

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**



**“Determinación cuantitativa de arsénico total en arroz comercializado
en la ciudad de Guatemala por espectrofotometría de absorción (HG-
AAS)”**

Laura Esther Valiente Palma

Química Farmacéutica

Guatemala, mayo de 2018

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

**“Determinación cuantitativa de arsénico total en arroz comercializado
en la ciudad de Guatemala por espectrofotometría de absorción (HG-
AAS)”**

Informe de Tesis

Presentado por

Laura Esther Valiente Palma

Para optar al título de

Química Farmacéutica

Guatemala, mayo de 2018

JUNTA DIRECTIVA

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda	Decano
M.A. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza	Secretaria
MSc. Miriam Carolina Guzmán Quilo	Vocal I
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Andreina Delia Irene López Hernández	Vocal IV
Br. Carol Andrea Betancourt Herrera	Vocal V

DEDICATORIA

A Dios, creador de la vida y forjador de mi camino.

A mis padres, Efren y Laura por la oportunidad de estudiar y nunca cortarme las alas

A mis hermanos Iván Roehli, Madelin y Manuel Iván por creer en mí.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por concederme la vida, por acompañarme, guiarme y darme la fuerza para alcanzar mis metas y permitirme llegar a este momento tan especial.

A mis padres Efre y Laura por su amor incondicional, por su apoyo y por brindarme las oportunidades necesarias para ser una mejor persona. No existen palabras que alcancen a expresar todo el agradecimiento y amor que siento por ustedes.

A mis hermanos Madelin y Manuel Iván por ser los mejores hermanos que la vida pudo darme, por consentirme, apoyarme, aconsejarme, creer en mí, ayudarme cuando algo se me dificultaba, y compartir mis buenos y malos momentos. Los quiero con toda mi alma.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala y pueblo de Guatemala, por permitirme formarme como Química Farmacéutica, en especial a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Al Departamento de Toxicología “Julio Valladares Márquez” al Centro de Información y Asesoría Toxicológica -CIAT- y al Laboratorio de Toxicología por permitirme realizar mi proyecto de investigación.

A las licenciadas Carolina Guzmán y Gabriela Chaulón por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo y por el tiempo y esfuerzo invertido en el mismo.

A todos mis catedráticos, por sus valiosas enseñanzas.

A mis compañeros de estudio y amigos, por los buenos momentos compartidos y por el apoyo que me brindaron.

ÍNDICE

	Pág.
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN	3
III. ANTECEDENTES	5
IV. JUSTIFICACIÓN	9
V. OBEJTIVOS	10
VI. HIPÓTESIS	11
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	12
VIII. RESULTADOS	17
IX. DISCUSIÓN	24
X. CONCLUSIONES	28
XI. RECOMENDACIONES	30
XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
XIII ANEXOS	37

1. RESUMEN

El arroz constituye la base de la dieta para la mitad de la población mundial, especialmente en los países en vías de desarrollo en los cuales llega a aportar hasta el 70% de la energía diaria. Es una matriz compleja formada por carbohidratos, proteínas, grasas, fibra y minerales. Este cereal, sin embargo, contiene también elementos traza tóxicos como el arsénico (As); la contaminación del cultivo de arroz con As puede presentarse a través del suelo, el agua utilizada durante el cultivo (riego, preparación de plaguicidas), y factores especiales asociados a otras actividades antropogénicas. Es importante su determinación ya que se ha demostrado que la exposición a largo plazo se asocia con la aparición de lesiones cutáneas, neuropatía periférica, síntomas gastrointestinales, aumento en el riesgo de diabetes, efectos sobre el sistema renal, enfermedades cardiovasculares y cáncer.

Los objetivos de este estudio fueron determinar la presencia de arsénico total en arroz que se comercializa en las cadenas de supermercados de la ciudad de Guatemala; evaluar si el contenido detectado en las muestras, se encuentra dentro del límite máximo dictado por la comisión del Codex Alimentarius y el Reglamento de la Unión Europea y generar un informe técnico que describa, el método analítico para la determinación de arsénico total en arroz y los resultados encontrados para el Departamento de productos de origen vegetal del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- y el Departamento de Regulación y Control de Alimentos del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social -MSPAS-.

Se utilizaron patrones de arsénico a distintas concentraciones preparados a partir de un estándar de referencia certificado el cual contiene una concentración de 1000mg/L trazable al SRM de NIST H_3AsO_4 en HNO_3 0.5 mol/L. Se elaboró una curva de calibración lineal con estándares acuosos, la cual se utilizó para evaluar los resultados obtenidos de la digestión de las muestras con el programa del horno digestor de microondas en el laboratorio del Departamento de Toxicología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Posteriormente se realizaron las mediciones de las muestras a través de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Generación de Hidruros (HG-AAS). Se determinó que los resultados del modelo de regresión lineal cumplen con los supuestos de linealidad, pues el método expresó una adecuada relación lineal entre la absorbancia y la concentración de arsénico, tanto para la curva de calibración con estándares acuosos, como en la medición con muestras de arroz, realizadas a partir de la curva acuosa. Se evaluó la exactitud del método obteniendo un porcentaje de recuperación de 102.4%, el cual cumple la especificación del Codex Alimentarius.

Los diecisiete arroces muestreados que se comercializan en las cadenas de supermercados de la ciudad de Guatemala presentan valores promedio de 0.35 mg/Kg de arroz. Este contribuye a establecer valores de línea base para este tóxico en arroces producidos y/o comercializados en Guatemala. El estudio realizado permitió determinar que las concentraciones de As total son elevadas en arroz integral (0.48 mg/Kg), arroz precocido (0.42 mg/Kg) y arroz blanco (0.26 mg/Kg). Una sola marca de arroz precocido presentó niveles aceptables para el Codex Alimentarius (0.31 mg/Kg).

Se determinó que ocho de las diecisiete muestras sobrepasan el límite establecido por la normativa de la comisión del Codex Alimentarius, mientras que todas las marcas de arroz analizadas sobrepasan el límite establecido por la Unión Europea para arroz integral, precocido y blanco.

El consumo medio de arroz de la población guatemalteca (32.2 g/persona/día) generaría ingestas de arsénico que no superan la Ingesta Diaria Tolerable (IDT), asumiendo a este como única fuente de contaminación con el metal; si bien podría suponer un alimento de riesgo para consumidores extremos del cereal. Las concentraciones de As inorgánico en el arroz podrían representar un daño potencial para el consumidor, tomando en cuenta que el arsénico inorgánico en el arroz, constituye el 90% del total del contenido de arsénico.

A partir de este estudio se recomienda, realizar una evaluación más realista del riesgo asociado al consumo de este cereal, estudiando el efecto del cocinado, así como de su biodisponibilidad en las concentraciones del tóxico. La preparación del arroz generalmente se realiza por cocción en agua, y en el caso de utilizar agua contaminada con As, el cocinado incrementa la concentración de As en el alimento.

2. INTRODUCCIÓN

El arsénico (As) es un elemento natural y un contaminante antropogénico presente en dos formas generales: inorgánico (iAs) y orgánico (oAs). El iAs se considera altamente tóxico para los seres humanos. La Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer -IARC-, la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades -ATSDR- y la Agencia de Protección Ambiental -EPA- de los Estados Unidos clasifican al iAs como cancerígeno (Lai, Cottingham, Steinmaus, Karagas, & Miller, 2015).

Se ha demostrado que la exposición a largo plazo se asocia con un mayor riesgo de varios carcinomas incluyendo el de piel, vejiga, pulmón, riñón, hígado y próstata (WHO, 2011). Estudios recientes han reportado un alto riesgo de enfermedades cardiovasculares, afecciones respiratorias y diabetes asociadas con niveles relativamente bajos de exposición a iAs (Amaral et al., 2012; EFSA, 2009; Ettinger et al., 2009; Karagas et al., 2004; Leonardi et al., 2012; Navas-Acien et al., 2008; Sohel et al., 2009). Estudios epidemiológicos, han determinado que la exposición a As durante el embarazo se ha relacionado con mortalidad infantil, bajo peso al nacer y obstaculización de la función inmune (Rahman A, et al., 2009).

Mientras que la exposición a As a través del agua potable contaminada está bien documentada, los datos emergentes indican que la ingesta dietética de arsénico también puede ser sustancial (Xue, Zartarian, Wang, Liu, & Georgopoulos, 2010). El arroz en particular, ha sido implicado como una ruta potencial importante para la exposición, en la que la biogeoquímica del arrozal y la fisiología del grano, lo hacen propenso a acumular 10 veces más As que cualquier otro grano que crece en condiciones anaerobias como el trigo (Signes-Pastor, Carey, & Meharg, 2016).

Existe una preocupación mundial por la exposición a As en la dieta y los riesgos asociados a la salud han sido enfatizados en las evaluaciones realizadas por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria -EFSA-, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación en conjunto con la Organización Mundial de la Salud -FAO/WHO- y el Comité de Expertos en Aditivos Alimenticios -JECFA-. La determinación de los niveles de iAs en los alimentos y el cálculo de las ingestas diarias típicas son fundamentales para establecer los niveles de exposición a As y para comprender los riesgos derivados del exceso de fuentes naturales o antropogénicas (EFSA, 2014; WHO, 2011).

En Guatemala el arroz es uno de los granos básicos más consumidos después del maíz y el frijol, su demanda es de gran importancia en el mercado nacional; este cuenta con un consumo de 32.2g/persona/día (INE, 2017).

La producción nacional de arroz se encuentra distribuida de la siguiente forma: Izabal (21%), Alta Verapaz (15%), Jutiapa (15%), San Marcos (11%), Petén (10%), Chiquimula (8%), Quetzaltenango (6%), y los demás departamentos de la República suman el (13%) restante.

La proporción relativamente alta de las formas de arsénico inorgánico más tóxicas en el arroz (Meharg, 2010), junto con la alta biodisponibilidad (Juhasz, 2006) y bioaccesibilidad del arsénico (Trenary, 2012), aumentan la preocupación cada vez más plausible de que el arsénico en el arroz pueda representar una amenaza para la salud de millones de personas. A pesar de esto, hasta la fecha no existen estudios que cuantifiquen el arsénico total en el arroz que se expende en supermercado en la ciudad de Guatemala.

3. ANTECEDENTES

3.1 Estudios Previos

3.1.1 Estudios Internacionales

A continuación, se presentan los estudios más relevantes realizados a nivel internacional sobre la determinación de arsénico en arroz:

Estrella y Yepez en el año 2017, desarrollaron el estudio **Determinación de la concentración de arsénico total en cultivos de arroz en la Provincia Del Oro y su relación con las propiedades físicas y químicas del suelo, agua y planta en Ecuador**: Donde demostraron que en el grano de arroz de la zona de la Cuca, existen elevados niveles de As, excediendo el límite hasta el doble en grano de arroz, el triple en arroz de la apiladora y trece veces en el polvillo de arroz (Estrella & Yepez, 2017).

Ciminelli, Caldeira y Ng en el año 2016, desarrollaron el estudio **Dietary arsenic exposure in Brazil: The contribution of rice and beans**. Esta investigación determinó que el arroz y el frijol contribuyen entre el 67% y el 90% del arsénico total consumido en la dieta brasileña (46-79% de arroz y 11-23% del frijol) (Ciminelli, Caldeira y Ng, 2016).

Chuchón & Chumbipuma en el año 2016, desarrollaron el estudio **Determinación de plomo, cadmio y arsénico en arroz (*Oryza Sativa*) expendido en el mercado municipal 3 de Febrero – Distrito de la Victoria Provincia de Lima, Perú - período de Junio -Noviembre 2015**: Los resultados de la investigación, indican que las muestras de arroz (*Oryza Sativa L.*) no superan los parámetros de plomo, cadmio y arsénico indicados en el Codex Alimentarius y Registro Técnico MERCOSUR (Chuchón & Chumbipuma, 2016).

López y López en el año 2015, desarrollaron el estudio **Cuantificación de plomo y arsénico en el arroz del programa de alimentación y salud escolar de El Salvador**: Esta investigación concluyó que ninguna de las muestras analizadas sobrepasó la concentración máxima establecida para ambos metales y se realizó un informe de resultados encontrados para exigir comprobantes de análisis de plomo, arsénico y otros metales perjudiciales en los productos alimenticios que las empresas ofertan, para contribuir a la seguridad alimentaria de los niños y las niñas, que ingieren estos granos básicos en el refrigerio escolar (Lopez & Lopez, 2015).

Li y colaboradores en el año de 2015, desarrollaron el estudio **Inorganic arsenic contamination of rice from Chinese major rice- producing areas and exposure assessment in Chinese population**: Esta investigación determinó que los niveles de arsénico en el arroz sin pulir (integral)

se encontraban fuera del límite establecido por China poniendo de manifiesto la necesidad de investigar para evaluar el impacto negativo en la salud humana del consumo de dicho producto (Li et al., 2015).

Cano en el año 2014, desarrolló el estudio **Control de la toxicidad en arroz de procedencia Iraní:** Está investigación consiguió determinar que no existe riesgo para la salud en la población iraní al consumir arroz de dicha procedencia ya que la concentración de arsénico total, no superó la Ingesta Semanal Tolerable Provisional, ISTP (15 µg/kg), propuesta por la OMS y la EFSA (Cano, 2014).

