y se reportó una concentración máxima de $144.8 \mu\text{g Kg}^{-1}$. Ninguna de las muestras superó el valor límite máximo establecido para alimentos ($200 \mu\text{g Kg}^{-1}$ Cd peso fresco en cereal) según la Resolución 4506 del Ministerio de Salud y Protección Social [28].

A continuación, se muestran las concentraciones obtenidas de Cd en las 44 muestras de arroz blanco muestreado (Figura 2).

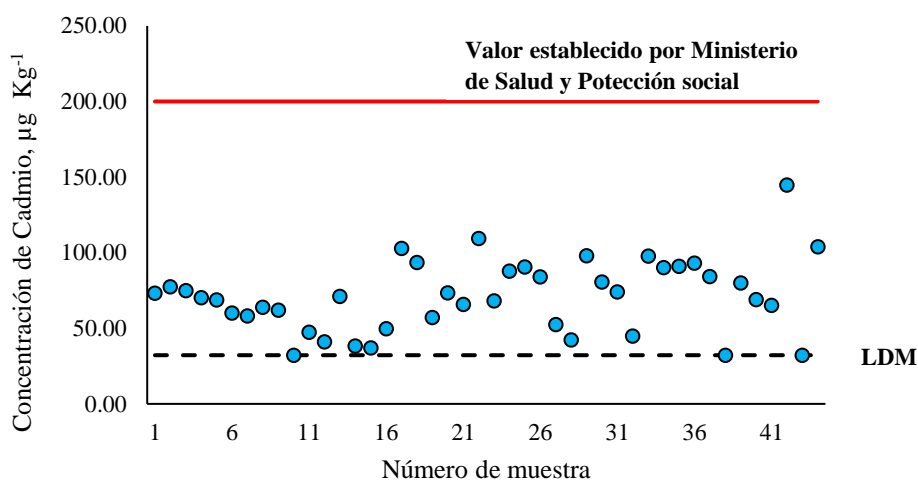


Figura 2. Concentración de cadmio en muestras de arroz blanco comercializado en el país

El contenido de plomo en el 95.5% de las muestras estuvo por debajo del límite de detección del método (LDM, ver tabla S7); mientras que, el 4.5% de las muestras restantes mostraron una concentración promedio de Pb de $201.9 \pm 59.8 \mu\text{g Kg}^{-1}$, y una de las muestras analizadas superó el valor límite máximo establecido para alimentos ($200 \mu\text{g Kg}^{-1}$ Pb en cereal) según el Codex Alimentarius [27] con un valor de $244.2 \mu\text{g Kg}^{-1}$, este valor puede estar asociado a que el arroz no se lavó previo al proceso de maceración y a la presencia de partículas de polvo, ya que estas se relacionan con el plomo presente en el ambiente [40]. A continuación, se muestran las concentraciones de Pb analizadas en las 44 muestras de arroz blanco muestreado (Figura 3).

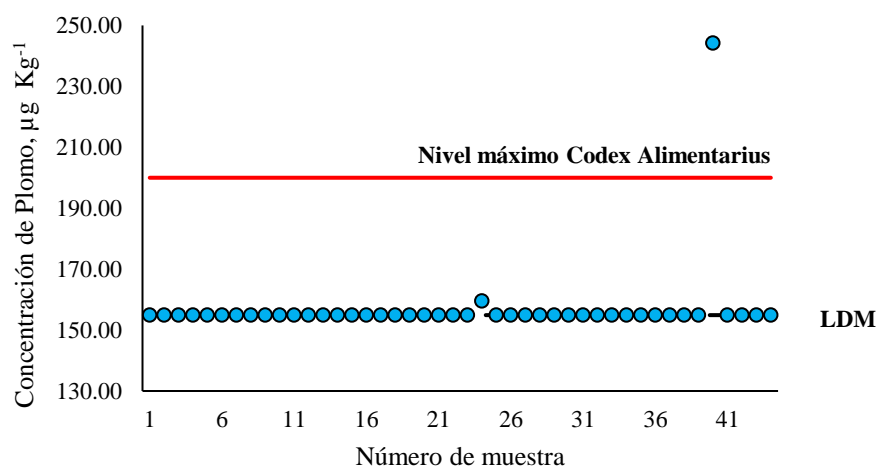


Figura 3. Concentración de plomo en muestras de arroz blanco comercializado en el país

Se determinó el coeficiente de correlación de Spearman entre las concentraciones de arsénico y cadmio, sin considerar el plomo debido a que solo dos muestras superaron el LDM. Este coeficiente sugiere que las concentraciones de arsénico y cadmio son independientes, es decir, no se observa una correlación positiva entre las concentraciones ($\rho= 0.1556$) y no es estadísticamente significativa ($p\text{-valor}= 0.4278$).

Debido a que el 93% de las muestras presentaron concentraciones de cadmio que superaron el LDM, se analizó el comportamiento de estas teniendo en cuenta: la Organización Agroindustrial (OA), la presentación por peso (PP), la marca (M) y el supermercado (S). En la figura 4, se observa solamente dos factores analizados (M y S); evidenciando que, respecto a las marcas, M1 presentó mayor concentración de cadmio con un valor de $144.82 \mu\text{g Kg}^{-1}$ y en los supermercados no se observan diferencias estadísticas en la concentración de cadmio.

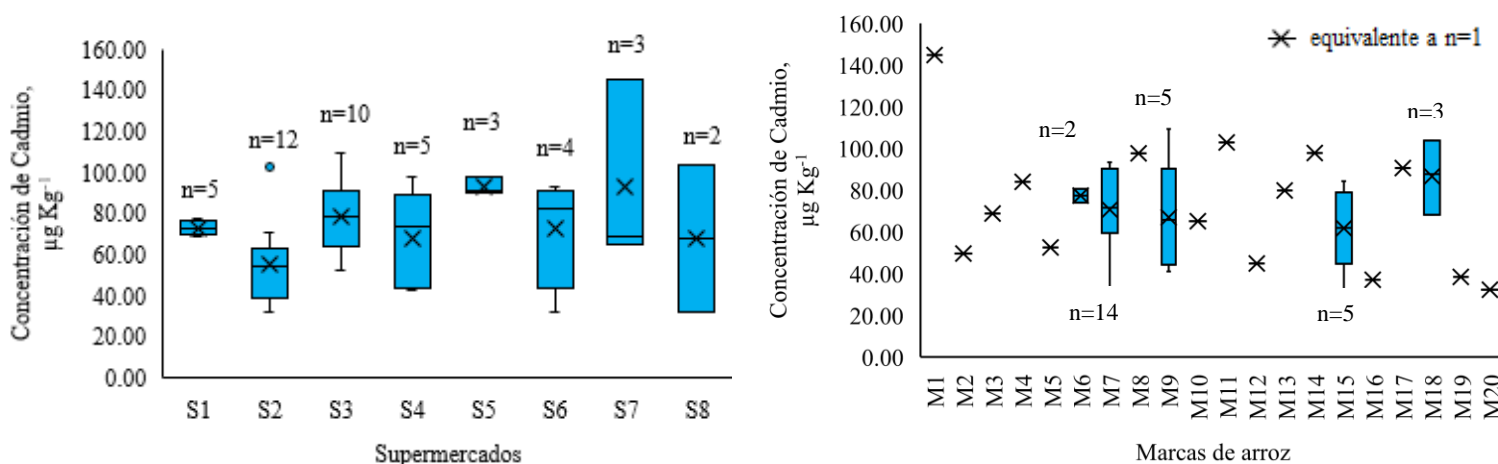


Figura 4. Concentraciones de cadmio por supermercados y marcas de arroz

Para realizar las simulaciones de Monte Carlo se utilizaron las distribuciones y parámetros de ajuste de la Tabla 2 para las concentraciones de los metales en el arroz. Por medio de la prueba de Shapiro Wilks se encontró que las concentraciones para arsénico no se ajustaban a una distribución normal, por lo tanto, se realizó su transformación a una distribución Log normal; las concentraciones para cadmio se ajustan a una distribución normal; y para plomo no se realizó la prueba de Shapiro Wilks asumiendo una distribución uniforme, debido a que se conoce el rango y todos los valores posibles tienen la misma probabilidad [19] con un valor mínimo de $77.45 \mu\text{g Kg}^{-1}$ y máximo de $244.2 \mu\text{g Kg}^{-1}$. Para fines de análisis de datos, la mitad del LDM (ver Tabla S7) se usó para muestras que tenían concentraciones por debajo del LDM [40].

Las dosis *ADD* y *LADD* estimadas, en $\mu\text{g Kg}^{-1}\text{día}^{-1}$, usando las simulaciones de Monte Carlo, de arsénico total, cadmio y plomo para los diferentes grupos etarios de ambos géneros se enumeran en las Tablas 4 y 5 donde se observan los intervalos de dosis a un nivel de confianza del 95% ($\text{IC}_{95\%}$). Se observa en las Tablas S8 y S9 los demás resultados de las simulaciones entre ellos los valores promedio, mediana, y la desviación estándar. Los $\text{IC}_{95\%}$ de las dosis *ADD* y *LADD* estimadas para los tres metales pesados son mayores para los grupos etarios de 2-3 años, 4-8 años y 9-13 años para el género femenino. En la población general se observa un intervalo de *ADD* para el arsénico total de $0.010\text{-}0.365 \mu\text{g Kg}^{-1}\text{día}^{-1}$, para cadmio de $0.051\text{-}0.321 \mu\text{g Kg}^{-1}\text{día}^{-1}$ y para plomo de $0.206\text{-}0.647 \mu\text{g Kg}^{-1}\text{día}^{-1}$. En cuanto a la *LADD* se observó para el arsénico total un intervalo de $0.008\text{-}0.215 \mu\text{g Kg}^{-1}\text{día}^{-1}$, para cadmio de $0.046\text{-}0.289 \mu\text{g Kg}^{-1}\text{día}^{-1}$ y para plomo de $0.185\text{-}0.583 \mu\text{g Kg}^{-1}\text{día}^{-1}$. El mismo comportamiento se manifiesta en los grupos etarios del género masculino, pero el rango del $\text{IC}_{95\%}$ es menor en comparación con el género femenino.

