



Documentos ***Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos***

Primera edición

PERFIL DEL RIESGO
Arsenico en arroz Colombia



MinSalud
Ministerio de Salud
y Protección Social

**PROSPERIDAD
PARA TODOS**



**INSTITUTO
NACIONAL DE
SALUD**

DOCUMENTOS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS EN INOCUIDAD DE ALIMENTOS

PERFIL DE RIESGO DE ARSÉNICO EN ARROZ EN COLOMBIA

**INSTITUTO NACIONAL DE SALUD
MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL**

REPÚBLICA DE COLOMBIA

Bogotá, Abril de 2013

PERFIL DE RIESGO DE ARSÉNICO EN ARROZ EN COLOMBIA

Instituto Nacional de Salud INS
Unidad de Evaluación de Riesgos para la Inocuidad de los Alimentos UERIA
Ministerio de Salud y Protección Social

Primera edición
Bogotá D.C., 2013

©Queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento, por cualquier medio escrito o visual, sin previa autorización del Instituto Nacional de Salud.

Impresión: Imprenta Nacional de Colombia
Foto portada: www.camyna.com/2014/07/08/el-cuento-del-arroz

ISBN: 978-958-13-0171-3



MinSalud
Ministerio de Salud
y Protección Social

**PROSPERIDAD
PARA TODOS**

ALEJANDRO GAVIRIA URIBE
Ministro de Salud y Protección Social

FERNANDO RUIZ GÓMEZ
Viceministro de Salud Pública
y Prestación de Servicios

NORMAN JULIO MUÑOZ MUÑOZ
Viceministro de Protección Social

GERARDO BURGOS BERNAL
Secretario General

LENIS ENRIQUE URQUIJO VELÁSQUEZ
Dirección de Promoción y Prevención

OFICINA ASESORA DE COMUNICACIONES

FERNANDO DE LA HOZ
Director General Instituto Nacional de Salud

MANCEL ENRIQUE MARTÍNEZ DURÁN
Director de Vigilancia y Análisis
de Riesgo en Salud Pública

DIANA XIMENA CORREA LIZARAZO
Coordinadora Grupo de Evaluación de
Riesgos en Inocuidad de Alimentos

Angelica OLAYA, Editor
Giovanni SANABRIA, Diseño y diagramación
Joshep RUANO, Ilustraciones
Grupo de Comunicación del Riesgo



**INSTITUTO
NACIONAL DE
SALUD**

GRUPO DE REDACCIÓN

(Por orden alfabético)

Natalia Milena ACOSTA AMADOR, Microbióloga, Esp. en Epidemiología, Magister en Administración en Salud

Ana Karina CARRASCAL CAMACHO, Bacterióloga, MSc. en Microbiología

Diana Ximena CORREA LIZARAZO, Ingeniera de alimentos, MSc. en Ciencia de los Alimentos

Ángela María OTÁLVARO ÁLVAREZ, Ing. Qca. MSc Ing. Qca. Dra. Ing. Qca.

Henry REYES PINEDA, Ing. Qco. Esp.Dr. en Ing. Qca. y Nuclear.

Iván Camilo SÁNCHEZ BARRERA, Ing. Qco. Esp. MSc. Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Gonzalo TABORDA OCAMPO, Qco. Esp.MSc. PhD.en Química

REVISORES CIENTÍFICOS

Revisores Internacionales

Silvia RESNIK, Consultora OMS-FAO.

Alicia FERNÁNDEZ CIRELLI, Directora, Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires.

Rodolfo G. WUILLOUND, Profesor de Química Analítica, Laboratorio de Química Analítica para la Investigación y el Desarrollo (QUIANID), Instituto de Ciencias Básicas - Universidad Nacional de Cuyo.

Revisores Nacionales

Instituto Nacional de Cancerología, Subdirección de Investigaciones.

Nancy ESPINOSA, Profesional Especializado de la Dirección de Alimentos y Bebidas Alcohólicas (INVIMA), reunión 26 de abril de 2012.