García-Rico, Tejeda-Valenzuela, Vélez, y Montoro en el año 2012, desarrollaron el estudio **Content of selenium, total and inorganic arsenic and bioaccessibility of arsenic in children diets of Mexico:** En el cual se logró determinar la bioaccesibilidad del arsénico inorgánico en las dietas infantiles en Sonora, México. Se concluyó que los niveles de arsénico inorgánico en las dietas y el agua son bajos e indican que los niños tienen baja exposición a dicho elemento (García-Rico, Tejeda-Valenzuela, Vélez, & Montoro, 2012).

Schencke en el año 2010, desarrolló el estudio **Determinación de elementos traza (Pb, Hg, Cd, As, Cu, Mn, Zn, Ca, Mg y Fe) en arroz (*Oryza Sativa*) y trigo mote (*Triticum Aestivum*) de diferentes marcas comerciales:** En este estudio se presentaron concentraciones de arsénico total en todas las marcas comerciales de arroz analizadas de los seis orígenes tomados; argentino, chileno, chino, italiano, tailandés y uruguayo. Las concentraciones más altas de este elemento se encontraron en las marcas Tucapel Espinaca, Tucapel Pollo y Tucapel Tomate, todas de origen chileno. Se determinó que estas últimas tres muestras están por sobre lo que establece la Legislación Chilena (Schencke, 2010).

Bhattacharya, Samal, Majumdar, y Santra en el año 2010, desarrollaron el estudio **Arsenic Contamination in Rice, Wheat, Pulses, and Vegetables: A Study in an Arsenic Affected Area of West Bengal, India:** En este estudio se determinó que las concentraciones de arsénico en las muestras de cultivo estudiadas, incluidas las muestras de grano de arroz, no excedieron el límite de concentración de higiene de los alimentos (1.0 mg/kg). Sin embargo, se recomienda que la acumulación de arsénico en los cultivos sea monitoreada periódicamente, ya que el nivel de toxicidad por arsénico en el área de estudio está aumentando día a día (Bhattacharya, Samal, Majumdar, & Santra, 2010).

Liang y colaboradores en el año 2010, desarrollaron el estudio **Total and speciated arsenic levels in rice from China:** La evidencia reportada indica que el riesgo de exposición a la población a través del arroz sigue siendo subestimado. Se concluyó que la población china tiene una exposición

alta a arsénico proveniente del arroz. Por lo tanto, recomendaron que el nivel máximo de contaminante legalmente permitido para arsénico en el arroz se aplique más estrictamente en China para proteger la salud de los consumidores (Liang et al., 2010).

Deacon, Villada, Cambell, y Sun en el año 2009, desarrollaron el estudio **Geographical Variation in Total and Inorganic Arsenic Content of Polished (White) Rice**: En este estudio se recopiló un extenso conjunto de datos de análisis de arsénico total para 901 muestras de grano pulido (blanco), procedentes de 10 países (Bangladesh, China, Egipto, Francia, India, Italia, Japón, España, Tailandia y EE. UU) comercializaron en las principales aglomeraciones urbanas. Los resultados demostraron que Egipto (0.04 mg/kg) y la India (0.07 mg/kg) tuvieron el menor contenido de arsénico, mientras que los Estados Unidos (0.25 mg / kg) y Francia (0.28 mg / kg) el contenido más alto (Deacon, Villada, Cambell, & Sun, 2009).

Torres-Escribano, Leal, Vélez, y Montoro en el año 2008, desarrollaron el estudio **Total and inorganic arsenic concentrations in rice sold in Spain, effect of cooking, and risk assessments**: En esta investigación se evaluó la concentración de arsénico total e inorgánico en 39 muestras de diferentes tipos de arroz comercializado en España. Los resultados obtenidos de los ensayos indicaron la necesidad de proseguir la investigación con el fin de obtener una estimación más realista del posible riesgo resultante de la ingesta dietética de este elemento en ese país (Torres-Escribano, Leal, Vélez, & Montoro, 2008).

2.1.2 Estudios Nacionales

Estudios realizados en Guatemala de arsénico en alimentos:

García en el año 2010, desarrolló el estudio **Determinación cuantitativa de cobre, arsénico, cadmio y plomo en rábano rojo (*Raphanus sativus*), que se cosecha en Planes de San Pedro Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez Guatemala**: En esta investigación el análisis, químico reveló que la concentración de arsénico fue menor al límite de detección del equipo utilizado para este análisis (García, 2010).

Turcios en el año 2010, desarrolló el estudio **Determinación cuantitativa de arsénico, cobre, plomo y cadmio en (*Brasica oleracea*) brócoli que se cultiva en la parcela san José, Tecpán municipio de Chimaltenango**: El resultado de los análisis en esta investigación demostraron que las muestras vegetales presentaron concentraciones de arsénico (1.12 mg/Kg) por debajo del límite recomendado para consumo y no representa riesgo de toxicidad para la salud de las personas (Turcios, 2010).

Sutuc en el año 1988, desarrolló el estudio **Cuantificación de arsénico en carne de res:** En esta investigación se analizaron ciento noventa y tres muestras de carne de res recolectadas al azar de las veinte zonas de la capital, se concluyó que el nivel de arsénico está por debajo de 2.56 mg/g de carne, límite establecido por la Federación de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos de Norte América (Sutuc, 1988).

Sabbagh en el año 1987, desarrolló el estudio **Determinación de arsénico en huevos de gallina destinados para el consumo de la población guatemalteca:** En este estudio se analizó ciento diez huevos de gallina sin cocer, provenientes de cinco granjas agrícolas y cinco de patios caseros, se determinó que los niveles de arsénico se encontraban por debajo del límite establecido por el Código de Regulaciones Federales de los Estados Unidos (Sabbagh, 1987).

Echeverría en el año 1986, desarrolló el estudio **Determinación de arsénico en carne de pollo, disponible en la ciudad de Guatemala para consumo humano:** En este estudio se analizaron ciento diez muestras de carne de pollo, recolectadas en veintidós zonas de la ciudad capital, se determinó que los niveles de arsénico se encontraban por debajo del límite establecido por el Código de Regulaciones Federales de los Estados Unidos (Echeverría, 1986)

Es importante señalar que existen más estudios en arroz en Guatemala, pero en ninguno de ellos se evalúa la presencia de metales como el arsénico.

4. JUSTIFICACIÓN

Las actividades industriales, como la extracción de minerales y los vertimientos de aguas residuales; los aditivos en alimentación animal, los plaguicidas y las reservas de arsénico en minerales altamente solubles, se presentan con mucha frecuencia y causan contaminación de suelos y de aguas subterráneas y superficiales. Varios estudios han demostrado que las altas concentraciones de arsénico en el suelo y en las aguas de riego a menudo provocan niveles elevados de As en los cultivos y suponen un riesgo elevado para la inocuidad de los alimentos (INS, 2013).

En Guatemala existen investigaciones que muestran la presencia de arsénico en acuíferos: en roca > 10000 ppm, en sedimentos > 3900 ppm y suelos > 85000 ppm (Cacao, 2008), así como derivados de la contaminación debido a extracción en minas, de las cuales algunas están ubicadas en zonas arroceras, por lo tanto, las probabilidades de contaminación con arsénico son altas. A pesar de esto, al consultar con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- en el control de calidad del producto terminado no se analiza arsénico como parte de las pruebas de rutina.

En consecuencia, en el marco de la inocuidad de alimentos y la prevención de intoxicaciones crónicas, resulta de gran importancia la determinación del contenido total de arsénico en el arroz que se comercializa en supermercados de la ciudad de Guatemala

5. OBJETIVOS

5.1 General

- 4.1.1 Determinar la presencia de arsénico total en arroz que se comercializa en las cadenas de supermercados de la ciudad de Guatemala.

5.2 Específicos

- 4.2.1 Medir la concentración de arsénico total en diecisiete marcas de arroz comercializadas en la ciudad de Guatemala.
- 4.2.2 Evaluar si las muestras se encuentran dentro del límite máximo dictado por la comisión del Codex Alimentarius y el Reglamento de la Unión Europea.
- 4.2.3 Comparar la cantidad de arsénico total entre marcas analizadas
- 4.2.4 Generar un informe técnico que describa, el método analítico para la determinación de arsénico total en arroz y los resultados encontrados; para el Departamento de productos de origen vegetal del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- y al departamento de Regulación y Control de Alimentos del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social -MSPAS-.

6. HIPÓTESIS

El nivel de arsénico total en las diecisiete marcas de arroz comercializado en los supermercados de la ciudad de Guatemala se encuentra por debajo del establecido en el Codex Alimentarius y la Unión Europea.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Universo:

El universo de trabajo lo conforma el arroz como producto terminado que se vende en los supermercados de la ciudad de Guatemala.

7.2 Muestra:

La muestra se conforma de las diecisiete marcas de arroz; integral (n=2), precocido (n=7) y blanco (n=8) que se comercializan en los supermercados de la ciudad de Guatemala.

7.3 Materiales

7.3.1 Equipo

- Espectrofotómetro de absorción atómica PerkinElmer, AAnalyst 700 asociado con un sistema de inyección de flujo FIAS 100 y auto muestreador S10
- Ultra purificador de agua Thermo Scientific, 7416 - Barnstead NANOpure Diamond Water Purification
- Lámpara HDL para arsénico Lumina™ 2 PerkinElmer, Series N30501XX
- Centrifugadora Fisher Scientific, 225 Centrifuge™
- Balanza analítica Nimbus®, NBL- 214i
- Horno digestor de microondas Berghof, Speedwave 4
- Desecadora
- Molino eléctrico Mr. Coffee®, Blade Grinder - Black IDS57-NP
- Pipetas de émbolo Transferpette® S BRAND de: 100-1000µL, D-1000; 500-5000µL, D-5000 y 1000-10000µL, D-10000
- Refrigerador

7.3.2 Reactivos

- Agua ultrapura desionizada mediante el sistema Milli-Q (MILLIPORE, Gif-Sur Yvette, Francia), de conductividad eléctrica = 0.055 µs/cm
- Ácido nítrico (HNO₃) concentrado al 65 %, Merck grado Reag. Ph Eur,ISO
- Ácido clorhídrico (HCl) concentrado al 37 %, Merck grado Reag. Ph Eur,ISO

- Borohidruro sódico (NaBH_4) pureza del 99 %, Merck grado Reag
- Hidróxido de sodio (NaOH) riqueza del 98 %, Merck grado Reag. Ph Eur,ISO
- Yoduro de potasio (KI), Merck grado ISO,Reag. Ph Eur
- Ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$), Merck grado ACS,ISO,Reag. Ph Eur

7.3.3 Cristalería

- Material de vidrio como tubos, vasos de precipitados, embudos, probetas y matraces aforados de diversas medidas.

7.4 Método

7.4.1. Limpieza

Como en otros estudios (Cano, 2014), se enfatizó la necesidad de una limpieza exhaustiva del material de vidrio y frascos de PTFE-PFA (politetrafluoroetileno-alcanos perfluoroalcoxi) del horno de microondas usados en este trabajo. Para ello se lavó previamente con agua desionizada y jabón neutro (sin fosfatos) y posteriormente se enjuagó con agua ultrapura. Tras este lavado inicial se realizó un baño con una disolución de ácido nítrico (HNO_3) al 10 % v/v durante 24 horas. Tras este periodo se enjuagó con agua desionizada seguida de agua ultrapura desionizada por triplicado para ser secado finalmente al aire.

En general, el material de vidrio utilizado en el análisis de trazas de arsénico (frascos para almacenar reactivos, frascos, erlenmeyer, pipetas, probetas y otros) debe seguir el mismo procedimiento de limpieza y sólo se utilizó en los análisis de trazas de arsénico. Todo el material debe ser lavado antes de su uso y, una vez limpio, no debe ser expuesto al ambiente a excepción de lo estrictamente necesario. Las pipetas volumétricas calibradas Clase A y los matraces volumétricos se secan a temperatura ambiente. Los frascos utilizados para el almacenamiento de las muestras pueden ser de vidrio borosilicatado o polietileno (Armienta, Castro, López, Piñeiro y Sassone, 2009).

7.4.2 Preparación de la muestra

- a. Las muestras objeto de estudio se molieron en un molino eléctrico hasta la obtención de la harina homogénea de arroz.
- b. Entre la molida de cada marca se lavó previamente el molino con agua desionizada y jabón neutro (sin fosfatos) y posteriormente se enjuagó con agua ultrapura.

- c. Se envasó en bolsas de plástico cerradas herméticamente y debidamente codificadas.
- d. Se introdujo en un desecador para evitar la rehidratación durante todo el experimento.

7.4.3 Método de digestión de arsénico total en medio ácido desarrollado

- a. Pesar 500 mg de arroz
- b. Agregar 5 mL de ácido nítrico HNO_3 0.14 mol/L
- c. Reposar durante 12 h (durante la noche)
- d. Aplicar radiación de microondas (90% de potencia)
- e. Dejar enfriar a temperatura ambiente
- f. Llevar el volumen obtenido de la digestión a 14 mL con ácido nítrico HNO_3 0.14 mol/L
- g. Centrifugar a 1600 rpm por 10 minutos. La disolución final obtenida se introduce en viales de polipropileno graduados codificados.