Tabla 4. Resultados de intervalos al 95% de confianza para la dosis diaria promedio (*ADD*) y la dosis diaria promedio de por vida (*LADD*) estimadas con simulaciones Monte Carlo asociada con el consumo de arroz blanco que contiene As, Cd y Pb para diferentes grupos etarios en género femenino.

Dosis diaria promedio (<i>ADD</i>), $\mu\text{g Kg}^{-1}\text{ día}^{-1}$							
Metal pesado	Grupos etarios, años						
	2-3	4-8	9-13	14-18	19-50	51-64	General
As	0.019-2.785	0.017-1.818	0.015-0.900	0.014-0.512	0.010-0.398	0.008-0.253	0.010-0.365
Cd	0.078-5.368	0.075-3.184	0.068-1.437	0.070-0.693	0.049-0.579	0.039-0.302	0.051-0.321
Pb	0.219-12.033	0.215-7.312	0.210-3.133	0.234-1.530	0.164-1.246	0.149-0.647	0.206-0.647
Dosis diaria promedio de por vida (<i>LADD</i>), $\mu\text{g Kg}^{-1}\text{ día}^{-1}$							
Metal pesado	Grupos etarios, años						
	2-3	4-8	9-13	14-18	19-50	51-64	General
As	0.002-0.025	0.002-0.032	0.002-0.048	0.002-0.050	0.002-0.199	0.002-0.099	0.008-0.215
Cd	0.002-0.153	0.005-0.227	0.005-0.103	0.005-0.049	0.022-0.265	0.008-0.060	0.046-0.289
Pb	0.006-0.344	0.015-0.522	0.015-0.224	0.017-0.109	0.075-0.570	0.030-0.129	0.185-0.583

Tabla 5. Resultados de intervalos al 95% de confianza para la dosis diaria promedio (*ADD*) y la dosis diaria promedio de por vida (*LADD*) estimadas con simulaciones Monte Carlo asociada con el consumo de arroz blanco que contiene As, Cd y Pb para diferentes grupos etarios en género masculino.

Dosis diaria promedio (<i>ADD</i>), $\mu\text{g Kg}^{-1}\text{ día}^{-1}$							
Metal pesado	Grupos etarios, años						
	2-3	4-8	9-13	14-18	19-50	51-64	General
As	0.017-1.669	0.016-1.583	0.015-0.901	0.013-0.550	0.009-0.310	0.008-0.235	0.009-0.249
Cd	0.082-3.038	0.072-2.851	0.066-1.545	0.064-0.789	0.048-0.422	0.037-0.268	0.046-0.285
Pb	0.232-7.047	0.209-6.205	0.214-3.411	0.00-1.460	0.000-0.817	0.000-0.529	0.000-0.557

Dosis diaria promedio de por vida (LADD), $\mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$							
Metal pesado	Grupos etarios, años						
	2-3	4-8	9-13	14-18	19-50	51-64	General
As	0.001-0.198	0.001-0.113	0.001-0.064	0.001-0.039	0.004-0.142	0.002-0.047	0.008-0.224
Cd	0.002-0.087	0.005-0.204	0.005-0.110	0.005-0.056	0.022-0.193	0.007-0.054	0.041-0.256
Pb	0.007-0.201	0.015-0.443	0.015-0.244	0.015-0.121	0.074-0.421	0.029-0.115	0.163-0.524

Los valores para los márgenes de exposición (*MOE*) se obtuvieron usando las simulaciones de Monte Carlo para As, Cd y Pb a partir de los resultados *ADD* estimados y los valores de *NOAEL* obtenidos en el Sistema Integrado de Información de Riesgos (*IRIS*) para arsénico y cadmio, y un valor de $3.56 \mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ para plomo; estos valores se presentan en las Tablas 6 y 7 para ambos géneros (información adicional se muestra en las Tabla S10 y S11). Adicional a estos, se obtuvo el *MOE combinado*, el cual representa el margen de exposición en cada grupo etario por presencia conjunta de As, Cd y Pb en arroz blanco.

Debido a la relación inversa entre *ADD* y *MOE* (ecuación 4), se observaron valores más altos de *MOE* para los grupos etarios superiores a 13 años, los cuales presentaron menor dosis diaria promedio estimadas en comparación con los tres grupos etarios menores a 13 años, indicando un menor riesgo no cancerígeno. Se observó que el *MOE combinado* osciló entre 1 y 12, donde la exposición a plomo para todos los grupos etarios presentó el mayor aporte.

Tabla 6. Resultados de intervalos al 95% de confianza para el riesgo no cancerígeno (*MOE*) y riesgo cancerígeno (*RC*) estimados por simulaciones Monte Carlo asociado con el consumo de arroz blanco que contiene As, Cd y Pb para diferentes grupos etarios de género femenino.

Riesgo no cancerígeno (<i>MOE</i>)							
Metal pesado	Grupos etarios, años						
	2-3	4-8	9-13	14-18	19-50	51-64	General*
As	0.00-28.09	0.00-33.71	0.00-38.97	0.00-43.59	0.00-58.52	0.00-73.39	0.00-59.40
Cd	1.86-128.78	3.14-132.81	6.95-147.05	14.43-143.70	17.26-202.70	33.07-255.48	31.18-193.04
Pb	0.30-16.27	0.49-16.58	1.14-17.00	2.33-15.26	2.86-21.81	5.52-23.98	5.51-17.33
<i>MOE combinado</i>	(1.12) **	(1.52) **	(2.25) **	(3.41) **	(4.65) **	(6.14) **	(4.80) **

Riesgo cancerígeno (<i>RC</i>), expresado en 10^{-6}							
Metal pesado	Grupos etarios, años						
	2-3	4-8	9-13	14-18	19-50	51-64	General*
As	3.70-30.00	3.66-41.00	3.80-58.00	3.70-75.00	3.71-165.36	3.71-96.00	12.96-322.87
Cd	0.013-0.15	0.014-0.30	0.013-0.67	0.001-0.15	0.06-1.10	0.05-1.12	0.18-1.30
Pb	0.04-2.20	0.099-3.50	0.095-1.50	0.10-0.72	0.45-3.60	0.17-0.79	1.10-3.90

*Calculado con los valores estipulados en la Tabla 2 y la Tabla 3. ** Valor más probable calculado con las simulaciones Monte Carlo

Los *RC* estimados (Tabla 6 y 7) mostraron una probabilidad entre 1×10^{-9} – 1×10^{-4} para ambos géneros. Se observa que el riesgo de cáncer es mayor por exposición en el siguiente orden $As > Pb > Cd$ en arroz blanco, alcanzando valores de 323 casos potenciales en riesgo de cáncer por arsénico, de 4 casos por plomo y 2 casos por cadmio por cada millón de habitantes en la población general para el género femenino; el mismo orden se mantiene en el género masculino pero con valores de 248 casos, 4 casos y 1 caso, para arsénico, cadmio y plomo respectivamente, indicando que un consumo de las dosis promedio de por vida (*LADD*) estimadas por las simulaciones Monte Carlo desarrollarán cáncer. También se observó que el grupo etario de 19-50 años, presentó una mayor probabilidad potencial de contraer cáncer en comparación con los otros grupos etarios evaluados.

Tabla 7. Resultados de intervalos al 95% de confianza para el riesgo no cancerígeno (*MOE*) y riesgo cancerígeno (*RC*) estimados por simulaciones Monte Carlo asociado con el consumo de arroz blanco que contiene As, Cd y Pb para diferentes grupos etarios de género masculino.

Riesgo no cancerígeno (<i>MOE</i>)							
Metal pesado	Grupos etarios, años						
	2-3	4-8	9-13	14-18	19-50	51-64	General*
As	0.00-31.94	0.00-34.09	0.00-38.21	0.00-44.98	0.00-66.40	0.000-79.95	0.00-66.13
Cd	3.28-121.63	3.50-138.69	6.47-150.66	12.66-155.04	23.80-223.55	37.29-269.94	35.12-218.66
Pb	0.51-15.33	0.58-17.05	1.04-16.65	2.10-17.06	3.88-22.12	6.21-24.79	6.13-19.64
<i>MOE</i> combinado	(1.44) **	(2.35) **	(2.75) **	(3.52) **	(5.26) **	(6.62) **	(5.64) **
Riesgo cancerígeno (<i>RC</i>), expresado en 10^{-6}							
Metal pesado	Grupos etarios, años						
	2-3	4-8	9-13	14-18	19-50	51-64	General*
As	0.26-39.23	1.28-38.12	1.19-37.52	1.01-45.20	1.01-116.60	1.01-39.80	8.92-248.90
Cd	0.02-1.30	0.03-1.30	0.03-1.29	0.02-0.28	0.02-1.75	0.02-0.22	0.02-1.09
Pb	0.04-1.30	0.09-1.90	0.09-1.61	0.09-0.78	0.44-2.65	0.16-0.70	0.97-3.48

*Calculado con los valores estipulados en la tabla 2 y la tabla 3. ** Valor más probable calculado con las simulaciones Monte Carlo

Con base en el valor recomendado de 1×10^{-6} para el riesgo cancerígeno y el valor de CSF (ver Tabla 3) para As, Cd y Pb, usando las simulaciones Monte Carlo, se calculó el valor más probable de la concentración para estos metales pesados en cada grupo etario, para el cual el riesgo cancerígeno no superaría un caso por millón de expuestos. Observando los resultados (Tabla 8 y demás resultados en Tabla S12) se resalta que el grupo etario entre 14 a 18 años tuvo el menor riesgo de cáncer y el grupo etario entre 19 a 50 años el mayor.