Alejandro ESTÉVEZ, Profesional Especializado de la Dirección de Alimentos y Bebidas Alcohólicas (INVIMA), reunión 23 de noviembre de 2012.

Claudia MORENO, Profesional Especializado del Ministerio de Salud y Protección Social.

Mónica Sofía CORTÉS, Bacteriólogo y Laboratorista Clínico, Mg. Gerencia de Programas Sanitarios y de Inocuidad de Alimentos. Asesora Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Bibiana Carolina BARÓN, Mendoza, Bióloga, Magister en Inocuidad, Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos -UERIA-

Yuly Andrea GAMBOA MARÍN, Bacteriólogo y Laboratorista Clínico, MSc. Microbiología. Mg. Gerencia de Programas Sanitarios y de Inocuidad de Alimentos. Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos –UERIA-

Jazmín Mercedes MANTILLA PULIDO. Médico Veterinario, MSc en Salud Animal. Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos – UERIA-

Maria Pilar MONTOYA. Microbióloga Agrícola y Veterinaria. Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos –UERIA-

MIEMBROS QUE COLABORARON EN LA REVISIÓN EN RESPUESTA A UNA PETICIÓN PÚBLICA DE OBSERVACIONES

Alexander SALINAS RUIZ, Dirección de Alimentos y Bebidas Alcohólicas (INVIMA)

Román RAMÍREZ, Docente, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Tunja.

Francisco GARCÉS, Ing. de Producción Agroindustrial, MSc. Diseño y Gestión de Procesos, PhD. Student Biosystems Engineering.

Teresa PÉREZ, Química Farmacéutica, Especialista en Epidemiología, MSc. en Toxicología.

RESUMEN

La UERIA, a través de un panel de expertos y por solicitud del INVIMA y del Ministerio de Salud y Protección Social, realizó un perfil de riesgo tendiente a establecer los factores de riesgo asociados a la exposición al Arsénico (As) a través del arroz y analizar si el contenido de As en el arroz consumido en el país representa un peligro para los consumidores. Para ello, este documento incluyó: la definición del peligro, la caracterización de la cadena, las fuentes de exposición a As en la cadena del arroz, la evaluación de la exposición, las patologías asociadas a la ingesta de As y las posibles medidas de control.

El As puede estar presente de forma natural en el ambiente o puede provenir de actividades antropogénicas. La presencia de As en el arroz, tanto en su forma orgánica como inorgánica, es un peligro potencial para la salud, teniendo en cuenta los niveles de toxicidad de esta sustancia. En Colombia, la población puede verse expuesta a este elemento a través del consumo de arroz, puesto que este cereal es base fundamental de la dieta y una de las principales fuentes de calorías para la población.

La exposición prolongada a altas concentraciones de As puede producir arsenicosis, cuyos síntomas más frecuentes están relacionados con alteraciones en la piel, aunque en los casos más graves puede derivar en diversos tipos de cáncer. También se asocian al As enfermedades de los vasos sanguíneos de extremidades inferiores, y posiblemente trastornos como la diabetes, presión arterial alta y afecciones sobre la reproducción. Se identificaron todas las patologías que puede sufrir un individuo expuesto al consumo de arroz contaminado con As, notándose que el diagnóstico, seguimiento y control es complejo. El impacto en la salud humana por causa de la exposición al As depende de la dosis, la modalidad y la duración de la exposición, así como la fuente y el tipo de As.

Durante la revisión bibliográfica llevada a cabo por los expertos, se identificó que las posibles fuentes de contaminación por este metaloide en el arroz, son el agua y el suelo. Se identificaron como factores de riesgo que potencian esta contaminación, el riego por inundación, el uso de suelo contaminado

con As, la cercanía a zonas de explotación minera, la forma de preparación y el tipo de procesamiento: parbolizado, integral o blanco. Del análisis de información desarrollado, se evidencia que la principal fuente de exposición al As del cultivo de arroz está asociada al agua de riego contaminada.