7.4.4 Curva de calibración

1. Preparación de disolución Stock de arsénico (1 mg/L)

- a. En un balón aforado de capacidad 10 mL, agregar 0.1 mL de estándar de arsénico de 1000 mg/L trazable al SRM de NIST H_3AsO_4 en HNO_3 0.5 mol/L y aforar con ácido clorhídrico al 0.5%.
- b. Agregar 250 μL de la solución del numeral “a” y aforar con ácido clorhídrico al 0.5% en un balón de 25 mL.

2. Estándares de trabajo

- a. En tubos de reacción de arsénico de polipropileno graduados, preparar cinco estándares de trabajo de concentraciones 1.5, 3.0, 6.0, 9.0 y 12 $\mu\text{g/L}$.
- b. A cada uno agregar los siguientes volúmenes:

Concentración de estándares de trabajo ($\mu\text{g/L}$)	H_2O (mL)	HCl 32% (mL)	Volumen de disolución stock (μL)	A. ascórbico 1% (mL)	KI 1% (mL)
Blanco	20	12	---	2	2
1.5	19.7	12	300	2	2
3.0	19.4	12	600	2	2
6.0	18.8	12	1200	2	2
9.0	18.2	12	1800	2	2
12.0	17.6	12	2400	2	2

7.4.5 Lectura de muestras en absorción atómica por generador de hidruros

- a. Preparar 500 mL de una disolución de ácido clorhídrico al 3 % v/v.
- b. Preparar el agente reductor (generador de hidruros): En una probeta de 500mL disolver 2.5g de borohidruro sódico, agregar 6.25 mL de hidróxido de sodio y 250 μ L de solución antiespumante PerkinElmer (Silicon Defoaming Agent) para análisis por MHS-FIAS. Enrasar hasta 500 mL con agua ultrapura (0.75% m/v NaBH_4 + 0.01% m/v NaOH). Trasvasar a frasco tipo PET.
- c. Montar el equipo de generación de hidruros y la celda térmica en el espectrofotómetro de absorción atómica MHS-FIAS.
- d. Encender la celda térmica del equipo y esperar hasta alcanzar una temperatura de 900 °C
- e. Cargar el método para análisis de arsénico en el programa
- f. Encender la lámpara de descarga de electrodos de arsénico.
- g. Esperar 1 hora para permitir el calentamiento de la lámpara.
- h. Introducir el número de muestras a leer con nombre y factor de dilución.
- i. Leer curva de calibración y muestras (las cuales se colocarán en un autromuestreador).

7.4.6 Medidas instrumentales

Longitud de onda Rendija	193.7 nm 0.7 nm
Caudal aire	1.025 – 1.15 L/min
Gas portador	Argón (250 mL/min)
Reductor empleado	NaBH_4 al 0.5% y NaOH al 1%
Agente acidificante o carrier	HCl al 3% v/v

7.5 Diseño de la investigación

a) Muestreo

La selección de la muestra tiene un diseño descriptivo, debido a que no existen investigaciones que determinen la presencia de arsénico total en arroz como producto terminado en Guatemala; el muestreo se realizó por conveniencia y la conformaron diecisiete marcas de arroz, dos paquetes de cada una, expandidas en los supermercados de la ciudad de Guatemala.

b) Análisis de los resultados

Se utilizan tablas y gráficas para expresar la concentración de arsénico total de cada una de las marcas, del tipo de arroz, así como de los valores mínimos, medios y máximos determinados. Al determinar si existe presencia o ausencia de arsénico por medio de Espectrofotometría de Absorción Atómica se realizó una curva de calibración con diluciones de calibradores externos a diferentes concentraciones, el resultado sirvió para identificar la hipótesis planteada.

Para su estimación se analizaron 5 puntos de calibración, correspondientes a las concentraciones de 1.5, 3, 6, 9, 12.0 $\mu\text{g/dL}$. Realizándose tres lecturas para cada concentración. Se elaboró una gráfica de regresión lineal. Se aceptó como límite, un coeficiente de correlación $r \geq 0.995$

8. RESULTADOS

Debido a las normas de seguridad ambientales y laborales del laboratorio de Toxicología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, no se digirieron las muestras como el procedimiento originalmente propuesto (anexo 2) de digestión alcalina en campana de extracción, sino en digestión por microondas.

Para tal efecto, Cerveira *et al.* plantea la digestión por microondas con 5 ml de 0.14 mol/L de HNO₃ y reposo de 12 h (durante la noche). Una vez digeridas las muestras, se procede al método de HG-AAS descrito en metodología (7.4.5).

8.1 Curva de calibración

Se realizó una curva de calibración preparando estándares de arsénico a concentraciones de 1.5, 3, 6, 9 y 12 µg/L, en solución de ácido clorhídrico al 32% v/v, utilizando como reductores ácido ascórbico y yoduro de potasio al 1% p/v, trabajando cada uno por triplicado. Los datos de absorbancia que se presentan son los promedios de las diferentes rectas patrones obtenidas (tabla 1).

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de regresión lineal (gráfica 1), obteniendo un coeficiente de correlación (R) de 0.9995 (tabla 2) y un coeficiente de determinación (R²) de 0.9992 siendo un valor aceptable para el análisis de As en este tipo de muestras.

Tabla 1 Valores obtenidos de la concentración y absorbancia de los estándares utilizados en la recta de calibración

Std. As µg/L	Replicas	\bar{x} Señal	\bar{x} As µg/L
Blanco	3	0.098	0.002
1.5	3	1.413	0.009
3	3	3.050	0.021
6	3	5.799	0.040
9	3	9.168	0.064
12	3	11.973	0.084

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

Tabla 2 Parámetros de la curva de calibración

Curva de calibración		
R	R²	Ecuación regresión lineal
0.9995	0.9992	y= 0.00704x - 0.00069

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

8.2 Extracción de arsénico en muestras de arroz

En el presente método, se añadieron 5 mL de 0.14 mol/L de HNO₃ a 500 mg de muestra previamente molidas en el matraz para el digestor de microondas y la mezcla se dejó reposar 12 h (durante la noche). Posteriormente, se aplicó radiación microondas (tabla 3). Después de alcanzar la temperatura ambiente, la suspensión obtenida se transfirió a un vial de polipropileno graduado y el volumen se elevó a 14 mL añadiendo 0.14 mol/L de HNO₃.

Tabla 3 Programa de calentamiento del digestor de microondas para la digestión de arroz

Step	Rampa (min)	Tiempo (min)	Temperatura °C
1	5	15	160
2	5	15	180
3	5	5	75
4	5	5	75
5	5	5	75
Potencia 90%			

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

La suspensión final se centrifugó y del compuesto acuoso obtenido se tomaron alícuotas de 5 mL y se agregaron 6 mL de ácido clorhídrico al 32% v/v, 5 mL de H₂O, 1 mL ácido ascórbico 1% p/v y 1 mL yoduro de potasio al 1% p/v, posterior a esto se realizaron las lecturas de las muestras en absorción atómica por generador de hidruros (tabla 4). Para evaluar la exactitud del método se calculó el % de recuperación de una muestra fortificada con 300 µg/L de estándar de arsénico tratada como se menciona anteriormente, obteniéndose el 102.4% (tabla 5). Este resultado indica que el método cumple suficientemente con el criterio del Codex Alimentarius.

Tabla 4 Medidas instrumentales utilizadas para la determinación de arsénico en muestras de arroz

Generación de hidruros		Medidas instrumentales	
HCl % carrier (v/v)	NaBH ₄ % (m/v)	Alineación de la celda	Absorbancia
3	0.5	0.672	193.7nm

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

Tabla 5 Porcentaje de recuperación

Mx	Std. As µg/L	As µg/L	Señal	% de recuperación	% de recuperación Criterio CODEX
14	300	9.285	0.065	102	80-110

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

El contenido de arsénico total encontrado en cada marca y tipo de arroz se muestra en la Tabla 6. Las concentraciones totales de arsénico estuvieron en un rango de 0.46-0.49mg/Kg en el arroz integral, 0.31-0.57 mg/Kg en el arroz precocido y 0.24-0.29 mg/Kg en el arroz blanco. Los niveles más altos de arsénico total se detectaron en las muestras 2 GDI (0.49 mg/Kg), 3 IAI (0.46 mg/Kg) y 4 ABP (0.57 mg/kg). El promedio de arsénico en arroz fue de 0.35 mg/Kg en las marcas trabajadas.

Tabla 6 Concentraciones de arsénico (As) total en muestras de arroz comercializadas en las cadenas de supermercados de la ciudad de Guatemala

Mx	Tipo de arroz	Replicas	Límite: Codex Alimentarius (0.35 mg/Kg) Límite Unión Europea (0.25 mg/Kg precocido e integral y 0.20 mg/Kg blanco)			
			As µg/L	Señal	As mg/Kg ¹	X As mg/Kg
1	Precocido	2	5.495	0.038	0.31	0.31
	GDP		5.451	0.038	0.30	
2	Integral	2	8.525	0.059	0.48	0.49
	GDI		8.745	0.061	0.49	
3	Integral	2	7.523	0.052	0.42	0.46

	IAI		9.104	0.063	0.50	
4	Precocido	2	10.720	0.075	0.60	0.57
	ABP		9.681	0.068	0.54	
5	Precocido	2	6.008	0.042	0.34	0.39
	SNP		7.702	0.054	0.43	
6	Precocido	2	7.209	0.050	0.40	0.40
	MCP		6.960	0.048	0.39	
7	Precocido	2	7.772	0.054	0.44	0.40
	SBP		6.181	0.043	0.35	
8	Precocido	2	7.645	0.053	0.42	0.43
	ETP		7.879	0.055	0.44	
9	Precocido	2	7.376	0.051	0.41	0.41
	SLP		7.087	0.049	0.40	
10	Blanco	2	5.279	0.036	0.30	0.25
	EMB		3.375	0.023	0.20	
11	Blanco	2	5.112	0.035	0.29	0.29
	ABB		5.036	0.035	0.28	
12	Blanco	2	4.758	0.033	0.27	0.27
	SLB		4.868	0.034	0.27	
13	Blanco	2	5.419	0.037	0.30	0.28
	SBB		4.517	0.031	0.25	
14	Blanco	2	4.652	0.032	0.26	0.26
	SNB		4.392	0.030	0.25	
15	Blanco	2	4.531	0.031	0.25	0.26
	MCB		4.756	0.033	0.26	
16	Blanco	2	4.325	0.030	0.24	0.26
	ARB		4.926	0.034	0.28	
17	Blanco	2	4.792	0.033	0.26	0.24
	OMB		3.680	0.025	0.21	
Promedio					0.35	

$$^1\text{Total As (mg/kg)} = \frac{14 \cdot 10 \cdot (Cx)}{5 \cdot 1000 \cdot w}, \text{ Cx = concentración de arsénico } (\mu\text{g/L}) \text{ W = Peso de la muestra (Kg)}$$

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

Tabla 7 Ingestas diarias de As estimadas a partir del consumo de los arroz analizado y comparado con la Ingesta Diaria Tolerable (IDT) recomendada por la Organización Mundial de la Salud -OMS-

As en arroz crudo ^a	Consumo arroz ^c	Ingesta de arsénico	Relación Ingesta/IDT ^b
Mínima 0.24 µg/g	32.2 g/persona/día	7.7 µg As/persona/día	5.1%
Media 0.35 µg/g	32.2 g/persona/día	11.3 µg As/persona/día	7.5%
Máxima 0.57 µg/g	32.2 g/persona/día	18.4 µg As/persona/día	12.2%

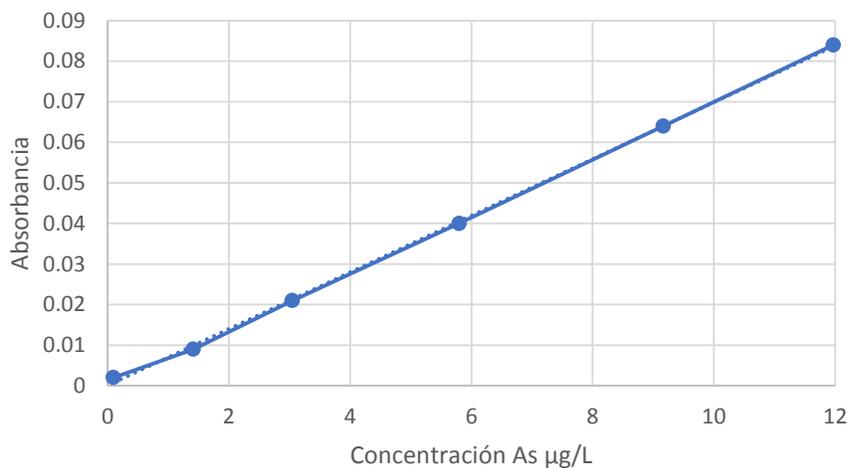
^aConcentración mínima, media y máxima de As (µg/g) en las muestras de arroz crudo analizadas (tabla 6)

^bIngesta Diaria Tolerable (IDT) = 2,1 µg de As inorgánico/kg peso corporal/día. Para adultos, asumiendo un peso de 70 kg, la IDT equivale a 150 µg As inorgánico/día

^cNueva Canasta Básica Alimentaria (CBA), Instituto Nacional de Estadística -INE- 2017

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

Gráfico 1 Recta de Calibración de estándares de arsénico



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

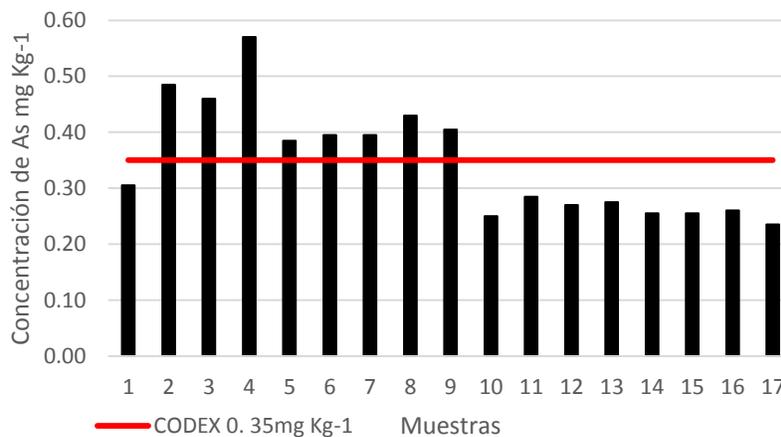
Gráfico 2 Evolución de la temperatura y el tiempo para la digestión de muestras de arroz



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

En el gráfico 3 se compara las concentraciones de arsénico presentes en las muestras con el valor máximo permitido (no más de 0.35 mg/Kg de arroz) por la comisión del Codex Alimentarius, se observa que 8 muestras sobrepasan el límite establecido por la normativa.