La concentración estimada de arsénico, comparada con cadmio y plomo, fue la menor entre los tres metales en todos los grupos etarios, sugiriendo un mayor riesgo por la exposición de arroz blanco con

presencia de este metal pesado. Para unificar la concentración de cada metal (valor recomendado en la última columna de la Tabla 8) se utilizó la concentración más baja estimada a la cual en todos los grupos etarios el riesgo cancerígeno no superaría un caso por millón de expuestos. Para realizar la estimación se utilizó el género femenino con el cual se obtienen las dosis diarias promedio de por vida más alta en comparación con el género masculino, esto se debe a que las mujeres en los diferentes grupos tienen menor peso corporal, y se asumió un EF igual a 1 indicando que la población consume arroz todos los días del año, debido a esto se puede estar sobreestimando el consumo de arroz. Por lo tanto, se realizaron las simulaciones de Monte Carlo cambiando el valor de EF entre 0.412-0.824 que corresponden a un consumo de arroz de 3,4,5 o 6 días a la semana durante 50 semanas del año (no se consideró las dos semanas de vacaciones al año), y con las cuales se obtuvo rango de concentración para arsénico, cadmio y plomo de 0.48-0.97 $\mu\text{g Kg}^{-1}$, 121.13-243.41 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ y 85.50-171.82 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ respectivamente, esto indica que las concentraciones establecidas por la legislación nacional son altas para arsénico y plomo independiente del valor EF utilizado, y el cadmio depende directamente del número de días que se consuma arroz.

Tabla 8. Concentraciones de As, Cd y Pb en $\mu\text{g Kg}^{-1}$ en arroz blanco, a las cuales el riesgo cancerígeno sería menor o igual a un caso por millón para la población colombiana. Valores obtenidos utilizando simulaciones de Monte Carlo para un consumo de arroz los 365 días del año.

Metal pesado	Grupos etarios, años						Concentración recomendada, $\mu\text{g Kg}^{-1}$
	2-3	4-8	9-13	14-18	19-50	51-64	
As inorgánico, en $\mu\text{g Kg}^{-1}$	1.76	0.95	1.44	1.89	0.40	1.28	0.40
Cd, en $\mu\text{g Kg}^{-1}$	439.32	236.33	361.05	472.37	99.93	319.52	99.93
Pb, en $\mu\text{g Kg}^{-1}$	310.11	166.82	254.86	333.43	70.54	225.54	70.54

4. Discusión

En Colombia los estudios desarrollados para la cuantificación de metales pesados en arroz se remiten a los años 2002 al 2013 [41][42][5], en los cuales el muestreo empleado no fue representativo para el consumo nacional de arroz blanco y no se evaluaron los parámetros considerados en este estudio, como lo fueron: la organización agroindustrial, marcas asociadas a la organización agroindustrial y supermercados. Este estudio, en cambio, incluye las marcas más representativas consumidas por la población colombiana y los puntos de venta con más presencia en el país.

Las concentraciones para arsénico total, cadmio y plomo cuantificadas en arroz blanco en este estudio, fueron de 40.0-161.4 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ y 37.1-144.8 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ y 159.6-244.2 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ respectivamente. Estas concentraciones son menores que las concentraciones de arsénico y cadmio reportadas anteriormente en

estudios realizados en Colombia, en donde se reportan valores promedio de 520 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ para arsénico [41][43] y 330 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ para cadmio [42]; sin embargo, en ninguno de los estudios anteriores se cuantificó plomo en arroz. Nuestros resultados, en conjunto con los resultados reportados anteriormente [9][44], sugieren que algunos metales pesados están presentes en el arroz comercializado en Colombia desde hace más de dos décadas.

Las concentraciones halladas para arsénico y cadmio no superaron los límites máximos establecidos por la FAO y CODEX Alimentarius (200 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ de As y de 200 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ de Cd) pero una muestra superó el límite máximo establecido por estas organizaciones para plomo (200 $\mu\text{g Kg}^{-1}$). En otros países hasta un 40% de las muestras analizadas superaron los límites máximos establecidos [45], [46], [47], [48]. Por ejemplo, para los Estados Unidos, se publicaron concentraciones de 60-850 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ para arsénico total, 7-123 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ de cadmio y 77-100 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ de plomo en diferentes tipos de arroz en el mercado estadounidense [48]. En Asia, se observaron concentraciones que oscilaron entre 24-300 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ de arsénico total, 4-178 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ de cadmio y 5-745 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ de plomo en diferentes tipos de arroz entre ellos arroz blanco [15], [17], [49], [50]. En Europa, se reportaron niveles totales de arsénico de 30–650 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ para el arroz disponible en los mercados de Dinamarca y Finlandia [51], [52], [53]. En general, estos datos indican que hay presencia de arsénico, cadmio y plomo en el arroz comercializado en el mundo y las concentraciones reportadas tienen alta variabilidad que está asociada con las actividades antropogénicas como la aplicación de agroquímicos o fertilizantes (urea y superfosfato) y con las condiciones naturales como la meteorización de las rocas, los tiempos invernales, el pH ácido, la porosidad y materia orgánica del suelo que favorecen la absorción de los metales pesados en la planta [7], [8], [14].

Por lo general, cuando se calcula la dosis de ingestión para determinar la exposición a arsénico en alimentos se utilizan las concentraciones de arsénico total en vez de la concentración de arsénico inorgánico; por tal motivo en esta investigación se asumió una concentración del 100% en arsénico total para el cálculo de las *ADD* y *LADD* [54],[17]. Sin embargo, la toxicidad del arsénico depende de su estado químico y, por lo tanto, se recomienda que en estudios futuros las concentraciones de arsénico en arroz blanco sean reportadas por especie de arsénico o al menos se reporte la proporción de arsénico inorgánico real en el arroz.

Los valores de dosis diaria promedio (*ADD*) calculadas (Tabla 4 y Tabla 5) para la estimación del riesgo no cancerígeno, fueron entre 0.019-2.785 $\mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$, 0.078-5.368 $\mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y 0.219-12.033 $\mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ por exposición a As, Cd y Pb, respectivamente, para el género femenino entre

2-3 años, siendo el grupo etario que presenta mayor dosis de ingestión, y cuyas dosis no difieren estadísticamente de los valores *ADD* para el género masculino. Adicionalmente, las dosis obtenidas para este grupo etario superaron el umbral toxicológico en los tres metales analizados implicando mayor riesgo de contraer enfermedades asociadas. Para los grupos etarios restantes, las *ADD* calculadas se comportaron de acuerdo con el siguiente orden; 4-8 > 9-13 >14-18 >19-50 >51-64 años, indicando que las dosis de ingestión son mayores para los niños que en los adultos, esto para ambos géneros, lo que concuerda con el estudio reportado por el Instituto Nacional de Salud (INS), el cual reporta valores inferiores de *ADD* ($0.011-0.036 \mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$) solo por exposición a arsénico en arroz [5]. En la población general del género femenino solamente se superó el umbral toxicológico (RfD) para arsénico ($0.3 \mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$, Tabla 3); superarlo implica un riesgo potencial de arsenicosis y/o lesiones cutáneas [55], [56].

Los valores de las *LADD* calculadas (Tabla 4 y Tabla 5) para la estimación del riesgo cancerígeno, oscilaron entre $0.002-0.199 \mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$, $0.022-0.265 \mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y $0.075-0.570 \mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ por exposición a As, Cd y Pb, respectivamente, para el género femenino del grupo etario de 19-50 años, siendo el grupo etario estimado con las mayores *LADD* en comparación con los demás. Estas dosis no difieren estadísticamente para el género masculino. También se observó que las *LADD* disminuyeron de acuerdo con el siguiente orden en los grupos etarios 19-50 >4-8 >51-64 >9-13 >14-18 >2-3 años.

Los cálculos realizados para la estimación de las *ADD* y *LADD* de la población colombiana en cada uno de los grupos etarios se tomaron con base en datos de consumo y peso corporal de la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional de Colombia llevada a cabo en el año 2005 [6]; estos valores pueden diferir con respecto a la actualidad en el país. La cuantificación de metales pesados se realizó en el arroz crudo, el cual se asumió como la misma matriz de ingestión, es decir, no hay disminución en la concentración de metales por cocción, enjuague o remojo [35],[45].

Para la caracterización del riesgo no cancerígeno se usó el *MOE* el cual está asociado con el NOAEL (ecuación 4). Se tomó el NOAEL reportado en la literatura (Tabla 3) para arsénico y cadmio. Para plomo se utilizó el RfD para la caracterización del riesgo. No obstante, este aspecto puede llevar a una mayor variabilidad para arsénico y cadmio, debido a que no se tienen en cuenta los factores de incertidumbre asociados a los estudios para la creación de la curva de dosis-respuesta [18].

En este estudio se obtuvieron resultados para los *MOE* entre $0.0-31.9 \mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$, $3.3-121.6 \mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y $0.-15.3 \mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ para As, Cd y Pb en el grupo etario masculino de 2-3 años. Estos valores son inferiores a 1 o se encuentran en el rango entre 1 a 100, lo cual suscita preocupación en términos de salud pública, siguiendo la recomendación del Comité Científico de la EFSA [54] tanto para el género

masculino como femenino y la población colombiana en general. En el estudio realizado por la EFSA [54] se considera el arsénico total como 100% arsénico inorgánico, al igual que en este estudio, y sus resultados, al igual que los nuestros, indican potenciales efectos a la salud, ya que alcanzan valores de *MOE* de 7.7 para la población europea [54].