Por otro lado, se revisaron los datos del contenido de As en muestras de arroz suministrados por el INVIMA para el año 2010, correspondientes a los departamentos del Meta y Huila, estableciendo que en todas las muestras existe presencia de As, con concentraciones entre 0,0057 y 0,0192 mg/kg, para la cosecha del segundo semestre; mientras que en las muestras del primer semestre sólo el 25% de las muestras presentó contaminación con As, con concentraciones entre de 0,004-0,010 mg/kg (Laboratorio de Referencia de Análisis Fisicoquímico de Alimentos del INVIMA).

Con estos valores, se estimó la exposición diaria a As total a través del consumo de arroz por kg de peso, tomando como base un consumo promedio de arroz de 114 g/día, los resultados mostraron un promedio de 1,114 µg/kg/día. A partir de la documentación revisada, y de los cálculos estimados se encontró que con la contaminación actual, la ingesta de arroz en Colombia suscita una preocupación en salud pública, especialmente para la población infantil (niños de 2- 3 años), sin que se haya superado el umbral toxicológico.

Sin embargo, se hace necesario investigar y analizar los retos que enfrentamos ante los diversos tratados de libre comercio (TLC), ya que en unos años entrará en volúmenes importantes al mercado colombiano arroz proveniente de otros países.

Contenido

RESUMEN	9
1. JUSTIFICACIÓN, TÉRMINOS DE REFERENCIA, ALCANCE Y OBJETIVOS	17
1.2 TÉRMINOS DE REFERENCIA	19
1.3 ALCANCE	19
2. INTRODUCCIÓN	21
3. COMBINACIÓN: PELIGRO / ALIMENTO	23
3.1 ARSÉNICO	23
3.1.1 Propiedades fisicoquímicas	23
3.1.2 Formas del Arsénico: orgánico e inorgánico	24
3.1.3 Ciclos del arsénico	25
3.1.4 Fuentes de contaminación por arsénico	28
3.1.5 Métodos de detección	32
3.2 EL ARROZ	34
3.2.1 Características generales del arroz.	34
3.2.2 Producción mundial del arroz	35
3.2.3 Cadena del arroz en Colombia	37
3.2.5 Procesamiento del arroz	38
3.3 PRESENCIA DE ARSÉNICO EN EL ARROZ.	40
3.3.1 Contaminación del arroz a través del suelo	40
3.3.2 Minería en Colombia	42
3.3.3 Contaminación del arroz con As a través del agua	44
3.3.4 Contaminación con As del arroz a través de plaguicidas	47
3.3.5 Contaminación durante el procesamiento	48
3.3.6 Contaminación durante los procesos de cocción	49
3.3.7 Producción de arroz en Colombia	50
3.3.8 Presencia de As en derivados del arroz	57
4. EFECTOS ADVERSOS EN SALUD ASOCIADOS AL PELIGRO	59
4.1 TOXICOCINÉTICA DEL As.	59
4.1.1 Absorción	59
4.1.2 Distribución	60
4.1.3 Metabolismo	60
4.1.4 Ruta metabólica del As en el cuerpo humano.	62
4.1.5 Excreción	63
4.2 MECANISMOS DE TOXICIDAD (TOXICODINÁMICA DEL ARSÉNICO).	64
4.3 INTOXICACIONES AGUDA Y SUBAGUDA	65
4.4 INTOXICACIONES CRÓNICAS	66