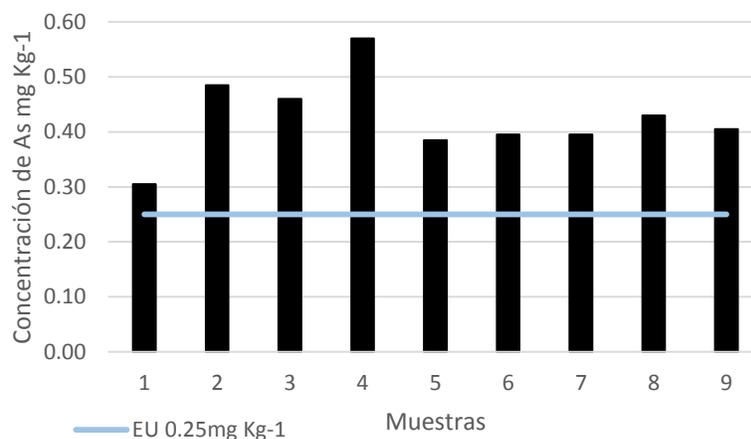
Gráfico 3 Comparación de las concentraciones de arsénico obtenidas con la norma del CODEX



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

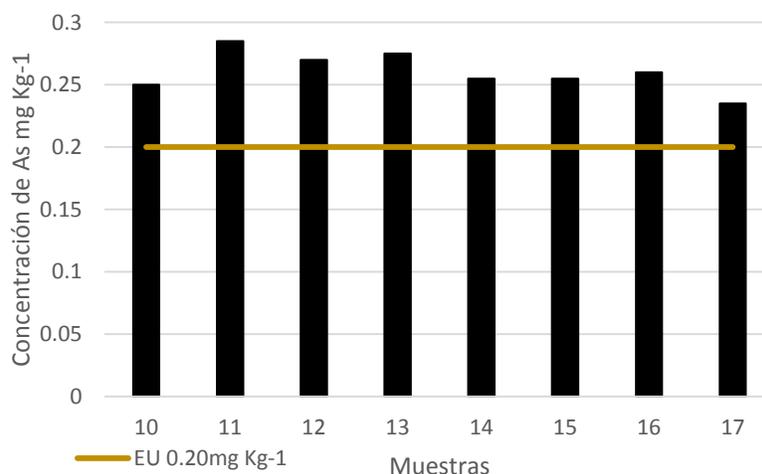
En el gráfico 4 y 5 se comparan las concentraciones de arsénico presentes en las muestras con el valor máximo permitido por Unión Europea para arroz integral y precocido (no más de 0.25 mg/Kg de arroz) y para arroz blanco (no más de 0.20 mg/Kg) respectivamente, se observa que todas las muestras sobrepasan el límite establecido por la normativa.

Gráfico 4 Comparación de las concentraciones de arsénico obtenidas con la norma de la Unión Europea para arroz integral y precocido



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

Gráfico 5 Comparación de las concentraciones de arsénico obtenidas con la norma de la Unión Europea para arroz blanco



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

9. DISCUSIÓN

Para evaluar la linealidad, se preparó una curva de calibración con estándares acuosos de arsénico a distintos niveles de concentración desde 1.5 µg/L a 12 µg/L (tabla 1), con la finalidad de comprobar la linealidad de la curva de concentración propuesta por Cerveira *et al.* para la determinación de arsénico por HG-AAS, en este caso se observó linealidad según la gráfica 1. El análisis de regresión lineal se utilizó para explorar y cuantificar la relación entre la absorbancia y la concentración, desarrollando una ecuación lineal con fines predictivos. Por lo tanto, la ecuación $y = 0.00704x - 0.00069$ representa la recta de regresión que expresa la mínima distancia vertical que existe en la suma de los cuadrados de las distancias verticales entre cada punto y la recta correspondiente a los estándares acuosos de arsénico utilizados en la curva de calibración.

En la tabla 2 se presenta el modelo de regresión de la curva de calibración en donde, al analizar el coeficiente de correlación (R) de 0.9995, se puede observar que su cercanía a +1 indica una perfecta relación positiva (creciente) entre la señal y la concentración de arsénico; Cerveira *et al.* (2012) determinó un coeficiente de correlación de 0.9996. El coeficiente de determinación (R^2) se utiliza para medir la bondad de ajuste lineal, además mide la proporción de variabilidad total de la variable dependiente respecto a su medida que es explicada por el modelo de regresión. El coeficiente de determinación (R^2) obtenido fue de 0.9992, este valor en porcentaje expresa que el 99.2% de la variación de la absorbancia (variable dependiente) está explicada por la concentración de arsénico (Marroquín, 2015).

Para determinar la cantidad de arsénico en diferentes tipos de muestras, es necesario realizar una etapa previa de digestión o mineralización; para ello se empleó un programa para el digestor de microondas (tabla 3) validado por Cerveira *et al.* La digestión con mezclas de ácidos fuertes y elevadas temperaturas permite la mejora de resultados obtenidos con respecto a otros métodos de digestión (Estrella y Yopez, 2017). La gráfica 2 representa el comportamiento de la temperatura en función del tiempo durante el proceso de la digestión, dicho programa demostró resultados satisfactorios en este estudio para la extracción de As total en muestras de arroz.

La exactitud de la metodología empleada se determinó a partir del porcentaje de recuperación obtenido en una muestra de arroz contaminada con estándar de arsénico. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5. Se puede observar un valor de 102.4%, que corresponde a la concentración del estándar de 300 µg/L. Este resultado indica que el método cumple con el criterio

del Codex, que requiere que el porcentaje de recuperación debe de estar en un rango del 80-110% a concentración entre 0.1-1.0 mg/kg.

Las concentraciones de arsénico en el arroz integral y precocido (sancochado) fueron más altas que las determinadas en el arroz blanco (pulido) (tabla 6). Este resultado concuerda con lo reportado en la literatura ya que se sabe que las técnicas de procesamiento de alimentos pueden tener efectos contrastantes sobre las concentraciones de As. Por ejemplo, la molienda reduce las concentraciones de iAs y As total en los granos de cereal, ya que el arsénico se enriquece en las capas externas del grano. Como tal, el pulido conduce a una disminución sustancial de la concentración de As en el arroz y, por lo tanto, el arroz blanco contiene concentraciones más bajas del As que el correspondiente arroz integral (Torres-Escribano et al., 2008). Otro proceso que parece dar como resultado una mayor concentración de As es el sancochado, que se realiza en el arroz antes de la molienda (en la cáscara); es probable que el As contenido en el salvado se solubilice con agua caliente y que en la siguiente etapa de vaporización el As sea transportado dentro del endospermo (He et al., 2012).

Al analizar detalladamente la tabla 6, se puede observar que, la marca codificada como 4 ABP, presentó niveles más elevados (0.57 mg/Kg) que los encontrados en arroces de tipo integral, siendo el valor más alto determinado entre todas las marcas y tipo de arroces. Para los arroces precocidos la marca 1 GDP presentó el nivel más bajo de As total, mientras que los niveles más altos se detectaron en las muestras 4 ABP (0.57 mg/Kg) y 8 ETP (0.43 mg/Kg). Ahora bien, las dos marcas de arroz integral 2 GDI y 3 IAI, presentaron valores de 0.49 mg/Kg y 0.46 mg/Kg respectivamente; sin embargo, ambas son más altas que las determinadas en el arroz blanco. Por último, se observa que, entre las marcas de arroz de tipo blanco las concentraciones de arsénico total más bajas fueron determinadas en las marcas 17 OMB (0.24 mg/Kg) y 10 EMB (0.20 mg/Kg), mientras que las más altas en las marcas 11 ABB (0.29 mg/Kg) y 13 SBB (0.28 mg/Kg).

Puesto que se trata de arroces de diferentes marcas comerciales y de distinta procedencia, en este estudio no fue posible determinar la causa de las diferencias entre concentraciones halladas, pues cada empresa maneja distintos procesos industriales que se escapan del alcance de esta investigación.

En la gráfica 3 se puede observar que ocho de las diecisiete muestras sobrepasan el límite establecido por la normativa de la comisión del Codex Alimentarius, únicamente la muestra 1 GDP de los arroces precocidos cumple el límite establecido (0.31 mg/Kg), para las marcas de arroces blancos, todas se encuentran por debajo del límite; mientras que en la gráfica 4 y 5 todas las marcas

de arroz sobre pasan los límites establecidos por la Unión Europea para arroz integral, precocido y blanco.

Al comparar el valor promedio determinado con el de otros países se encontró que, Williams *et al.* 2005 informó la concentración de As en el arroz de varios países y regiones: Canadá (0.065 mg/kg, 0.020-0.110 mg/kg), India (0.046 mg/kg, 0.030-0.050 mg/kg), Taiwán (0.383 mg/kg, 0.190-0.760 mg/kg), USA (0.26 mg/Kg) y Bangladesh (0.131 mg/kg, 0.030-0.300 mg/kg), Jorhem *et al.* 2008 para Suecia (0.16 mg/Kg), López y López determinaron para El Salvador, 2015 (0.103 mg/Kg n = 9), Schencke, 2010 para Chile (0.43 mg/Kg n = 9), Estrella y Yepez, 2017 para Ecuador (0.30 mg/Kg), Chuchón y Chumbipuma, 2016 para Perú (0.200 mg/Kg n = 30), Torres, 2011 para Argentina 0.372 mg/Kg, Bolivia 0.305 mg/Kg, Uruguay 0.411 mg/Kg y Brasil 0.280 mg/Kg. La concentración promedio de As en el arroz de Guatemala determinada en este estudio (0.35 mg/Kg, tabla 6) es inferior a la de Chile, Taiwán, Bangladesh, Argentina y Uruguay, pero superior a los de Canadá, India, USA, Suecia, El Salvador, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil. En la bibliografía no se cuenta con investigaciones anteriores de las concentraciones de As total en arroces de Guatemala, por lo tanto, no se puede comparar los resultados obtenidos de esta investigación.

Hasta hace muy poco, los datos de ocurrencia del arsénico en los alimentos recolectados en el marco de los esquemas de monitoreo y el control oficial de los alimentos en todo el mundo consideraban el arsénico total sin diferenciar las diversas especies del mismo. En los últimos años, el aumento de la conciencia de la amenaza para la salud humana representada por arsénico inorgánico (iAs) ha llevado a los organismos internacionales a evaluar la exposición humana a las iAs dietéticas para caracterizar los riesgos relacionados con la presencia de arsénico en los alimentos. Sin embargo, debido a la escasez de datos para iAs, dichas evaluaciones estiman la exposición alimentaria humana asumiendo que un porcentaje definido de arsénico total está presente como iAs (Cubadda *et al.*, 2017).

Con objeto de evaluar el riesgo para los consumidores, las ingestas obtenidas han sido comparadas con el valor de referencia toxicológico Ingesta Semanal Tolerable Provisional (ISTP) propuesto por la FAO/WHO hasta el 2010: 15 µg As inorgánico/kg peso corporal/semana (WHO, 1989). Dicho valor equivale a una Ingesta Diaria Tolerable (IDT) de 2.1 µg As inorgánico/kg peso corporal/día. Considerando para los adultos un peso ideal de 70 kg, la IDT alcanzaría los 150 µg/día. En la tabla 7 se estima la ingesta de As en base a las concentraciones halladas en esta investigación (tabla 6).