Debido a que los rangos de *MOE* para el grupo etario de 2-3 años para plomo son menores en comparación con arsénico y cadmio, este metal suscita mayor preocupación por la ingesta de arroz blanco. Es importante resaltar que en este estudio el riesgo no cancerígeno por plomo está establecido por el límite de detección del método analítico debido a que el 95.5% de las muestras estuvieron por debajo de este, por lo tanto, se llevaron a cabo dos simulaciones, una de ellas considerando las dos muestras que superaron el LDM y la otra excluyéndolas (ver Tabla S13); esto, con el fin de no sesgar la caracterización del riesgo. Como resultado de las dos simulaciones se obtuvieron rangos de *MOE* entre 1-100, lo cual sugiere efectos de riesgo no cancerígeno.

Los *RC* calculados estuvieron en un rango de 3.7×10^{-6} a 1.7×10^{-4} , 6.0×10^{-8} a 1.10×10^{-6} y 4.50×10^{-7} a 3.60×10^{-6} para As, Cd y Pb, respectivamente, para el grupo etario de 19-50 años del género femenino, el cual tuvo la mayor probabilidad de riesgo a cáncer en comparación con los otros grupos. Se observa un riesgo (*RC*) que supera el límite de 1 caso por cada millón de personas expuestas (1×10^{-6}) para arsénico y plomo [18]. Cabe aclarar que, para el análisis de datos del plomo se consideró el CSF (Tabla 3) reportado por la OEHHA [38], el cual está en el grupo de la IARC como elemento tóxico probable carcinogénico [11].

De acuerdo con los rangos obtenidos de *RC* en el género femenino de 19-50 años, el número de casos potenciales para arsénico alcanzan 165 y 4 para plomo, esto en un millón de personas expuestas a los dos metales pesados por consumo de arroz blanco, lo que indica una alta probabilidad de riesgo de cáncer. Sin embargo, en la población general estos casos podrían llegar hasta 322 para arsénico, 4 para plomo y 1 para cadmio. Este número de casos implica una alta probabilidad de cáncer en el tracto urinario y estómago por exposición al arsénico [38], efectos neurológicos adversos por presencia de plomo en sangre [57],[58], [59] y baja probabilidad de cáncer en huesos y deficiencias en el sistema inmunológico asociados al cadmio [60],[61],[62]. Al igual que en la determinación de los *MOE* por plomo, para el *RC* se llevaron a cabo dos simulaciones, una de ellas considerando las dos muestras que superaron el LDM y la otra excluyéndolas (ver Tabla S13), se obtuvo que al no considerar las dos muestras que superaron el LDM, se presentó una reducción de 1 caso potencial de cáncer.

De acuerdo con el número de casos potenciales de riesgo cancerígeno calculados, se recomienda modificar la concentración máxima permitida vigente de los tres metales pesados en arroz. Reducir la concentración en un 98.0% para arsénico, 50.0% para cadmio y 64.7% para plomo. Es importante aclarar que estos valores fueron determinados con base en las tasas de ingestión y peso corporal de la población colombiana para el año 2005 [6]. Teniendo en cuenta las concentraciones recomendadas (Tabla 8) cualquier muestra de arroz que se sea analizada con el método analítico validado en esta investigación y que superen el LDM para arsénico y plomo (ver Tabla S7) sugerirían un riesgo para la salud en la población colombiana. Se recomienda a las autoridades pertinentes tener control y vigilancia en la cadena suministro del arroz en el país, desde el arroz cosechado hasta el arroz finalmente comercializado incluyendo el arroz importado, con el fin de monitorear la presencia de arsénico, cadmio y plomo, y así tomar decisiones de mitigación por contaminación de estos metales pesados.

5. Conclusiones

Se observó que 93% de las muestras de arroz blanco comercializadas en diferentes almacenes de cadena del país presentaron concentraciones ($\mu\text{g Kg}^{-1}$) de cadmio mayores al LDM, 23% para arsénico y el 4,5% para plomo. Sin embargo, a excepción de una de las muestras para el plomo, las concentraciones cuantificadas para los tres metales pesados no superaron el valor máximo permitido en el país definido por el Codex Alimentarius y el Ministerio de Salud y Protección Social. Sin embargo, se demostró que las *ADD* y *LADD* calculadas mediante las simulaciones de Monte Carlo, superaron las RfD recomendadas por programas como IRIS y EFSA. En este sentido, la caracterización de riesgo usando el *MOE* calculado sugiere preocupación en salud pública por arsénico, cadmio y plomo tanto en mujeres como en hombres en todos los grupos etarios, siendo mayor preocupación para los grupos entre 2-13 años. El *RC* calculado en todos los grupos etarios evaluados excede el umbral recomendado de 1×10^{-6} $\text{persona}^{-1} \text{año}^{-1}$ por la exposición a arsénico y plomo propuesto por la U.S. EPA, siendo mayor para la población entre 19-50 años y que llegaría a 3.23×10^{-4} para la población general. Estos resultados sugieren que la exposición a arsénico, cadmio y plomo por ingesta de arroz blanco tiene un mayor potencial de causar enfermedades y casos de cáncer asociadas a estos metales pesados que los aceptados por la comunidad internacional. Aunque para el caso del plomo, los científicos no consideran apropiado recomendar un valor de RfD y CSF debido a toda la incertidumbre asociada con este metal y sería necesario tener valores de referencia para comprender mejor los riesgos, especialmente para los niños.

Los resultados de esta metodología de análisis de riesgo permitieron evaluar el riesgo asociado al consumo de arroz blanco contaminado con arsénico, cadmio y plomo para diferentes grupos etarios y en general de la población colombiana. Los resultados de este estudio se pueden utilizar como punto de partida para establecer en el país un límite máximo de concentración de estos metales pesados en granos de arroz. Por lo tanto, se recomienda implementar un programa nacional de vigilancia y control, y se sugiere con base en la metodología de análisis de riesgo de este estudio que los valores máximos permitidos en arroz sean 0.40, 99.93, 70.54 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ para As, Cd y Pb, respectivamente, cuyas concentraciones están sujetas al consumo de la población, peso corporal y la frecuencia de exposición.

Según el conocimiento de los autores, este es el primer estudio que usa una metodología de análisis de riesgo usando simulación de Monte Carlo para estimar los riesgos no cancerígenos y cancerígenos asociados con el consumo de arroz blanco comercializado en Colombia. Finalmente, se sugiere realizar un muestreo con un tamaño de muestra mayor, que incluya otras marcas, ciudades, establecimientos de compra, y otro tipo de arroz (integral).

Conflictos de intereses

Johana Hussler y Sergio Mosquera declaran que no tienen ningún tipo de conflicto de interés.

Agradecimientos

Al Laboratorio Integrado de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de los Andes por la disposición de préstamo de materiales y equipos instrumentales, además de la capacitación en el manejo del ICP-OES, especialmente a Nancy Henao, Olga Lucía Gómez y Edna Lorena Delgado por su apoyo técnico.

Referencias

- [1] Naciones Unidas, “Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe,” *Naciones Unidas*. Cepal, Santiago, p. 50, 2016.
- [2] G. Echeverry-Prieto and M. I. Páez, “Evaluación de riesgo para la salud humana de una población vecina a un enterramiento de plaguicidas en la ciudad de Catagena de Indias,” Universidad del Valle, 2012.
- [3] H. Cao, J. Chen, J. Zhang, H. Zhang, L. Qiao, and Y. Men, “Heavy metals in rice and garden vegetables and their potential health risks to inhabitants in the vicinity of an industrial zone Jiangsu, China,” *Environ. Sci.*, vol. 22, no. 11, pp. 1792–1799, 2010.
- [4] Y. Qian, C. Chen, Q. Zhang, Y. Li, Z. Chen, and M. Li, “Concentrations of cadmium, lead, mercury

- and arsenic in Chinese market milled rice and associated population health risk,” *Food Control*, vol. 21, no. 12, pp. 1757–1763, 2010.
- [5] Instituto Nacional de Salud and Ministerio de Salud y Protección Social, “Perfil del riesgo de arsénico en arroz en Colombia,” *Unidad de evaluación de riesgos para la inocuidad de los alimentos- UERIA*, no. abril. Instituto Nacional de Salud, Bogota D.C., p. 63, 2013.
- [6] Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, “Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia.” ISBN 958-623-087-2, Bogotá D.C., p. 466, 2005.
- [7] J. D. Mahecha Pulido, J. M. Trujillo-González, and M. A. Torres-Mora, “Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari , Departamento del Meta,” *Orinoquía-Universidad los Llanos*, vol. 19, no. 1, pp. 118–122, 2015.
- [8] M. Yacomelo-Hernandez and R. Zapata, “Riesgo toxicológico en personas expuestas, a suelos y vegetales, con posibles concentraciones de metales pesados, en el sur del Atlántico, Colombia,” Universidad Nacional de Colombia, 2014.
- [9] M. del P. Urango-Baquero and J. L. Marrugo-Negrete, “Estrategias para disminuir la absorción de mercurio en arroz (*Oryza sativa*) cultivado en suelos contaminados.” Universidad de Córdoba, Montería, p. 10, 2017.
- [10] International Agency for Research on Cancer, “List of classifications by cancer sites with sufficient or limited evidence in humans.” World Health Organization, Francia, pp. 1–9, 2018.
- [11] International Agency for Research on Cancer, “Agents Classified by the IARC Monographs , Volumes 1 – 123.” World Health Organization, Francia, pp. 1–17, 2018.
- [12] M. Korenovská, “Determination of arsenic , antimony , and selenium by FI-HG-AAS in foods consumed in Slovakia,” vol. 45, no. 2, pp. 84–88, 2006.
- [13] J. Fu *et al.*, “High levels of heavy metals in rice (*Oryza sativa* L.) from a typical E-waste recycling area in southeast China and its potential risk to human health,” *Chemosphere*, vol. 71, no. 7, pp. 1269–1275, 2008.
- [14] M. Y. Roleda *et al.*, “Variations in polyphenol and heavy metal contents of wild-harvested and cultivated seaweed bulk biomass: Health risk assessment and implication for food applications,” *Food Control*, vol. 95, pp. 121–134, 2019.
- [15] M. A. Rahman, M. M. Rahman, S. M. Reichman, R. P. Lim, and R. Naidu, “Heavy metals in Australian and imported rice and vegetables on sale in Australia: Health hazard,” *Ecotoxicol. Environmental Saf.*, vol. 100, pp. 53–60, 2014.
- [16] T. Llorente-Mirandes, R. Rubio, and J. F. López-Sánchez, “Inorganic arsenic determination in food: A review of analytical proposals and quality assessment over the last six years,” *Appl. Spectrosc.*, vol. 71, no. 1, pp. 25–69, 2017.
- [17] E. F. A. Brandon, P. J. C. M. Janssen, and L. De Wit-bos, “Arsenic : bioaccessibility from seaweed and rice , dietary exposure calculations and risk assessment,” *Food Addit. Contam.*, vol. 31, no. 12, pp. 1993–2003, 2014.
- [18] U.S. Environmental Protection Agency, *Guidelines for Carcinogen Risk Assessment*, EPA/600/R-. Washington: Office of Environmental Information, 2005.
- [19] M. Coates, *Crystal Ball 7.2*. Denver, Colorado, 2006.
- [20] Sectorial, “¿Cuántos almacenes de cadena hay en Colombia? (Infografía),” *Análisis, monitoreo y*