5. REPORTES DE CASOS DE ARSENICOSIS	69
5.1 ÁMBITO INTERNACIONAL (INCIDENCIA Y PREVALENCIA)	69
5.1.1 Reportes de casos:	69
5.2 ÁMBITO NACIONAL (INCIDENCIA Y PREVALENCIA)	69
5.2.1 Reportes de caso	69
5.3 ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS	69
5.3.1 Internacional:	69
5.3.2 Nacional:	69
5.4 GRUPO RIESGO	69
5.5 RELACIÓN DOSIS- RESPUESTA	70
5.6 CONSIDERACIONES SOCIO-DEMOGRÁFICAS	71
5.6.1 Contexto Internacional	71
5.6.2 Contexto Nacional	71
6. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN	72
6.1 ESTUDIOS PREVIOS DE EVALUACIONES DE LA EXPOSICIÓN	72
6.1.1 Exposición a As a través de derivados del arroz	74
6.2 DATOS DE CONSUMO	75
6.3 EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN PARA COLOMBIA	77
6.4 REGLAMENTACIÓN	83
6.4.1 Internacional	83
7. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL	85
8. CONCLUSIONES	87
9. RECOMENDACIONES	89
10. GLOSARIO	91
11. SIGLAS	95
12. AGRADECIMIENTOS	97
13. REFERENCIAS	99
14. ANEXOS	111
Anexo 1. Tratamiento de la intoxicación con arsénico	111
TRATAMIENTO PARA INTOXICACIÓN AGUDA	111
TRATAMIENTO INTOXICACIÓN CRÓNICA	111
ESTIMACIÓN DE COSTOS EN SALUD	112
Anexo 2. Etapas para el diagnóstico de intoxicaciones agudas por As.	114
Anexo 3. Parámetros para determinar exposición.	116

Lista de tablas

Tabla 1.	Propiedades fisicoquímicas del As elemental.	23
Tabla 2.	Compuestos de arsénico orgánicos más comunes en humanos y medio ambiente.	25
Tabla 3.	Datos de As total en diversos alimentos.	30
Tabla 4.	Fuentes antropogénicas de As.	31
Tabla 5.	Métodos empleados para la determinación de As.	33
Tabla 6.	Composición proximal e información nutricional del arroz.	34
Tabla 7.	Importación de arroz a Colombia. Año 2002-2011.	38
Tabla 8.	Etapas involucradas en la molienda del arroz.	39
Tabla 9.	Concentraciones de As en agua utilizada para riego.	46
Tabla 10.	Compuestos arsenicales usados como plaguicidas.	47
Tabla 11.	Área sembrada de cultivo de arroz total por departamentos. Año 2010.	51
Tabla 12.	Producción de arroz paddy blanco (en toneladas) en Colombia (2001-2010).	52
Tabla 13.	Superficie sembrada de arroz (He) por sistema de siembra.	54
Tabla 14.	Principales efectos tóxicos agudos y subagudos.	66
Tabla 15.	Patologías asociadas a la intoxicación crónica por As.	68
Tabla 16.	Concentración promedio de As en muestras de arroz blanco de dif países de origen.	73
Tabla 17.	Promedios reportados para niveles de arsénico en productos derivados del arroz.	74
Tabla 18.	Consumo de arroz en Colombia por grupo etario	76
Tabla 19.	Consumo per cápita de arroz dentro de los hogares durante los meses de marzo y junio (2011).	77
Tabla 20.	Exposición diaria al As por consumo de arroz.	78
Tabla 21.	Exposición a As inorgánico.	78
Tabla 22.	Parámetros requeridos para evaluar el peligro asociado a la exposición a As.	79
Tabla 23.	Cálculo del MOE para la población en Colombia	83
Tabla 24.	Niveles máximos para el total y el As inorgánico en el arroz en diversos países.	84
Tabla 25.	Costo de las patologías más relevantes en casos de intoxicación con As,	113