Para el consumo medio guatemalteco (32.2 g/persona/día), en ninguno de los supuestos (concentración mínima, media y máxima de As inorgánico) se alcanza la IDT. Por lo tanto, no se

produciría una ingesta próxima al valor toxicológico de referencia, indicando que el arroz comercializado en Guatemala no supone un riesgo en la población con dietas de subsistencia de este cereal.

Recientemente en la 72ª Conferencia del Comité de Expertos FAO/WHO en Aditivos Alimentarios (JECFA), la ISTP de As inorgánico ha sido eliminada por hallarse dentro del intervalo de la Dosis Benchmark (BMDL_{0,5}). Esta dosis de referencia es de 3 µg As inorgánico/kg peso corporal/día (intervalo = 2-7 µg/kg peso corporal/día) (WHO, 2010). Ninguna de las ingestas planteadas en la tabla 7 se halla dentro del intervalo de la BMLD_{0,5}.

Estos resultados podrían indicar que la alarma que se ha generado en países asiáticos y europeos por exposición a As a través del arroz estaría más relacionada con el elevado consumo del cereal y/o el uso de agua contaminada con As para cocinarlo. Para la mayoría de los consumidores, esto no plantea ningún problema porque no comen mucho arroz todos los días, pero este no es el caso para quienes padecen la enfermedad celíaca o para los consumidores que buscan productos naturales con mayor contenido de fibra y/o ecológicos.

Investigadores de la Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH) analizaron la presencia de arsénico en harina, pan, dulces, pastas, cervezas y leche elaborada con arroz y destinada a este grupo particular de la población. Los resultados de los análisis, presentados en la revista 'Food Additives & Contaminants', advierten que algunos de estos productos contienen "contenidos importantes" de arsénico total (As-t, hasta 120 µg/kg) y arsénico inorgánico (As-i), hasta 85.8 µg/kg). El arsénico total es la suma del arsénico orgánico, que se combina con el carbono, y el arsénico inorgánico, que reacciona con otros elementos como el oxígeno, el cloro y el azufre, y es más dañino (Munera-Picazo, Burló & Carbonell-Barrachina, 2014).

Por lo anterior se hace necesario resaltar que, los resultados presentados en esta investigación del IDT no son representativos en su totalidad puesto que se asume como única fuente de exposición de arsénico, al arroz. Se sabe que el arsénico está presente en agua, alimentos y aire. Los alimentos que más contribuyen a la exposición de As aparte del arroz y sus derivados son los cereales de trigo, ciertas verduras, frutas y jugos de frutas, el agua, bebidas alcohólicas y no alcohólicas (Cubadda, et. al. 2016). De todas las anteriores, Guatemala carece de estudios previos sobre arsénico en otras fuentes de alimento de esta naturaleza. Por lo tanto, se considera que estas fuentes de exposición deben ser tomadas en cuenta a la hora de calcular el valor de la IDT propuesto por la FAO/WHO, y de esta forma dar un resultado más real, sobre la exposición de la población guatemalteca al arsénico.

10. CONCLUSIONES

10.1 El valor de arsénico total promedio en las diecisiete marcas de arroz que se comercializa en las cadenas de supermercados de la ciudad de Guatemala, es de 0.35 mg/Kg de arroz. Este valor contribuye a establecer valores de línea base para este tóxico en arroces producidos y/o comercializados en Guatemala.

10.2 Se determinó que ocho de las diecisiete muestras sobrepasan el límite establecido por la normativa de la comisión del Codex Alimentarius (0.30 mg/Kg), mientras que todas las marcas de arroz analizadas sobrepasan el límite establecido por la Unión Europea para arroz integral, precocido (0.25 mg/Kg) y blanco (0.20 mg/Kg).

10.3 Únicamente una de siete marcas de arroz precocido cumple el límite establecido por la comisión del Codex Alimentarius (0.31 mg/Kg). Los niveles más altos de arsénico total entre marcas de arroz precocido se detectaron en las muestras 4 ABP (0.57 mg/Kg) y 8 ETP (0.43 mg/Kg).

10.4 Se determinó que las dos marcas de arroz integral 2 GDI y 3 IAI, presentaron valores de 0.49 mg/Kg y 0.46 mg/Kg respectivamente; sin embargo, ninguna cumple con los límites establecidos por el Codex Alimentarius ni el establecido por la Unión Europea, para este tipo de arroz.

10.5 Todas las marcas de arroz blanco sobrepasan el límite establecido por la Unión Europea (0.20 mg/Kg), las concentraciones de arsénico total más bajas fueron determinadas en las marcas 17 OMB (0.24 mg/Kg) y 10 EMB (0.20 mg/Kg), mientras que las más altas en las marcas 11 ABB (0.29 mg/Kg) y 13 SBB (0.28 mg/Kg).

10.6 A razón de los resultados obtenidos, se concluye la necesidad de proceder con la elaboración del informe técnico dirigido al MAGA y al MSPAS.

10.7 La concentración de arsénico total en las marcas de arroces guatemaltecos determinada en esta investigación supera la legislación vigente para este contaminante, por parte de la Unión Europea y el Codex Alimentarius; por lo tanto, se hace necesario el inicio de actividades de control por parte de las empresas productoras o de los organismos públicos de vigilancia de la seguridad alimentaria.

10.8 El consumo medio de arroz de la población guatemalteca generaría ingestas de arsénico que no superan la Ingesta Diaria Tolerable (IDT), asumiendo a este como única fuente de contaminación con el metal; más podría suponer un alimento de riesgo para consumidores extremos del cereal.

11. RECOMENDACIONES

11.1 Validar el método de digestión empleado, para que pueda ser utilizado en la vigilancia del contenido de arsénico en muestras de arroz.

11.2 Realizar otro estudio para evaluar la reproducibilidad del método analítico propuesto en esta investigación, es decir en distintos laboratorios, con diferentes equipos y operarios y además establecer la robustez de este.

11.3 Al Departamento de Regulación y Control de Alimentos del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social -MSPAS- que incluya un análisis de arsénico en el arroz comercializado en Guatemala, sin marca, de venta en mercados y puestos populares, sin registro sanitario. Basado en el informe técnico generado en esta investigación.

11.4 A las entidades competentes, adecuar una norma nacional que regule el contenido de arsénico y otros metales perjudiciales en el arroz como plomo y cadmio, así como en granos básicos.

11.5 Evaluar las concentraciones de arsénico en otros granos como el frijol, cuyo consumo es de 55.4 g/persona/día, más elevado que el arroz.

12. REFERENCIAS

1. Ackerman A. H., Creed P. A., Parks A. N., Fricke M. W., Schwegel C. A., Cred J. T., Heitkemper D. T. & Vela N. P. (2005). Comparison of a chemical enzymatic extraction of arsenic from rice and an assessment of the arsenic absorption from contaminated water by cooked rice. *Environmental Science and Technology*, 39, 5241-5246.
2. Amaral, A.F.S., Porta, M., Silverman, D.T., Milne, R.L., Kogevinas, M., Rothman, N., Cantor, K.P., Jackson, B.P., Pumarega, J.A., López, T., Carrato, A., Guarner, L., Real, F.X., Malats, N., 2012. Pancreatic cancer risk and levels of trace elements. *Gut* 61:1583–1588. <http://dx.doi.org/10.1136/gutjnl-2011-301086>.
3. Armienta, MA., Castro, ML., López, CM., Piñeiro, AE. Y Sassone, AH. (2009). Determinación de arsénico por el método: absorción atómica-generación de hidruros-FIAS. En Litter, M., Armienta, M.A. & Farías, S.S. (Ed), *Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos*. Argentina: CYTED
4. Bae M., Watanabe C., Inaoka T., Sekiyama M., Sudo N., Bokul M. H. & Ohtsuka R. (2002). Arsenic in cooked rice in Bangladesh. *Lancet*, 360, 1839-1840.
5. Bhattacharya, P., Samal, A. C., Majumdar, J., & Santra, S. C. (2010). Arsenic contamination in rice, wheat, pulses, and vegetables: A study in an arsenic affected area of West Bengal, India. *Water, Air, and Soil Pollution*, 213(1–4), 3–13. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0361-9>
6. Cacao, L. (2008). *Contaminación natural de arsénico derivado del plutón de Chiquimula*. (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
7. Cano, M. (2014). *Control De La Toxicidad En Arroz De Procedencia Iraní*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Miguel Hernández de Elche, España.
8. Cerveira, C., Pozebon, D., de Moraes, D. & De fraga, J. (2013). Speciation of inorganic arsenic in rice using hydride generation atomic absorption spectrometry (HG-AAS). *J. Name*. 00, 1-8.
9. Chen, F. (2007). *Evaluación del comportamiento agronómico de 18 materiales genéticos del cultivo de arroz (Oriza sativa L.), en la comunidad de Playitas, Chisec, Alta Verapaz*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
10. Chuchón, M., y Chumbipuma, M. E. (2016). *Determinación de plomo, cadmio y arsénico en arroz (Oryza Sativa) expendido en el mercado municipal 3 de febrero –distrito de la victoria provincia de lima - período de junio -noviembre 2015*. (Tesis de Licenciatura). Universidad

WIENER, Perú.

11. Ciminelli, V., Caldeira, C. & Ng, J. (2016). Dietary arsenic exposure in Brazil: The contribution of rice and beans. *Chemosphere*. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.111>
12. Commission EC (2015) Reglamento (UE) 2015/1006 de la comisión de 25 de junio de 2015 por el que se modifica el Reglamento (CE) no 1881/2006 en cuanto al contenido máximo de arsénico inorgánico en los productos alimenticios. Off J Eur Commun L161/14
13. Cubadda, F., Jackson, B. P., Cottingham, K. L., Ornelas, Y., Horne, V., & Kurzius-Spencer, M. (2017). Human exposure to dietary inorganic arsenic and other arsenic species: State of knowledge, gaps and uncertainties. *Science of the Total Environment*, 579, 1228–1239. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.108>
14. Cubadda, F., D'Amato, M., Aureli, F., Raggi, A., Mantovani, A., (2016). Dietary exposure of the Italian population to inorganic arsenic: the 2012–2014 Total diet study. *Food Chem. Toxicol.* 98, 148–158.
15. Deacon, C., Villada, A., Cambell, R. C. J., & Sun, G. (2009). Geographical Variation in Total and Inorganic Arsenic Content of Polished (White) Rice, *Environ. Sci. Technol.* 43(5), 1612–1617. <https://doi.org/10.1021/es802612a>
16. Echeverría, W. (1986). *Determinación de arsénico en carne de pollo, disponible en la ciudad de Guatemala para consumo humano*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
17. EFSA, (2014). Dietary exposure to inorganic arsenic in the European population. *EFSA Journal*, 12(3): p. 3597-3665
18. Estrella, J., y Yopez, K. (2017). *Determinación de la concentración de arsénico total en cultivos de arroz en la provincia de el oro y su relación con las propiedades físicas y químicas del suelo, agua y planta*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador.
19. Ettinger, A.S., Zota, A.R., Amarasiriwardene, C.J., Hopkins, M.R., Schwartz, J., Hu, H., Wright, R.O., (2009). Maternal arsenic exposure and impaired glucose tolerance during pregnancy. *Environ. Health Perspect.* 117:1059–1064. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp0800533>.
20. European Food Safety Authority. Scientific Opinion on Arsenic in Food. EFSA (2009). EFSA panel on contaminants in food chain (CONTAM) (doi:http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific_output/files/main_documents/1351.pdf)

21. García-Rico, L., Tejeda-Valenzuela, L., Vélez, D., & Montoro, R. (2012). Content of selenium, total and inorganic arsenic and bioaccessibility of arsenic in children diets of Mexico. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(8), 1725–1731. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5538>
22. García, M. V. (2010). *Determinación cuantitativa de cobre, arsénico, cadmio y plomo en rábano rojo (Raphanus sativus), que se cosecha en Planes de San Pedro Ojo de Agua, San Pedro Sacatepéquez Guatemala*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
23. He Y., Pedigo C., Lam B., Cheng Z., & Zheng Y. (2012). Bioaccessibility of arsenic in various types of rice in an in vitro gastrointestinal fluid system. *J Environ Sci Health*; 47(2):74-80. doi: 10.1080/03601234.2012.611431.
- 24 IARC (2006). Cobalt in hard metals and cobalt sulfate, gallium arsenide, indium phosphide and vanadium pentoxide. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum, 86: 1–294. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK321688/>
25. Internacional Agency for Research on Cancer., & World Health Organization. (2012). Arsenic, Metals, Fibers and Dusts. A review of human carcinogens. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans., 100C, 527. Retrieved from <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100C/>
26. Instituto Nacional de Estadística (INE). (2017). Nueva Canasta Básica Alimentaria-CBA- [Presentación de Power Point]. Recuperado de: https://ine.gob.gt/images/2017/PRESENTACION_FINAL_CBA.pdf
27. Instituto Nacional de Salud (INS). (2013). Perfil de riesgo de arsénico en arroz en Colombia. Imprenta nacional de colombia: Bogotá, Colombia.
28. Joint FAO/WHO food standards programme Codex Alimentarius Commission. (2016). Draft maximum level for inorganic arsenic in husked rice at Step 8 (para. 45, Appendix II). Recuperado de: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/zh/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-10%252FReport%252FREP16_CFe.pdf
29. Juhasz, A. L. et al. (2006). In vivo assessment of arsenic bioavailability in rice and its significance for human health risk assessment. *Environ. Health Perspect.* 114, 1826–1831.
30. Karagas, M.R., Tosteson, T.D., Morris, J.S., Demidenko, E., Mott, L.A., Heaney, J., Schned, A.,