- evaluación de sectores*, 2017. [Online]. Available: <https://www.sectorial.co/informativa-almacenes-de-cadena/item/52640-¿cuántos-almacenes-de-cadena-hay-en-colombia-infografía>. [Accessed: 09-Apr-2019].
- [21] D. A. Delgado and K. L. Saavedra, “Industria molinera de arroz en colombia,” *Esc. Colomb. Ing. Julio Garavito*, p. 59, 2016.
- [22] “Marcas | Superintendencia de Industria y Comercio.” [Online]. Available: <https://www.sic.gov.co/marcas>. [Accessed: 09-Jun-2019].
- [23] California Environmental Protection Agency, “Microwave Assisted Digestion,” *Department of Toxic Substances Control*, no. 03.3051.00. pp. 1–12, 2018.
- [24] A. Maage, K. Julshamn, H. Skaar, K. Grobecker, L. Jorhem, and P. Fecher, “Determination of Arsenic, Cadmium, Mercury, and Lead by Inductively Coupled Plasma/Mass Spectrometry in Foods after Pressure Digestion: NMKL Interlaboratory Study,” *AOAC Int.*, vol. 90, no. 3, pp. 844–856, 2013.
- [25] CEM, “MARS 6: Method Note Compendium.” pp. 80–174, 2019.
- [26] B. Magnusson and U. Ornamark, *Eurachem Guide: The Fitness for Purpose of Analytical Methods- A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics*, 2nd ed., vol. 2, no. 978-91-87461-59-0. www.eurachem.org, 2014.
- [27] Codex Alimentarius and WHO, “General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed,” pp. 1–59, 2015.
- [28] Ministerio de Salud y Protección Social, “Resolución número 004506 de 2013,” *República de Colombia*. Bogotá D.C., pp. 1–10, 2013.
- [29] DANE, “Proyecciones de población 2005-2020 en Colombia. Tablas abreviadas de mortalidad nacionales y departamentales 1985-2020,” *Dep. Adm. Nac. Estadística*, pp. 1–224, 2007.
- [30] U.S. EPA, *Exposure Factors Handbook: 2011 Edition*, 2011th ed., no. EPA/600/R-09/052F. Washington: National Center for Environmental Assessment, 2011.
- [31] A. J. Hamilton, F. Stagnitti, R. Premier, A. M. Boland, and G. Hale, “Quantitative microbial risk assessment models for consumption of raw vegetables irrigated with reclaimed water,” *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 72, no. 5, pp. 3284–3290, 2006.
- [32] O. I. R. I. S. D. US EPA, “Lead and compounds (inorganic) CASRN 7439-92-1 | IRIS | US EPA, ORD.”
- [33] O. I. R. I. S. D. US EPA, “Arsenic, inorganic CASRN 7440-38-2 | IRIS | US EPA, ORD.”
- [34] O. I. R. I. S. D. US EPA, “Cadmium CASRN 7440-43-9 | IRIS | US EPA, ORD.”
- [35] G. Echeverry, A. M. Zapata, M. I. Páez, F. Méndez, and M. Peña, “Valoración del riesgo en salud en un grupo de población de Cali, Colombia, por exposición a plomo, cadmio, mercurio, ácido 2,4-diclorofenoxiacético y diuron, asociado al consumo de agua potable y alimentos,” *Biomédica*, vol. 35, no. 2, pp. 110–119, 2015.
- [36] I. Al-saleh and M. Abduljabbar, “Heavy metals (lead , cadmium , methylmercury , arsenic) in commonly imported rice grains (*Oryza sativa*) sold in Saudi Arabia and their potential health risk,” *Int. J. Hyg. Environ. Health*, pp. 1–38, 2017.
- [37] X. Hang, H. Wang, J. Zhou, C. Ma, C. Du, and X. Chen, “Risk assessment of potentially toxic element pollution in soils and rice (*Oryza sativa*) in a typical area of the Yangtze River Delta,”

- Environ. Pollut.*, vol. 157, no. 8–9, pp. 2542–2549, 2009.
- [38] OEHHA, “Appendix A : Hot Spots Unit Risk and Cancer Potency Values,” *California Office of Environmental Health Hazard Assessment*. pp. 1–5, 2019.
- [39] AOAC, “Heavy Metals in Food. Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry First Action 2015,” *AOAC Off. Method 2015.01*, pp. 1–15, 2015.
- [40] A. Mateus-García and J. P. Ramos-Bonilla, “Presence of lead in paint of toys sold in stores of the formal market of Bogotá, Colombia,” *Environ. Res.*, vol. 128, pp. 92–97, 2014.
- [41] D. L. Alonso, S. Latorre, E. Castillo, and P. F. B. Brandão, “Environmental occurrence of arsenic in Colombia: A review,” *Environ. Pollut.*, vol. 186, pp. 272–281, 2014.
- [42] S. Méndez Fajardo, J. A. Lara Borrero, G. Moreno, and A. Ayala, “Estudio preliminar de los niveles de cadmio en arroz, frijoles y lentejas distribuidos en supermercados de Bogotá y plazas de Manizales,” *Fitotec. Colomb.*, vol. 7, no. 2, pp. 40–47, 2007.
- [43] R. Alfaro, E. García, and O. Montenegro, “Niveles de contaminación de mercurio, cadmio, arsénico y plomo en subsistemas de producción de la cuenca baja del río Bogotá,” *Rev. U.D.C.A Actual. y Divulg. científica*, vol. 4, no. 2, pp. 66–71, 2002.
- [44] M. Argumedo, C. Vergara, J. Vidal, and J. L. Marrugo-Negrete, “Evaluación de la concentración de mercurio en arroz (*Oryza sativa*) crudo y cocido procedente del municipio de San Marcos–Sucre y zona aurífera del municipio de Ayapel–Córdoba,” *Rev. la Univ. Ind. Santander. Salud*, vol. 47, no. 2, pp. 169–177, 2015.
- [45] M. Naseri, Z. Rahmanikhah, V. Beiygloo, and S. Ranjbar, “Effects of two cooking Methods on the concentrations of some heavy metals (Cadmium, Lead, Chromium, Nickel and Cobalt) in some rice brands available in Iranian market,” *Chem. Heal. Risks*, vol. 4, no. 2, pp. 65–72, 2014.
- [46] B. L. Batista, L. R. Nacano, R. de Freitas, V. C. de Oliveira-Souza, and F. Barbosa, “Determination of Essential (Ca, Fe, I, K, Mo) and Toxic Elements (Hg, Pb) in Brazilian Rice Grains and Estimation of Reference Daily Intake,” *Food Nutr. Sci.*, vol. 03, pp. 129–134, 2012.
- [47] P. N. Williams *et al.*, “Greatly enhanced arsenic shoot assimilation in rice leads to elevated grain levels compared to wheat and barley,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 41, no. 19, pp. 6854–6859, 2007.
- [48] Y. He, C. E. Pedigo, B. Lam, Z. Cheng, and Y. Zheng, “Bioaccessibility of arsenic in various types of rice in an in vitro gastrointestinal fluid system,” *Environ. Sci. Heal. - Part B Pestic. Food Contam. Agric. Wastes*, vol. 47, no. 2, pp. 74–80, 2012.
- [49] S. Ruangwises, P. Saipan, B. Tengjaroenkul, and N. Ruangwises, “Total and inorganic arsenic in rice and rice bran purchased in Thailand,” *Food Prot.*, vol. 75, no. 4, pp. 771–774, 2012.
- [50] S. Nookabkaew, N. Rangkadilok, C. Mahidol, G. Promsuk, and J. Satayavivad, “Determination of arsenic species in rice from Thailand and other Asian countries using simple extraction and HPLC-ICP-MS analysis,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 61, no. 28, pp. 6991–6998, 2013.
- [51] R. R. Rasmussen, Y. Qian, and J. J. Sloth, “SPE HG-AAS method for the determination of inorganic arsenic in rice - results from method validation studies and a survey on rice products,” *Anal. Bioanal. Chem.*, vol. 405, no. 24, pp. 7851–7857, 2013.
- [52] E. M. Rintala, P. Ekholm, P. Koivisto, K. Peltonen, and E. R. Venäläinen, “The intake of inorganic arsenic from long grain rice and rice-based baby food in Finland - Low safety margin warrants follow up,” *Food Chem.*, vol. 150, pp. 199–205, 2014.