Lista de figuras

Figura 1.	Ciclo global biogeoquímico del As. Adaptado de: Mackenzie et al, 1979 (18).	26
Figura 2.	Ciclo local agua-aire-As. Tomado de WHO (1981).	27
Figura 3.	Ciclo del As en el ambiente.	27
Figura 4.	Posibles rutas para la ingestión de As a partir de fuentes naturales.	31
Figura 5.	Distribución de la producción de arroz en el mundo.	36
Figura 6.	Producción, utilización y existencias de arroz en el mundo.	36
Figura 7.	Exposición al As a través del cultivo del arroz.	42
Figura 8.	Distritos mineros en Colombia	43
Figura 9.	Fuentes de contaminación del arroz con As cadena primaria.	48
Figura 10.	Fuentes de contaminación del arroz durante su procesamiento y preparación.	49
Figura 11.	Distribución del sistema del cultivo de arroz	53
Figura 12.	Porcentaje de arroz sembrado por secano o riego, en cultivos mecanizados 2000-2011.	55
Figura 13.	Distribución geográfica de la concentración de Arsénico y de los sistemas de cultivo de arroz.	56
Figura 14.	Ruta metabólica del As en el cuerpo humano.	63

1. JUSTIFICACIÓN, TÉRMINOS DE REFERENCIA, ALCANCE Y OBJETIVOS

1.1 JUSTIFICACIÓN

El arsénico aparece de forma natural en las rocas y el suelo y se transfiere a las aguas subterráneas. Más de 20 países de todo el mundo han confirmado la contaminación por arsénico en sus acuíferos subterráneos, en el agua que se utiliza tanto para consumo humano como para el riego de los cultivos. La contaminación natural del arsénico es motivo de preocupación en países como Argentina, Bangladesh, Chile, China y Estados Unidos. El arsénico natural presente en aguas subterráneas en concentraciones superiores al estándar establecido para agua potable es muy frecuente en algunos países, sin embargo la preocupación por la presencia de sustancias como el arsénico en agua y alimentos es reciente y cada vez más importante para la inocuidad alimentaria.

Las actividades industriales, como la extracción de minerales y los vertimientos de aguas residuales, aditivos en alimentación animal (aves de corral y cerdos), 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. Los estudios han demostrado que las altas concentraciones de arsénico en el suelo y en las aguas de riego a menudo provocan niveles elevados de arsénico en los cultivos y suponen un riesgo elevado para la inocuidad de los alimentos. Así, este elemento entra en la cadena alimentaria principalmente a través de la absorción por los vegetales que son regados con agua contaminada. Uno de los alimentos con mayor impacto de contaminación por arsénico y sobre el que se han centrado hasta ahora gran cantidad de estudios es el arroz, especialmente el cultivado en países asiáticos.

Estudios realizados en China y otros países asiáticos señalaron que la contribución a la ingesta diaria máxima tolerable (IDMT), de conformidad con lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), por consumo

de arroz es 25 veces superior al aporte por consumo de agua potable.

Las formas más tóxicas de arsénico halladas en los alimentos son el arsénico inorgánico (III) y (V); el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC) ha clasificado el arsénico inorgánico como un agente carcinógeno para los seres humanos.

La exposición prolongada a altas concentraciones de arsénico (durante más de 10 años) puede producir una enfermedad llamada arsenicosis, cuyos síntomas más frecuentes están relacionados con alteraciones en la piel, aunque en los casos más graves puede derivar en diversos tipos de cáncer (como el de piel, pulmón y riñón). También se asocian al arsénico enfermedades de los vasos sanguíneos de extremidades inferiores, y posiblemente también trastornos de diabetes, presión arterial alta y afecciones sobre la reproducción.

Un estudio realizado en el Reino Unido en alimentos para bebés con base en arroz revelaron que las muestras analizadas presentaban un contenido promedio de arsénico inorgánico ($n = 17$) de 0,11 mg / kg. La ingesta de arsénico inorgánico por los bebés (4-12 meses) se consideró con respecto a las normas vigentes de ingestión dietética. Se encontró que el 35% de las muestras de arroz para bebés analizados sería ilegal para la venta en China, que tiene límite reglamentario de 0,15 mg / kg de arsénico inorgánico.

En este estudio se llegó a la conclusión que la mediana de consumo de los niveles de arsénico inorgánico para bebés del Reino Unido a partir de arroz está por encima del límite considerado seguro.