- (2004). Incidence of transitional cell carcinoma of the bladder and arsenic exposure in New Hampshire. *Cancer Causes Control* 15:465–472. <http://dx.doi.org/10.1023/B:CACO.0000036452.55199.a3>.
31. Lai, P. Y., Cottingham, K. L., Steinmaus, C., Karagas, M. R., & Miller, M. D. (2015). Arsenic and Rice: Translating Research to Address Health Care Providers' Needs. *J Pediatr.*, 167(4), 797–803. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.07.003>
32. Laparra J. M., Vélez D., Barberá R., Farré R., Montoro R. (2005). Bioavailability of inorganic arsenic in cooked rice. Practical aspects for human health risk assessments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 8829-8833
33. Leonardi, G., Vahter, M., Clemens, F., Goessler, W., Gurzau, E., Hemminki, K., Hough, R., Koppova, K., Kumar, R., Rudnai, P., Surdu, S., Fletcher, T., (2012). Inorganic arsenic and basal cell carcinoma in areas of Hungary, Romania, and Slovakia: a case-control study. *Environ. Health Perspect.* 120:721–726. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1103534>
34. Li, X. W., Xie, K., Yue, B., Gong, Y. Y., Shao, Y., Shang, X. H., & Wu, Y. N. (2015). Inorganic arsenic contamination of rice from Chinese major rice-producing areas and exposure assessment in Chinese population. *Science China-Chemistry*, 58(12), 1898–1905. <https://doi.org/10.1007/s11426-015-5443-5>
35. Liang, F., Li, Y. L., Zhang, G. L., Tan, M. G., Lin, J., Liu, W., ... Lu, W. W. (2010). Total and speciated arsenic levels in rice from China. *Food Additives and Contaminants: Part A*, 27(6), 810–816. <https://doi.org/10.1080/19440041003636661>
36. Lopez, B. G., y Lopez, K. M. (2015). *Cuantificación de plomo y arsénico en el arroz del programa de alimentación y salud escolar de El Salvador*. (Tesis de licenciatura). Universidad de El Salvador, El Salvador.
37. Lynch, H.N., Greenberg, G.I., Pollock, M.C., Lewis, A.S., (2014). A comprehensive evaluation of inorganic arsenic in food and considerations for dietary intake analyses. *Sci. Total Environ.* 496, 299–313.
38. Marroquín, J. (2015). “Validación del método analítico para la determinación de plomo en sangre por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito en el laboratorio del Departamento de Toxicología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala”. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

39. Meharg, A. A. & Raab, A. (2010). Getting to the bottom of arsenic standards and guidelines. *Environ. Sci. Technol.* 44, 4395–4399.
40. Munera-Picazo S., Burló F., Carbonell-Barrachina A (2014). “Arsenic speciation in rice-based food for adults with celiac disease”. *Food Additives & Contaminants A* 31(8): 1358-1366.
41. Navas-Acien, A., Silbergeld, E.K., Pastor-Barriuso, R., Guallar, E., (2008). Arsenic exposure and prevalence of type 2 diabetes in US adults. *JAMA* 300:814–822. <http://dx.doi.org/10.1001/jama.300.7.814>.
42. Rahman A, et al. (2009) Arsenic exposure during pregnancy and size at birth: A prospective cohort study in Bangladesh. *Am J Epidemiol* 169:304–312.
43. Sabbagh de Mory, J. (1987). *Determinación de arsénico en huevos de gallina destinados para el consumo de la población*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
44. Schencke, V. P. (2010). *Determinación de elementos traza (Pb, Hg, Cd, As, Cu, Mn, Zn, Ca, Mg y Fe) en arroz (Oryza Sativa) y trigo mote (Triticum Aestivum) de diferentes marcas comerciales*. (Tesis de licenciatura). Universidad Austral de Chile, Chile.
45. Signes-Pastor, A. J., Carey, M., & Meharg, A. A. (2016). Inorganic arsenic in rice-based products for infants and young children. *Food Chemistry*, 191, 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.078>
46. Sohel, N., Persson, L.A., Rahman, M., Streatfield, P.K., Yunus, M., Ekström, E.-C., Vahter, M., (2009). Arsenic in drinking water and adult mortality: a population-based cohort study in rural Bangladesh. *Epidemiology* 20:824–830. <http://dx.doi.org/10.1097/EDE.0b013e3181bb56ec>.
47. Suárez, M., González-Delgado, J., González, D., Rubio, C. y Hardisson de la Torre, A. (2004). Análisis, diagnóstico y tratamiento de las intoxicaciones arsenicales. *Cuadernos de Medicina Forense* 35, 5-14.
48. Sutuc, G. (1988). *Cuantificación de arsénico en carne de res*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
49. Torres-Escribano, S., Leal, M., Vélez, D., & Montoro, R. (2008). Total and inorganic arsenic concentrations in rice sold in Spain, effect of cooking, and risk assessments. *Environmental Science and Technology*, 42(10), 3867–3872. <https://doi.org/10.1021/es071516m>

50. Torres-Escribano, S. (2011). *Bioaccesibilidad de arsénico y mercurio en alimentos con potencial riesgo toxicológico*. (Tesis doctoral). Universidad de Valencia, España.
51. Trenary, H. R. et al. (2012) An in vitro assessment of bioaccessibility of arsenicals in rice and the use of this estimate within a probabilistic exposure model. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 22, 369–375.
52. Turcios, J. (2010). *Determinación Cuantitativa de Arsénico, Cobre, Plomo y Cadmio en (Brasica Olereasa) brócoli que se cultiva en la parcela San José. Tecpán Municipio de Chipaltenango*. (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
53. WHO, (2011). EVALUATION OF CERTAIN CONTAMINANTS IN FOOD in Seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Recuperado de: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44514/1/WHO_TRS_959_eng.pdf
54. WHO (World Health Organization), (2010). Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JEFCA). Seventy-second meeting, Rome, 16-25 February 2010. Summary and conclusions, Issued 16th March 2010. http://www.who.int/foodsafety/chem/summary72_rev.pdf
55. Williams, P., Price, A., Raab, A., Hossain, S., Feldmann, J. & Meharg, A. (2005). Variation in arsenic speciation and concentration in paddy rice related to dietary exposure. *Environ Sci Technol*, 39: 5531–5540
56. Xue, J., Zartarian, V., Wang, S. W., Liu, S. V., & Georgopoulos, P. (2010). Probabilistic modeling of dietary arsenic exposure and dose and evaluation with 2003-2004 NHANES data. *Environmental Health Perspectives*, 118(3), 345–350. <https://doi.org/10.1289/ehp.0901205>

13. ANEXOS

Anexo1.

2.1 Material de estudio: Arroz

2.1.1 Aspectos Taxonómicos

Clase: Monocotyledoneae

Familia: Poaceae (gramineae)

Género: Oryza

Especie: Sativa

Nombre científico: (*Oryza Sativa L.*)

Nombres comunes: Arroz

2.1.2 Origen e Historia del Arroz

El cultivo del arroz comenzó hace casi 10,000 años, en muchas regiones húmedas de Asia tropical y subtropical. Posiblemente sea la India el país donde se cultivó por primera vez el arroz debido a que en ella abundaban los arrozales silvestres. Pero el desarrollo del cultivo tuvo lugar en China, desde sus tierras bajas a sus tierras altas. Probablemente hubo varias rutas por las cuales se introdujeron los arrozales de Asia a otras partes del mundo. (Chen, 2007).

Conocido en la India antigua como el "sostén de la raza humana," el arroz es tal vez el cultivo que mejor muestra las maravillas de la innovación por parte de los agricultores. Aclimatado en el sur de Asia hace aproximadamente 12,000 años (*Oryza sativa L.*) y después en el oeste de África, hoy constituye el alimento básico de alrededor de 2,400 millones de personas en el mundo ocupando el primer lugar en el mundo como alimento base de familias rurales y urbanas. Los agricultores y las agricultoras han gestado muchísimas variedades de este alimento básico, adaptándolas a una enorme diversidad de condiciones. (Chen, 2007).

2.2 Arsénico

2.2.1 Propiedades químicas y físicas

El arsénico (número atómico, 33, masa atómica relativa, 74.92) tiene propiedades químicas y físicas intermedias entre un metal y un no metal, y se refiere a menudo como metaloide o semi-metal. Pertenece al Grupo VA de la Tabla Periódica, y puede existir en cuatro estados de oxidación: -3, 0,

+3 y +5. El Arsenito (AsIII) y arseniato (AsV), son los estados de oxidación predominantes bajo condiciones reductoras y oxigenadas respectivamente (Internacional Agency for Research on Cancer. & World Health Organization, 2012).

Desde una perspectiva biológica y toxicológica, hay tres grupos principales de compuestos de arsénico:

- Compuestos inorgánicos de arsénico,
- Compuestos orgánicos de arsénico
- Gas arsina

De los compuestos inorgánicos de arsénico, el trióxido de arsénico, arsenito de sodio y tricloruro de arsénico son los compuestos trivalentes más comunes, y el pentóxido de arsénico, arsénico y arseniato (por ejemplo, arseniato de plomo y arseniato de calcio) son los compuestos pentavalentes más comunes. Los compuestos de arsénico orgánicos comunes incluyen ácido arsanílico, ácido metilarsonico, ácido dimetil-arsínico (ácido cacodílico) y arsenobetaína (IARC. & WHO, 2012)

2.2.2 Uso de los agentes

Arsénico y compuestos de arsénico se han producido y utilizado comercialmente durante siglos. Los usos actuales e históricos del arsénico incluyen fármacos, conservantes de madera, productos químicos agrícolas y aplicaciones en las industrias minera, metalúrgica, de vidrio y de semiconductores.

En la industria agrícola, el arsénico se ha utilizado históricamente en una variedad de aplicaciones, incluyendo pesticidas, herbicidas, insecticidas, desecantes de algodón, desgrasantes y esterilizantes de suelos.

Arsénico y sus derivados se utilizan para una variedad de otros fines industriales. El arsénico elemental se utiliza en la fabricación de aleaciones, particularmente con plomo (por ejemplo, en baterías de plomo-ácido) y cobre. El arseniuro de galio y la arsina son ampliamente utilizados en las industrias de semiconductores y electrónica. Debido a su alta movilidad de electrones, así como a las propiedades fotovoltaicas, electromagnéticas y de emisión de luz, el arseniuro de galio se utiliza en dispositivos semiconductores de alta velocidad, microondas de alta potencia y dispositivos de ondas milimétricas, y dispositivos optoelectrónicos, incluyendo fibra óptica fuentes y detectores. La arsina se utiliza como agente dopante para fabricar cristales para chips de computadora y fibra óptica (IARC. & WHO, 2012).

2.2.3 Ocurrencia ambiental

El arsénico es el vigésimo elemento más común en la corteza terrestre, y es emitido al medio ambiente como resultado de la actividad volcánica y las actividades industriales. La minería, la fundición de metales no ferrosos y la quema de combustibles fósiles son las principales fuentes antropogénicas de contaminación por arsénico del aire, el agua y el suelo (principalmente en forma de trióxido de arsénico). El uso histórico de plaguicidas que contienen arsénico ha dejado grandes extensiones de tierras agrícolas contaminadas. El uso del arsénico en la conservación de la madera también ha llevado a la contaminación del medio ambiente (IARC, 2006).

- **Aire**

Es emitido a la atmósfera de fuentes naturales y antropogénicas. Se calcula que aproximadamente un tercio del flujo atmosférico global de arsénico proviene de fuentes naturales (7900 toneladas por año). La actividad volcánica es el contribuyente natural más importante, seguido por la volatilización a baja temperatura, los exudados de la vegetación y el polvo sacado por el viento. Se estima que las fuentes antropogénicas representan casi 24000 toneladas de arsénico emitido a la atmósfera global por año. Estas emisiones provienen de la extracción y fundición de metales básicos, la combustión de combustibles (por ejemplo, desechos y carbón de bajo grado) y el uso de plaguicidas basados en arsénico.

El arsénico está presente en el aire de zonas suburbanas, urbanas e industriales principalmente como partículas inorgánicas (una mezcla variable de AsIII y AsV, predominando la forma pentavalente) (IARC. & WHO, 2012).