- [53] A. Sommella, C. Deacon, G. Norton, M. Pigna, A. Violante, and A. A. Meharg, “Total arsenic, inorganic arsenic, and other elements concentrations in Italian rice grain varies with origin and type,” *Environ. Pollut.*, vol. 181, pp. 38–43, 2013.
- [54] EFSA, “Scientific Opinion on Arsenic in Food,” *Eur. Food Saf. Auth.*, vol. 7, no. 10, pp. 1–148, 2009.
- [55] WHO, “Evaluation of certain contaminants in food.” Seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive, Geneva, Switzerland, pp. 9–64, 2011.
- [56] B. Booth, “Cancer rates attributable to arsenic in rice vary globally,” *Environ. Sci. Technol.*, pp. 1243–1244, 2009.
- [57] U.S. EPA, “User’s Guide for the Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model for Lead in Children (IEUBK),” *The Technical Review Workgroup for Metals and Asbestos (TRW)*. New York, pp. 1–59, 2007.
- [58] NTP, “NTP Monograph: Health Effects of Low-Level Lead.” National Toxicology Program, pp. 1–176, 2012.
- [59] H. Needleman, “Low Level Lead Exposure: History and Discovery,” *Ann. Epidemiol.*, vol. 19, no. 4, pp. 235–238, 2009.
- [60] W. Wang, D. A. Schaumberg, and S. K. Park, “Cadmium and lead exposure and risk of cataract surgery in U.S. adults,” *Int. J. Hyg. Environ. Health*, vol. 219, no. 8, pp. 850–856, 2016.
- [61] Q. Zhang *et al.*, “Cadmium-induced immune abnormality is a key pathogenic event in human and rat models of preeclampsia,” *Environ. Pollut.*, vol. 218, pp. 770–782, 2016.
- [62] B. Ahn, S. H. Kim, and M. J. Park, “Blood cadmium concentrations in Korean adolescents: From the Korea National Health and Nutrition Examination Survey 2010–2013,” *Int. J. Hyg. Environ. Health*, vol. 220, no. 1, pp. 37–42, 2017.
- [63] “El top 5 de las marcas preferidas por los colombianos.” [Online]. Available: <https://www.revistapym.com.co/el-top-5-de-las-marcas-preferidas-por-los-colombianos>. [Accessed: 06-May-2019].
- [64] H. Gutierrez-Pulido and R. Vara Salazar, *Análisis y diseño de experimentos*, 2nd ed., vol. 2, no. 970-10-6526–3. México, D.F., 2008.
- [65] T. D. Martin, C. A. Brockhoff, J. T. Creed, and E. M. W. Group, “Method 200.7, Revision 4.4: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry,” *United States Environmental Protection Agency*, vol. Method 200, no. 4.4. pp. 1–58, 1994.
- [66] K. Kubachka, N. Shockey, T. Hanley, S. Conklin, and H. Douglas, “Arsenic Speciation in Rice and Rice Products Using High Performance Liquid Chromatography- Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometric Determination,” in *Elemental Analysis Manual for Food and Related Products*, vol. 1, U.S. Department of Health and Human Services, 2012, pp. 3–24.
- [67] W. Mindak and S. Dolan, “Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometric Determination of Elements in Food Using Microwave Assisted Digestion,” in *Elemental Analysis Manual for Food and Related Products*, vol. 1, U.S. Department of Health and Human Services, 2010, pp. 1–36.
- [68] AOAC, “Annex I : Validation Study Protocols.” pp. 1–27, 2011.

Material Suplementario

La siguiente tabla relaciona las muestras compradas en los diferentes supermercados (S) con respecto al porcentaje de ventas de cada organización agroindustrial del arroz (OA).

Tabla Suplementaria 1. Número de muestras compradas durante el muestreo de la investigación en función de la organización del sector y de acuerdo con el almacén de cadena (Supermercado, S)

Organización Agroindustrial de arroz (OA)	% ventas (OA)	Supermercados (S)							
		<i>(% respecto a los puntos de venta total en el país año 2017)</i>							
		S1 (23.0)	S2 (15.6)	S3 (13.0)	S4 (11.1)	S5 (11.1)	S6 (7.0)	S7 (5.1)	S8 (3.8)
OA1	28.4	5	2	x	1	4	1	x	1
OA2	26.7	x	5	4	1	x	1	x	x
OA3	6.4	x	x	2	x	x	x	x	1
OA4	5.2	x	x	1	x	x	1	1	x
OA5	3.6	x	2	x	x	x	x	x	x
OA6	3.4	x	x	x	x	x	x	1	x
OA7	2.4	x	x	x	x	1	x	x	x
OA8	1.9	x	x	1	x	x	x	x	x
OA9	17.2	x	2	1	3	x	1	1	x
*Número de muestras		5	11	9	5	5	4	3	2

*Total de muestras calculado de $n = (Z^2_{\alpha/2})(p)(q)/d^2$. Donde $Z^2_{\alpha/2}$ es el valor requerido para un nivel de confianza (1.96 para un 95%), p y q son las fracciones de encontrar la mitad de las muestras contaminadas, d es la precisión seleccionada para este estudio (15%) determinado de la fracción del límite de detección del método ($32.2 \mu\text{g Kg}^{-1}$) con el valor máximo permisible en arroz blanco según del Codex Alimentarius ($200 \mu\text{g Kg}^{-1}$)

Se realizó la estandarización del método analítico por medio de la aplicación del diseño experimental Taguchi ortogonal L8 de siete factores, cada uno con dos niveles (-1, +1) (ver Tabla S2). Y con los resultados relevantes de este diseño, se establece el método con base en porcentajes de recuperación en muestras fortificadas.

Tabla Suplementaria 2. Variables seleccionadas para el diseño de Taguchi

Factores	Codificado	-1	+1
Volumen HCl concentrado (mL)	A	3	5
Volumen HNO ₃ concentrado(mL)	B	5	10
Volumen H ₂ O ₂ 30 % v/v (mL)	C	0	2
Temperatura microondas (°C)	D	175	210
Rampa de temperatura (min),	E	5:30	20:00
Hold de temperatura (min)	F	4:30	15:00
Potencia de microondas (W)	G	1250	1650

La secuencia de las corridas fue aleatoria para reducir el sesgo, cada experimento se realizó por duplicado y cada ensayo tuvo un blanco. Las cantidades evaluadas en cada factor fueron elegidas consecuencia de una revisión bibliográfica del proceso de preparación de muestras de arroz blanco [4], [13], [16]. Para el análisis del diseño se utilizó como variable de respuesta los valores del cociente o razón señal/ruido (S/N), arrojados por el programa Minitab 16 que se calculan a partir de los porcentajes de recuperación.

Tabla Suplementaria 3. Líneas espectrales utilizadas en el ICP-OES para la cuantificación de As, Cd y Pb en arroz blanco

Elemento	Línea Espectral de Cuantificación (nm)	Líneas Espectrales de interferencias (nm)	
		1	2
Arsénico	193.7	189.0	197.2
Cadmio	226.5	214.4	228.8
Plomo	220.3	216.9	283.3

Tabla Suplementaria 4. Peso corporal (Kg) y tasa de ingestión (g día⁻¹) para diferentes grupos etarios del género masculino

Grupo Etario	Individuos que consumen			Tasa ingestión individuo, g día ⁻¹			Peso corporal, Kg		
	Años	%	IC _{95%}	promedio	IC _{95%}	promedio	promedio	IC _{95%}	IC _{95%}
General	73.8	73.0	74.7	189.4	188.7	190.1	68.6	68.2	69.0
2-3	74.9	71.5	78.4	86.2	81.4	90.4	11.7*	8.6	15.4
4-8	77.0	75.0	79.0	134.9	132.2	137.6	20.2*	13.6	27.9
9-13	76.7	74.7	78.6	196.4	192.2	200.6	34.6*	25.2	48.2
14-18	75.6	73.5	77.8	238.7	233.1	244.4	53.6*	41.2	69.5
19-50	72.8	70.9	74.6	204.2	201.0	207.4	68.9*	68.2	75.8
51-64	69.8	65.1	74.6	163.8	147.8	179.8	69.5*	64.5	74.2

*Valores calculados de la ponderación de la Encuesta realizada a diferentes grupos etarios

La Tabla S5 enumera los diferentes valores para calcular el factor de exposición EF. La fracción de tiempo expuesto se calculó al realizar la suposición que las personas consumen arroz seis días a la semana y durante el año (cincuenta y dos semanas) sólo en dos semanas no lo consume, es decir, considerando el tiempo como vacaciones; el periodo de tiempo interés expuesto (años) se calculó tomando el valor de diferencia entre el rango de edad de cada grupo etario y por último el tiempo de ponderación (años) se determinó con base en la dosis diaria promedio a calcular, es decir, para la ADD es igual al período de tiempo interés expuesto y para la LADD es 70 años [29].