- **Agua**

El arsénico, procedente de fuentes tanto naturales como antropogénicas, es transportado principalmente en el medio ambiente por el agua. La forma y concentración depende de varios factores, incluyendo si el agua está oxigenada (por ejemplo, los arsenitos predominan en condiciones reductoras como las que se encuentran en aguas profundas), el grado de actividad biológica (que está asociado con la conversión de arsénico inorgánico a ácidos arsénicos metilados), el tipo de fuente de agua (por ejemplo, agua de mar de superficie abierta frente a agua dulce de superficie frente a agua subterránea) y la proximidad de la fuente de agua a formaciones geológicas ricas en arsénico y otras fuentes antropogénicas (IARC. & WHO, 2012).

- **Suelos y sedimentos**

Contaminados tanto por fuentes naturales como antropogénicas. Las concentraciones medias de fondo en el suelo son a menudo alrededor de 5 mg/kg, pero pueden oscilar entre 1 mg/kg y 40 mg/kg. Esta variación en los niveles de arsénico natural en los suelos se asocia con la presencia de formaciones geológicas (por ejemplo, minerales de sulfuro, sedimentos minerales debajo de turberas). Los suelos contaminados con arsénico procedentes de fuentes antropogénicas (por ejemplo, desechos de minas/fundiciones, tierras agrícolas tratadas con plaguicidas arsenicales) pueden tener concentraciones de arsénico de hasta varios gramos por kilogramo. Las concentraciones medias de arsénico en los sedimentos oscilan entre 5-3000 mg/kg, y los niveles más altos ocurren en áreas de contaminación antropogénica (IARC. & WHO, 2012).

2.3 Exposición humana al arsénico

La principal vía de exposición al arsénico para la población general es a través de la ingestión de alimentos o agua contaminada. La inhalación de arsénico del aire ambiente es generalmente una vía de exposición menor para la población general.

Con base en los datos disponibles sobre la ingesta alimentaria, los alimentos que más contribuyen a la exposición de la iAs son: el arroz y productos derivados, los cereales de trigo, ciertas verduras, frutas y jugos de frutas, el agua, bebidas no alcohólicas y alcohólicas (Cubadda, Amato, Aureli, Raggi & Mantovani 2016). La comprensión de los niveles de iAs y las proporciones de este al arsénico total en cada uno de estos grupos de alimentos es importante desde la perspectiva de la evaluación del riesgo y para identificar posibles medios para reducir la exposición (Cubadda et al., 2017).

Estos alimentos se pueden clasificar en dos clases principales. El primero está representado por alimentos que normalmente tienen niveles relativamente altos a muy altos (es decir, decenas a miles de ng/g) de iAs, tales como arroz, la mayoría de mariscos y algas marinas. El arroz es una excepción entre los cereales en términos de contenido de agua debido a la capacidad de la planta para tomar y translocar iAs al grano, y el medio semiaquático de cultivo anaerobio (campo de arroz), que favorece la absorción de raíz de iAs (Cubadda et al., 2017).

Los niveles de iAs en el arroz varían ampliamente dentro y entre las regiones del mundo, pero los valores varían alrededor de 100 ng/g siendo los más comunes a 130 ng/g (Lynch, Greenberg, Pollock & Lewis, 2014).

La segunda clase de alimentos está representada por el trigo junto con productos derivados, verduras y frutas (y productos derivados), agua y bebidas. En ausencia de contaminación ambiental por arsénico, estos productos tienen generalmente concentraciones de iAs relativamente bajas (< 20 ng/g en muchos casos < 10 ng/g para alimentos sólidos, ≤ 5 ng/g de bebidas y ≤ 1 $\mu\text{g/L}$ para el agua) pero contribuyen a la exposición de iAs debido a sus altos niveles de consumo (Cubadda et al., 2017).

2.3.1 Exposición ocupacional

La inhalación de partículas que contienen arsénico es la principal vía de exposición ocupacional, pero la ingestión y la exposición dérmica pueden ser significativas en situaciones particulares (por ejemplo, durante la preparación de la madera tratada con arseniato de cobre cromado). Históricamente, la mayor exposición ocupacional al arsénico se produjo en la fundición de metales no ferrosos, en los que se utilizan comúnmente minerales arseníferos. Otras industrias o actividades industriales en las que los trabajadores están expuestos al arsénico incluyen: plantas de carbón, montaje de baterías, preparación o trabajo con madera tratada a presión, fabricación de vidrio y la industria electrónica (IARC. & WHO, 2012)..

2.3.2 Toxicocinética

Las principales vías de entrada del As al organismo son el tracto gastrointestinal (TGI) y el respiratorio. La absorción por vía dérmica es baja y alcanza solamente el 2%.

a) Absorción: En los seres humanos, y en la mayoría de las especies animales, la absorción de compuestos arsenicales a través del TGI es alta (95%) cuando se administran en solución acuosa. La absorción de As por vía respiratoria depende del tamaño de las partículas inhaladas, de su solubilidad y de la forma química del compuesto. La principal forma química presente en el aire es el As (III), el cual es de origen antropogénico. Las partículas grandes se depositan en las vías superiores, son removidas por el movimiento ciliar y transportadas al TGI, en donde son absorbidas dependiendo de su solubilidad. Las partículas menores de $7\mu\text{m}$ se absorben en un 75% a 85%. (56)

b) Distribución: Los arsenicales tienden a acumularse principalmente en el hígado, riñón, pulmón y bazo. El As (III) se une preferentemente a los grupos sulfhidrilo de proteínas como la queratina, por lo que se deposita en pelo y uñas

c) Biotransformación: El metabolismo del As se realiza principalmente en el hígado y, aunque su mecanismo no está bien establecido, se propone que en él intervienen dos procesos:

- Reacciones de reducción que convierten el As (V) en As (III), y

- Reacciones de metilación oxidativa que transforma el As (III) en especies metiladas

En microorganismos puede ocurrir una tercera metilación, que genera compuestos trimetilados, los cuales se consideran poco tóxicos.

d) Excreción: El As se elimina principalmente por el riñón en forma de DMA (50-70%). Una parte (20%) se excreta sin metilar, en la orina. El As tiene una media corta, los valores descritos en orina de hámster son de 28,6 h para arsénico inorgánico, 7,4 h para MMA y 5,6 h para DMA. Las proporciones relativas de As (III), As (V), MMA y DMA en la orina pueden variar, dependiendo de la forma química, el tiempo de exposición, la dosis y la especie animal expuesta (Chuchón y Chumbipuma, 2016).

2.4 Legislación del arsénico en alimentos

En su trigésima novena sesión realizada el 27 de junio de 2016 la comisión del Codex Alimentarius acordó un límite máximo permisible de arsénico en arroz descascarado de no más de 0,35 mg/Kg de arroz, para proteger a los consumidores de la exposición excesiva (FAO/WHO, 2016). Por su parte la Unión Europea modificó el reglamento No. 1881/2006 el 25 de junio de 2015 en cuanto al contenido máximo de arsénico en productos alimenticios, quedando como sigue: 0,20 mg/Kg de arroz elaborado (blanco) y 0,25 mg/Kg de arroz descascarado y sancochado (integral y precocido) (EC, 2015).

2.6 Espectrofotometría de absorción atómica

En química analítica, la espectrometría de absorción atómica es una técnica para determinar la concentración de un elemento metálico determinado en una muestra. Puede utilizarse para analizar la concentración de más de 62 metales diferentes en una solución. Aunque la espectrometría de absorción atómica data del siglo XIX, la forma moderna fue desarrollada en gran medida durante la década de 1950 por un equipo de químicos de Australia, dirigidos por Alan Walsh. (Suárez, González-Delgado, Gonzales, Rubio y Hardisson de la Torre, 2004)

2.6.1 Principios en los que se basa la espectrometría de absorción atómica

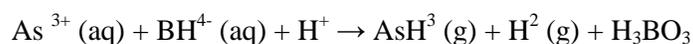
La técnica hace uso de la espectrometría de absorción para evaluar la concentración de un analito en una muestra. Se basa en gran medida en la ley de Beer-Lambert. En resumen, los electrones de los átomos en el atomizador pueden ser promovidos a orbitales más altos por un instante mediante la absorción de una cantidad de energía (es decir, luz de una determinada longitud de onda). Esta cantidad de energía (o longitud de onda) se refiere específicamente a una transición de electrones en un elemento particular, y en general, cada longitud de onda corresponde a un solo elemento. (Suárez

y Gonzales, 2004) Como la cantidad de energía que se pone en la llama es conocida, y la cantidad restante en el otro lado (el detector) se puede medir, es posible, a partir de la ley de BeerLambert, calcular cuántas de estas transiciones tienen lugar, y así obtener una señal que es proporcional a la concentración del elemento que se mide. (Suárez et.al., 2004).

2.6.2 Medición de arsénico total por espectrometría de absorción atómica con generación de hidruros

Esta técnica consiste en la volatilización de hidruros de arsénico o arsina (H_3As) por acción de agentes reductores en medio ácido. La base en la que se fundamenta esta técnica es la transformación de los compuestos minerales de As obtenidos tras la correspondiente mineralización/digestión, en un hidruro de arsénico o arsina, por medio de un agente reductor, como es el borohidruro de sodio (NaBH_4) en medio ácido (HCl 10 %). (Cano, 2014).

Las reacciones químicas que rigen esta técnica para el caso del arsénico son:



Anexo2.**Método de extracción de arsénico total en medio alcalino:**

- a. Pesar 250 mg de arroz
- b. Agregar 1 mL de ácido nítrico HNO_3 10% v/v y 2 mL de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ al 2% p/v
- c. Calentar la mezcla en baño maría a 80 – 90 °C por 3 horas
- d. Dejar enfriar a temperatura ambiente
- e. Llevar el volumen a 10 mL con agua purificada
- f. Centrifugar a 1600 rpm por 5 minutos. La disolución final obtenida se introduce en tubos de ensayo codificados.

Estándares de trabajo

- a. En balones aforados de capacidad 25.00 mL, preparar cinco estándares de trabajo de concentraciones 1.5, 3.0, 6.0, 9.0 y 12 $\mu\text{g/L}$. A cada uno agregar los siguientes volúmenes:

Concentración de estándares de trabajo ($\mu\text{g/L}$)	Volumen de disolución stock (μL)
Blanco	---
1.5	37.5
3.0	75.0
6.0	150.0
9.0	225.0
12.0	300.0



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
Escuela de Química Farmacéutica
Departamento de Toxicología
Centro de Información y Asesoría Toxicológica -CIAT-

Informe Técnico: Determinación de arsénico en muestras de arroz comercializadas en los supermercados de Guatemala

El arroz constituye la base de la dieta para la mitad de la población mundial, especialmente en los países en vías de desarrollo en los cuales llega a aportar hasta el 70% de la energía diaria. Es una matriz compleja formada por carbohidratos, proteínas, grasas, fibra y minerales. Este cereal, sin embargo, contiene también elementos traza tóxicos como el arsénico (As); la contaminación del cultivo de arroz con As puede presentarse a través del suelo, el agua utilizada durante el cultivo (riego, preparación de plaguicidas), y factores especiales asociados a otras actividades antropogénicas. Es importante su determinación ya que se ha demostrado que la exposición a largo plazo se asocia con la aparición de lesiones cutáneas, neuropatía periférica, síntomas gastrointestinales, aumento en el riesgo de diabetes, efectos sobre el sistema renal, enfermedades cardiovasculares y cáncer.

Resultados

El contenido de arsénico total encontrado en cada marca y tipo de arroz se muestra en la Tabla 1. Las concentraciones totales de arsénico estuvieron en un rango de 0.46-0.49mg/Kg en el arroz integral, 0.31-0.57 mg/Kg en el arroz precocido y 0.24-0.29 mg/Kg en el arroz blanco. Los niveles más altos de arsénico total se detectaron en las muestras 2 GDI (0.49 mg/Kg), 3 IAI (0.46 mg/Kg) y 4 ABP (0.57 mg/kg). El promedio de arsénico en arroz fue de 0.35 mg/Kg en las marcas trabajadas.