Tabla Suplementaria 5. Valores para calcular el factor de exposición EF en las ecuaciones (1) y (2), valores usados para el género femenino como masculino

Grupo Etario	Fracción tiempo expuesto, adimensional		Periodo de tiempo interés expuesto, años		Tiempo de ponderación, años	
	NC	C	NC	C	NC	C
Años 2-3	0.824	0.824	2	2	2	70
4-8	0.824	0.824	5	5	5	70
9-13	0.824	0.824	5	5	5	70
14-18	0.824	0.824	5	5	5	70
19-50	0.824	0.824	32	32	32	70
51-64	0.824	0.824	14	14	14	70

*NC= No cancerígeno, C=Cancerígeno

El arroz blanco usado en la estandarización y validación de la metodología analítica fue de una marca de arroz blanco de alto consumo en el país [63]. Para la estandarización se empleó el análisis del diseño experimental Taguchi, se utilizó la relación señal/ruido (S/N) como una medida de robustez que sirvió para identificar la importancia del factor evaluado en la metodología de preparación de muestra [64], se obtuvo las relaciones S/N para cada factor evaluado en el diseño experimental (ver Tabla S2). En los resultados con base en los porcentajes de recuperación de As en muestras fortificadas; se observó el valor delta, que es la diferencia entre el valor más alto y bajo sobre el valor de la variable de respuesta (relaciones S/N), y el escalafón, que ordena los factores del efecto más grande al efecto más pequeño, donde el factor más relevante “1” menos relevante “7”, con este diseño los tres factores más relevantes para la digestión asistida por microondas fueron, la cantidad de 5 mL HNO₃, 2mL H₂O₂ y 210°C.

Tabla Suplementaria 6. Media de las relaciones señal/ruido en cada nivel individual para la cuantificación As.

Nivel	As (factores)						
	A	B	C	D	E	F	G
1 (-1)	36.72	35.78	35.89	35.95	37.00	36.54	37.13
2 (+1)	36.68	37.62	37.52	37.45	36.41	36.86	36.28
Delta	0.05	1.84	1.63	1.49	0.59	0.32	0.85
Escalafón	7	1	2	3	5	6	4

Los tres factores más relevantes arrojaron los mejores resultados de porcentaje de recuperación (>85%), y estos son los valores con más frecuencia en escalafón para los tres metales. En algunas investigaciones se considera la adición de H₂O₂ por su fuerte capacidad de oxidar materia orgánica [4], [13], y la mezcla con HNO₃ permite obtener menores interferencias en la medición de metales traza, con respecto a la temperatura algunos alimentos son sometidos a altas temperaturas para favorecer el proceso de liberación de metales, por lo que estos resultados son coherentes con evaluaciones ya reportadas [4], [13], [14].

Tabla Suplementaria 7. Datos analíticos de la validación

Metal	Linealidad		LDM (µg/Kg)	LCM (µg/Kg)	Límites máximos Permisibles (µg/Kg)	Precisión		Exactitud (% R)
	Rango lineal (µg/Kg)	R ²				CV (%) (n=9) Estándar	CV (%) (n=9) Muestra	
	Arsénico Total	50-5000				0.9987	33.3	
Cadmio	50-10000	0.9997	32.2	99.2	200	1.2	4.0	82±4
Plomo	200-10000	0.9999	154.9	327.7	200	0.6	7.9	85±8
Criterios de Aceptación [65]	R ² >0.99[26]	-	-	-	-	<5% [66], [67]	<10% [66], [67]	100±10%* 100±20%** [39], [68]

*Aplica a MRC (Material de referencia certificado) y concentraciones > 10 mg kg⁻¹ **Aplica a blancos, matrices fortificadas y concentraciones <10 mg kg⁻¹

Las incertidumbres determinadas en el método analítico para arsénico, cadmio y plomo, expresadas en porcentaje de %CV, fueron 5.3, 11.9 y 33.2 %, respectivamente. Las incertidumbres de los valores promedio de concentración usadas en las simulaciones Monte Carlo para arsénico, cadmio y plomo son equivalentes a 1.6 µg Kg⁻¹, 8.4 µg Kg⁻¹ y 27.6 µg Kg⁻¹ respectivamente.

Tabla Suplementaria 8. Dosis diaria promedio y dosis diaria promedio de por vida estimadas con simulaciones Monte Carlo asociadas con el consumo de arroz blanco que contiene As, Cd y Pb. Valores promedio, mediana, DE y rangos con IC_{95%} para diferentes grupos etarios en mujeres.

Grupo Etario	Elemento tóxico	Dosis diaria Promedio <i>ADD</i> ($\mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$)			
		Media estimada	Mediana estimada	DE estimada	IC _{95%}
2-3	As	0.517	0.228	0.972	0.019-2.785
	Cd	1.204	0.719	1.544	0.078-5.368
	Pb	2.761	1.666	3.496	0.219-12.033
4-8	As	0.342	0.167	0.617	0.017-1.818
	Cd	0.812	0.529	0.983	0.075-3.184
	Pb	1.865	1.238	2.143	0.215-7.312
9-13	As	0.197	0.112	0.263	0.015-0.900
	Cd	0.462	0.359	0.378	0.068-1.437
	Pb	1.056	0.834	0.823	0.210-3.133
14-18	As	0.130	0.085	0.150	0.014-0.512
	Cd	0.304	0.275	0.164	0.070-0.693
	Pb	0.694	0.625	0.342	0.234-1.530
19-50	As	0.098	0.064	0.111	0.010-0.398
	Cd	0.233	0.206	0.138	0.049-0.579
	Pb	0.527	0.465	0.287	0.164-1.246
51-64	As	0.065	0.044	0.069	0.008-0.253
	Cd	0.154	0.149	0.067	0.039-0.302
	Pb	0.354	0.339	0.133	0.149-0.647
General	As	0.075	0.052	0.074	0.010-0.365
	Cd	0.181	0.179	0.068	0.051-0.321
	Pb	0.415	0.413	0.129	0.206-0.647
Grupo Etario	Elemento tóxico	Dosis diaria Promedio de por Vida <i>LADD</i> ($\mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$)			
		Media estimada	Mediana estimada	DE estimada	IC _{95%}
2-3	As	0.015	0.007	0.028	0.002-0.025
	Cd	0.034	0.021	0.044	0.002-0.153
	Pb	0.079	0.048	0.100	0.006-0.344
4-8	As	0.024	0.012	0.044	0.002-0.032
	Cd	0.058	0.038	0.070	0.005-0.227
	Pb	0.133	0.088	0.153	0.015-0.522
9-13	As	0.014	0.008	0.019	0.002-0.048
	Cd	0.033	0.026	0.027	0.005-0.103
	Pb	0.075	0.060	0.059	0.015-0.224
14-18	As	0.009	0.006	0.011	0.002-0.050
	Cd	0.022	0.020	0.012	0.005-0.049
	Pb	0.050	0.045	0.024	0.017-0.109
19-50	As	0.045	0.029	0.051	0.002-0.199
	Cd	0.106	0.094	0.063	0.022-0.265
	Pb	0.241	0.213	0.131	0.075-0.570
51-64	As	0.013	0.009	0.014	0.002-0.099
	Cd	0.031	0.030	0.013	0.008-0.060
	Pb	0.071	0.068	0.027	0.030-0.129
General	As	0.067	0.047	0.066	0.008-0.215
	Cd	0.163	0.161	0.061	0.046-0.289
	Pb	0.373	0.371	0.116	0.185-0.583

Tabla Suplementaria 9. Dosis diaria promedio y dosis diaria promedio de por vida estimadas con simulaciones Monte Carlo asociadas con el consumo de arroz blanco que contiene As, Cd y Pb. Valores promedio, mediana, DE y rangos con IC_{95%} para diferentes grupos etarios en hombres

Grupo Etario	Elemento tóxico	Dosis diaria Promedio <i>ADD</i> ($\mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$)			
		Media estimada	Mediana estimada	DE estimada	IC _{95%}
2-3	As	0.342	0.172	0.572	0.017-1.669
	Cd	0.805	0.557	0.852	0.082-3.038
	Pb	1.873	1.292	1.923	0.232-7.047
4-8	As	0.310	0.159	0.499	0.016-1.583
	Cd	0.743	0.507	0.802	0.072-2.851
	Pb	1.677	1.159	1.748	0.209-6.205
9-13	As	0.207	0.120	0.289	0.015-0.901
	Cd	0.490	0.377	0.408	0.066-1.545
	Pb	1.123	0.877	0.903	0.214-3.411
14-18	As	0.132	0.084	0.155	0.013-0.550
	Cd	0.309	0.269	0.192	0.064-0.789
	Pb	0.708	0.625	0.392	0.00-1.460
19-50	As	0.080	0.054	0.085	0.009-0.310
	Cd	0.190	0.175	0.096	0.048-0.422
	Pb	0.437	0.402	0.200	0.000-0.817
51-64	As	0.061	0.041	0.064	0.008-0.235
	Cd	0.140	0.135	0.058	0.037-0.268
	Pb	0.322	0.310	0.116	0.000-0.529
General	As	0.069	0.048	0.070	0.009-0.249
	Cd	0.161	0.160	0.061	0.046-0.285
	Pb	0.369	0.366	0.115	0.000-0.557
Grupo Etario	Elemento tóxico	Dosis diaria Promedio de por Vida <i>LADD</i> ($\mu\text{g Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$)			
		Media estimada	Mediana estimada	DE estimada	IC _{95%}
2-3	As	0.010	0.005	0.016	0.001-0.198
	Cd	0.023	0.016	0.024	0.002-0.087
	Pb	0.054	0.037	0.055	0.007-0.201
4-8	As	0.022	0.011	0.036	0.001-0.113
	Cd	0.053	0.036	0.057	0.005-0.204
	Pb	0.120	0.083	0.125	0.015-0.443
9-13	As	0.015	0.009	0.021	0.001-0.064
	Cd	0.035	0.027	0.029	0.005-0.110
	Pb	0.080	0.063	0.065	0.015-0.244
14-18	As	0.009	0.006	0.011	0.001-0.039
	Cd	0.022	0.019	0.014	0.005-0.056
	Pb	0.051	0.047	0.028	0.015-0.121
19-50	As	0.036	0.025	0.039	0.004-0.142
	Cd	0.087	0.080	0.044	0.022-0.193
	Pb	0.156	0.150	0.074	0.074-0.421
51-64	As	0.012	0.008	0.013	0.002-0.047
	Cd	0.028	0.027	0.012	0.007-0.054
	Pb	0.064	0.062	0.023	0.029-0.115
General	As	0.062	0.043	0.063	0.008-0.224
	Cd	0.145	0.144	0.055	0.041-0.256
	Pb	0.332	0.329	0.104	0.163-0.524

Tabla Suplementaria 10. Riesgo no cancerígeno (*MOE*) y la probabilidad de riesgo cancerígeno (*RC*) estimados con simulaciones Monte Carlo asociados con el consumo de arroz blanco que contiene As, Cd y Pb. Valores promedio, mediana, DE y rangos con IC_{95%} para diferentes grupos etarios en mujeres.

Grupo Etario	Elemento tóxico	<i>Riesgo no cancerígeno (MOE)</i>			
		Media estimada	Mediana estimada	DE estimada	IC _{95%}
2-3	As	7.949	3.512	17.983	0.000-28.085
	Cd	28.342	13.908	93.777	1.861-128.780
	Pb	3.663	2.142	5.108	0.296-16.272
4-8	As	9.678	4.800	16.657	0.000-33.713
	Cd	31.711	18.909	50.295	3.140-132.811
	Pb	4.321	2.885	4.786	0.488-16.583
9-13	As	12.086	7.111	15.979	0.000-38.969
	Cd	46.096	27.891	318.722	6.953-147.046
	Pb	5.539	4.283	4.450	1.138-17.000
14-18	As	14.549	9.381	16.432	0.000-43.591
	Cd	72.737	36.426	177.50	14.430-143.701
	Pb	6.520	5.715	3.445	2.332-15.256
19-50	As	19.499	12.538	22.851	0.000-58.523
	Cd	69.638	48.540	226.959	17.257-202.707
	Pb	8.916	7.677	5.027	2.864-21.814
51-64	As	25.984	18.102	27.344	0.000-73.394
	Cd	95.072	67.216	660.442	33.073-255.484
	Pb	11.741	10.541	4.879	5.515-23.966
General	As	21.647	15.405	23.305	0.000-59.404
	Cd	77.424	55.886	360.889	31.179-193.049
	Pb	9.601	8.655	3.354	5.512-17.327

Grupo Etario	Elemento tóxico	<i>Riesgo cancerígeno (RC), expresado en 10⁻⁶</i>			
		Media estimada	Mediana estimada	DE estimada	IC _{95%}
2-3	As	16.98	7.27	32.07	3.70-30.00
	Cd	0.150	0.091	0.200	0.013-0.150
	Pb	0.50	0.30	0.64	0.04-2.20
4-8	As	28.11	14.52	52.24	3.66-41.00
	Cd	0.27	0.17	0.33	0.014-0.300
	Pb	0.87	0.57	1.00	0.099-3.5
9-13	As	16.51	9.32	22.12	3.80-58.00
	Cd	0.15	0.12	0.13	0.013-0.669
	Pb	0.49	0.38	0.39	0.095-1.5
14-18	As	10.22	7.14	11.56	3.70-75.00
	Cd	0.098	0.088	0.055	0.0013-0.150
	Pb	0.32	0.29	0.16	0.10-0.72
19-50	As	49.37	32.24	54.68	3.71-165.36
	Cd	0.46	0.41	0.28	0.06-1.10
	Pb	1.50	1.30	8.30	0.45-3.60
51-64	As	14.11	9.51	14.74	3.71-96.00
	Cd	0.13	0.12	0.058	0.05-1.12
	Pb	0.42	0.40	0.17	0.17-0.79
General	As	75.05	51.19	74.75	12.96-322.87
	Cd	0.72	0.71	0.28	0.18-1.30
	Pb	2.30	2.30	0.77	1.10-3.90

Tabla Suplementaria 11. Riesgo no cancerígeno (*MOE*) y la probabilidad de riesgo cancerígeno (*RC*) estimados con simulaciones Monte Carlo asociados con el consumo de arroz blanco que contiene As, Cd y Pb. Valores promedio, mediana, DE y rangos con IC_{95%} para diferentes grupos etarios en hombres

Grupo Etario	Elemento tóxico	<i>Riesgo no cancerígeno (MOE)</i>			
		Media estimada	Mediana estimada	DE estimada	IC _{95%}
2-3	As	9.175	4.659	15.705	0.000-31.940
	Cd	30.694	17.952	64.265	3.283-121.628
	Pb	4.058	2.762	4.254	0.507-15.332
4-8	As	9.848	5.020	15.751	0.000-34.091
	Cd	35.632	19.710	187.481	3.503-138.686
	Pb	4.500	3.079	4.713	0.575-17.051
9-13	As	11.715	6.666	17.076	0.000-38.212
	Cd	41.542	26.527	102.078	6.469-150.663
	Pb	5.260	4.070	4.269	1.043-16.648
14-18	As	14.977	9.481	18.243	0.000-44.981
	Cd	54.648	37.151	293.735	12.659-155.036
	Pb	6.725	5.711	3.964	2.098-17.060
19-50	As	22.187	14.665	25.487	0.000-66.398
	Cd	76.465	56.999	119.792	23.799-223.552
	Pb	10.036	8.890	4.845	3.876-22.118
51-64	As	28.026	19.322	30.100	0.000-79.952
	Cd	98.022	74.019	187.121	37.288-269.944
	Pb	12.731	11.508	5.012	6.213-24.785
General	As	23.765	16.733	23.496	0.000-66.126
	Cd	91.773	62.465	493.406	35.118-218.659
	Pb	10.813	9.751	3.818	6.131-19.643
Grupo Etario	Elemento tóxico	<i>Riesgo cancerígeno (RC), expresado en 10⁻⁶</i>			
		Media estimada	Mediana estimada	DE estimada	IC _{95%}
2-3	As	10.99	5.48	18.50	0.26-39.23
	Cd	0.10	0.07	0.11	0.02-1.30
	Pb	0.34	0.23	0.35	0.04-1.30
4-8	As	25.55	13.01	41.89	1.28-38.12
	Cd	0.24	0.17	0.27	0.03-1.30
	Pb	0.78	0.54	0.83	0.09-1.90
9-13	As	17.01	9.84	24.04	1.19-37.52
	Cd	1.60	1.20	1.40	0.03-1.29
	Pb	0.52	0.41	0.43	0.09-1.61
14-18	As	10.66	6.79	12.65	1.01-45.20
	Cd	0.10	0.09	0.06	0.02-0.28
	Pb	0.33	0.28	0.18	0.09-0.78
19-50	As	39.84	27.02	42.98	1.01-116.60
	Cd	0.38	0.36	0.19	0.02-1.75
	Pb	1.23	1.12	0.58	0.44-2.65
51-64	As	12.81	8.61	13.73	1.01-39.80
	Cd	0.12	0.11	0.05	0.02-0.22
	Pb	0.38	0.36	0.14	0.16-0.70
General	As	68.32	47.34	70.89	8.92-248.90
	Cd	0.64	0.63	0.25	0.02-1.09
	Pb	2.08	2.04	0.69	0.97-3.48

Tabla Suplementaria 12. Concentraciones estimadas recomendadas, para que no exista riesgo cancerígeno usando simulaciones Monte Carlo, de arsénico, cadmio y plomo. Valores promedio, mediana, DE y rangos con IC_{95%} para diferentes grupos etarios. Se asume un valor de RC= 1×10^{-6} , fracción de tiempo expuesto=1 y se utilizan los valores de CSF de la tabla 3.

Grupo Etario	Elemento tóxico	Concentraciones* en $\mu\text{g Kg}^{-1}$			
		Media estimada	Mediana estimada	DE estimada	IC _{95%}
2-3	As	2.73	1.76	3.15	0.29-10.94
	Cd	682.65	439.32	788.43	72.62-2736.15
	Pb	481.87	310.11	556.54	51.26-1931.40
4-8	As	1.36	0.95	1.42	0.18-4.93
	Cd	340.96	236.33	355.22	46.07-1231.83
	Pb	240.67	166.82	250.74	32.52-869.53
9-13	As	1.76	1.44	1.22	0.42-4.91
	Cd	438.80	361.05	306.00	105.24-1226.75
	Pb	309.74	254.86	216.00	74.28-865.94
14-18	As	2.02	1.89	0.75	0.93-3.91
	Cd	504.81	472.37	188.61	232.85-977.32
	Pb	356.34	333.43	133.13	164.36-689.88
19-50	As	0.44	0.40	0.19	0.18-0.90
	Cd	109.08	99.93	47.52	44.03-226.06
	Pb	77.00	70.54	33.54	31.08-159.57
51-64	As	1.31	1.28	0.29	0.84-1.97
	Cd	328.05	319.52	72.59	209.64-492.12
	Pb	321.56	225.54	51.24	147.98-347.38

*Valores según género femenino

Tabla Suplementaria 13. Riesgo no cancerígeno (MOE) y la probabilidad de riesgo cancerígeno (RC) estimados con simulaciones Monte Carlo asociados con el consumo de arroz blanco que contiene Pb. Valores promedio, mediana, DE y rangos con IC_{95%} para hombres (MOE) y mujeres (RC). No se considera las dos muestras por encima del LDM.

Grupo Etario	Elemento tóxico	Riesgo no cancerígeno (MOE)			
		Media estimada	Mediana estimada	DE estimada	IC _{95%}
2-3	Pb	5.377	3.800	5.529	0.702-19.322
General		14.073	13.552	3.147	9.473-20.849
Grupo Etario	Elemento tóxico	Riesgo cancerígeno (RC), expresado en 10^{-6}			
19-50	Pb	1.10	0.96	0.52	0.39-2.40
General		1.69	1.64	0.35	1.00-2.48