Tabla 1. Concentraciones de arsénico (As) total en muestras de arroz comercializadas en las cadenas de supermercados de la ciudad de Guatemala

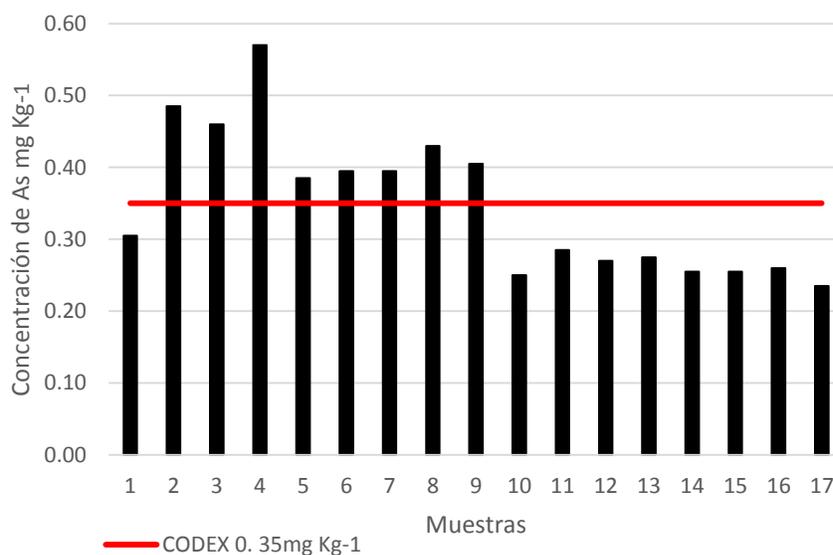
Límite: Codex Alimentarius (0.35 mg/Kg)					
Límite Unión Europea (0.25 mg/Kg precocido e integral y 0.20 mg/Kg blanco)					
Mx	Tipo de arroz	Replicas	Señal	As mg/Kg	\bar{x} As mg/Kg
1	Precocido	2	0.038	0.31	0.31
	GDP		0.038	0.30	
2	Integral	2	0.059	0.48	0.49
	GDI		0.061	0.49	
3	Integral	2	0.052	0.42	0.46
	IAI		0.063	0.50	
4	Precocido	2	0.075	0.60	0.57

	ABP		0.068	0.54	
5	Precocido	2	0.042	0.34	0.39
	SNP		0.054	0.43	
6	Precocido	2	0.050	0.40	0.40
	MCP		0.048	0.39	
7	Precocido	2	0.054	0.44	0.40
	SBP		0.043	0.35	
8	Precocido	2	0.053	0.42	0.43
	ETP		0.055	0.44	
9	Precocido	2	0.051	0.41	0.41
	SLP		0.049	0.40	
10	Blanco	2	0.036	0.30	0.25
	EMB		0.023	0.20	
11	Blanco	2	0.035	0.29	0.29
	ABB		0.035	0.28	
12	Blanco	2	0.033	0.27	0.27
	SLB		0.034	0.27	
13	Blanco	2	0.037	0.30	0.28
	SBB		0.031	0.25	
14	Blanco	2	0.032	0.26	0.26
	SNB		0.030	0.25	
15	Blanco	2	0.031	0.25	0.26
	MCB		0.033	0.26	
16	Blanco	2	0.030	0.24	0.26
	ARB		0.034	0.28	
17	Blanco	2	0.033	0.26	0.24
	OMB		0.025	0.21	
Promedio 0.35 mg/Kg					

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

En el gráfico 1 se compara las concentraciones de arsénico presentes en las muestras con el valor máximo permitido (no más de 0.35 mg/Kg de arroz) por la comisión del Codex Alimentarius, se observa que 8 muestras sobrepasan el límite establecido por la normativa.

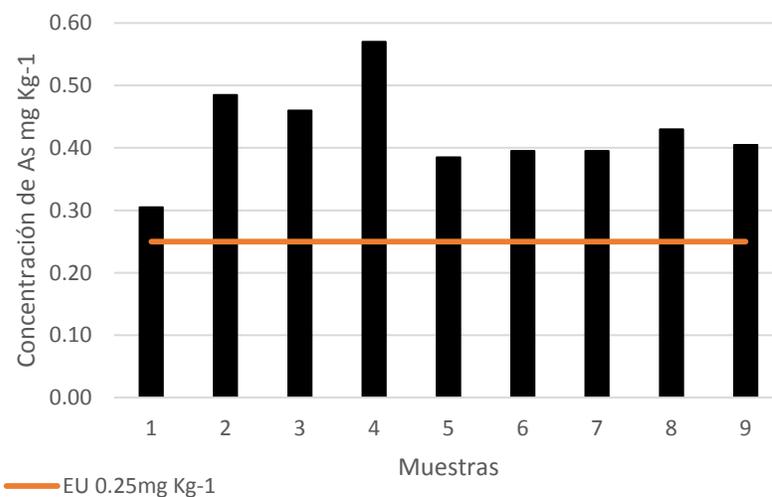
Gráfico 1 Comparación de las concentraciones de arsénico obtenidas con la norma del CODEX



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

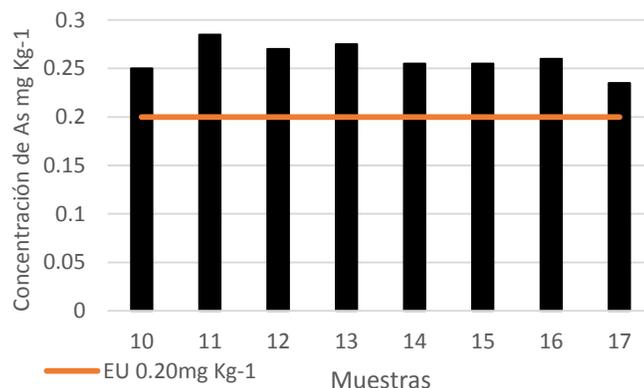
En el gráfico 2 y 3 se comparan las concentraciones de arsénico presentes en las muestras con el valor máximo permitido por Unión Europea para arroz integral y precocido (no más de 0.25 mg/Kg de arroz) y para arroz blanco (no más de 0.20 mg/Kg) respectivamente, se observa que todas las muestras sobrepasan el límite establecido por la normativa.

Gráfico 2 Comparación de las concentraciones de arsénico obtenidas con la norma de la Unión Europea para arroz integral y precocido



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

Gráfico 3 Comparación de las concentraciones de arsénico obtenidas con la norma de la Unión Europea para arroz blanco



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

Materiales y Métodos

1. Alcance

Este procedimiento operativo estándar especifica un método para la determinación del contenido de arsénico total en arroz mediante espectrometría de adsorción atómica de generación de hidruros de inyección de flujo (FI-HG-AAS).

2. Equipos

- 2.1 Espectrofotómetro de absorción atómica PerkinElmer, AAnalyst 700 asociado con un sistema de inyección de flujo FIAS 100 y auto muestreador S10.
- 2.2 Ultra purificador de agua Thermo Scientific, 7416 - Barnstead NANOpure Diamond Water Purification
- 2.3 Lámpara HDL para arsénico Lumina™ 2 PerkinElmer, Series N30501XX
- 2.4 Centrifugadora Fisher Scientific, 225 Centrifug™
- 2.5 Balanza analítica Nimbus®, NBL- 214i
- 2.6 Horno de microondas Berghof, Speedwave 4
- 2.7 Molino eléctrico Mr. Coffee®, Blade Grinder - Black IDS57-NP
- 2.8 Pipetas de émbolo émbolo Transferpette® S BRAND de: 100-1000µL, D-1000; 500-5000µL, D-5000 y 1000-10000µL, D-10000
- 2.9 Refrigerador

3. Reactivos

- 3.1 Agua ultrapura desionizada mediante el sistema Milli-Q (MILLIPORE, Gif-Sur Yvette, Francia), de conductividad eléctrica = 0.055 µs/cm
- 3.2 Ácido nítrico (HNO₃) concentrado al 65 % Merck grado Reag. Ph Eur, ISO

3.3 Ácido clorhídrico (HCl) concentrado al 37 % Merck grado Reag. Ph Eur,ISO

3.4 Borohidruro sódico (NaBH₄) pureza del 99 % Merck grado Reag.

3.5 Hidróxido de sodio (NaOH) riqueza del 98 % Merck grado Reag. Ph Eur,ISO

3.6 Yoduro de potasio (KI) grado ISO,Reag. Ph Eur

3.7 Ácido ascórbico (C₆H₈O₆) grado ACS,ISO,Reag. Ph Eur

3.8 Estándar de arsénico de 1000 mg/L trazable al SRM de NIST H₃AsO₄ en HNO₃ 0.5 mol/L.

4. Limpieza

Para el material de vidrio y frascos de politetrafluoroetileno-alcanos perfluoroalcoxi (PTFE-PFA) del horno de microondas. Lavar previamente con agua desionizada y jabón neutro (sin fosfatos) y posteriormente se enjuagar con agua ultrapura. Tras este lavado inicial se realiza un baño con una disolución de ácido nítrico (HNO₃) al 30 % v/v durante 24 horas. Tras este periodo se enjuagan con agua desionizada seguida de agua ultrapura desionizada por triplicado para ser secado finalmente al aire.



5. Preparación de la curva de calibración en tubos de reacción de arsénico de polipropileno graduados

	Blanco	Std. 1.5 µg/L	Std. 3 µg/L	Std. 6 µg/L	Std. 9 µg/L	Std. 12 µg/L
H₂O	20 mL	19.7 mL	19.4 mL	18.8 mL	18.2 mL	17.6 mL
HCl 32%	12 mL	12 mL	12 mL	12 mL	12 mL	12 mL
Std. As 100 µg/L	-----	300 µL	600 µL	1200 µL	1800 µL	2400 µL
Á. ascórbico 1%	2 mL	2 mL	2 mL	2 mL	2 mL	2 mL
Yoduro de potasio 1%	2 mL	2 mL	2 mL	2 mL	2 mL	2 mL

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química

Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

5.1 Preparación de disolución Stock (1 mg/L)

- En un balón aforado de capacidad 10 mL, agregar 0.1 mL de estándar de arsénico de 1000 mg/L trazable al SRM de NIST H_3AsO_4 en HNO_3 0.5 mol/L y aforar con ácido clorhídrico al 0.5%.
- Agregar 250 μL de la solución del numeral a y aforar con ácido clorhídrico al 0.5% en un balón de 25 mL.



6. Preparación de la muestra

- Moler las muestras en un molino eléctrico hasta la obtención de la harina homogénea de arroz.
- Entre la molienda de cada marca se deberá lavar previamente el molino con agua desionizada y jabón neutro (sin fosfatos) y posteriormente enjuagar con agua ultrapura.
- Envasar en bolsas de plástico cerradas herméticamente y debidamente codificadas.
- Introducir en un desecador para evitar la rehidratación durante todo el experimento.

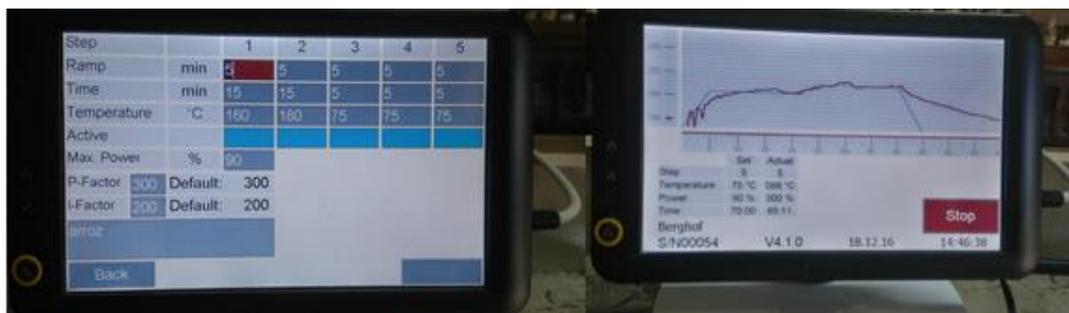


7. Programa de calentamiento de microondas para la digestión de arroz

Step	Rampa (min)	Tiempo (min)	Temperatura °C
1	5	15	160
2	5	15	180
3	5	5	75
4	5	5	75
5	5	5	75

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química

Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.



8. Digestión de la muestra

7.1 Añadir 5 ml de 0.14 mol/L de HNO_3 a 500 mg de muestra previamente molidas en el matraz para horno de microondas

7.2 Dejar reposar durante 12 h (durante la noche). Posteriormente, se aplica radiación microondas (paso 6).

7.3 Transferir a un vial de polipropileno graduado y elevar el volumen a 14 ml añadiendo 0.14 mol/L de HNO_3



9. Medidas instrumentales utilizadas para la determinación de arsénico en muestras de arroz

8.1 Centrifugar a 1600 rpm durante 10 minutos.



8.2 Del compuesto acuoso obtenido tomar alícuotas de 5 mL y se agregará 6 mL de ácido clorhídrico al 32% v/v, 1 mL de ácido ascórbico al 1% p/v y 1 mL de yoduro de potasio al 1% p/v. posterior a esto realizar las lecturas de las muestras en absorción atómica por generador de hidruros.



Generación de hidruros		Medidas instrumentales	
HCl % (v/v)	NaBH ₄ % (m/v)	Alineación de la celda	Absorbancia
3	0.5	0.672	193.7nm

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio del Departamento de Toxicología Escuela de Química Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.



10. Cálculos

$$\text{Total As (mg/kg)} = \frac{14 \cdot 10 (Cx)}{5 \cdot 1000 \cdot w}$$

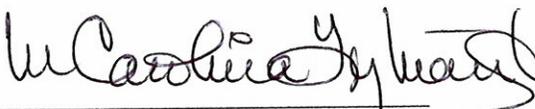
Cx = concentración de arsénico ($\mu\text{g/L}$)

W = Peso de la muestra (Kg)



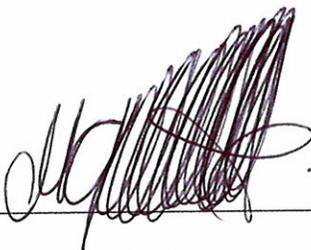
Br. Laura Esther Valiente Palma

Autora



MSc. Carolina Guzmán Quilo

Asesora



Licda. María Gabriela Chaulón Vélez

Revisora



M.A. Raquel Pérez Obregón

Directora de Escuela de Química Farmacéutica



Ph.D. Rubén Dariel Velásquez Miranda

Decano de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.