En un estudio realizado por el INVIMA en el año 2010 para 81 muestras de arroz proveniente de los municipios de las zonas productoras del Meta y el Huila se detectó en todas las muestras la presencia de arsénico con valores entre 5,7 y 19,2 $\mu\text{g/kg}$.

La Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia, realizada por el ICBF en 2005, señala que el arroz es uno de los alimentos mas ingeridos junto con la papa, plátano, pan, pastas, arepa, galletas, avena, maíz y harina de maíz. Para Colombia se estima un consumo de arroz de 189,4 g promedio/persona/día.

1.2 TÉRMINOS DE REFERENCIA

Pregunta 1.

¿Cuáles son las posibles fuentes de arsénico que pueden contaminar el arroz (presencia en los suelos, aguas de riego o insumos agrícolas)?

Pregunta 2.

¿Los niveles de arsénico presentes en el arroz que se produce en Colombia, pueden llegar a considerarse como un riesgo para la población?

1.3 ALCANCE

El desarrollo del perfil de riesgos de arsénico en arroz se basará en los términos de referencia 1 y 2 del documento de solicitud: Establecer los niveles de arsénico presentes en el arroz que se produce en Colombia y que pueden llegar a considerarse como un riesgo para la salud de la población así como cuáles son las posibles fuentes de arsénico que se encuentran presentes en el arroz y el planteamiento de medidas de control frente a este peligro químico. El análisis para la evaluación de la exposición se realizará sobre los datos disponibles suministrados por el laboratorio nacional de referencia (2010 -2011) para el departamento del Huila y la región la Orinoquía (Arauca, Casanare y Meta).

Limitaciones: Los resultados obtenidos en el perfil se limitarán solamente a arsénico total en arroz, no incluirán agua ni pescado, así como tampoco se incluirán las intoxicaciones asociadas a exposición ocupacional por no ser objeto de este documento. El estudio se limita a arsénico en arroz crudo blanco, no se incluirán datos de arroz parbolizado debido a la ausencia de los mismos.

2. INTRODUCCIÓN

El arroz es uno de los cereales de mayor consumo en el mundo y es utilizado ampliamente por la población como alimento energético. En Colombia, se estima que el 92% de la población consume arroz y que el consumo semanal es de 1,6 libras por persona (1). En años recientes, este cereal ha suscitado el interés de la comunidad científica y el gobierno colombiano por la posibilidad de estar contaminado con arsénico (As), elemento que puede causar arsenicosis en humanos.

El As es un elemento químico que puede encontrarse abundantemente en la naturaleza, especialmente en la corteza terrestre. En Latinoamérica, el As se ha asociado con cenizas y rocas volcánicas. La liberación de As en la hidrosfera, pirósfera, biosfera y atmósfera está principalmente asociada con la presencia de rocas naturales o con procesos antropogénicos tales como la minería (2). El As puede llegar a la biota acuática y las plantas, las cuales pueden ser consumidas por el hombre o incorporadas en los forrajes para animales, por esta razón la contaminación de alimentos es motivo de preocupación en muchos países del mundo, incluyendo Argentina, Bangladesh, Chile, China, India, México, Tailandia y los Estados Unidos de América (3).

Se ha establecido claramente que el As puede ser tóxico para el hombre y de acuerdo a la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC), esta sustancia y sus compuestos inorgánicos han sido clasificados como “carcinogénicos para el hombre” (Grupo 1), los arsenicales orgánicos: ácido monometilarsónico (MMA) y ácido dimetilarsínico (DMA) son clasificados como “posiblemente carcinogénicos para el hombre” (Grupo 2B) y otros compuestos orgánicos que no son metabolizados por el hombre como “no clasificables” (Grupo 3) (4, 5). En este sentido, la intoxicación crónica por As es un serio problema de salud pública en todo el mundo (6).

El propósito de un perfil de riesgo es proveer información relevante acerca de la combinación peligro/alimento, en este caso As/arroz, el cual va dirigido a los gestores del riesgo que pueden ayudar a tomar decisiones. Los perfiles de riesgo son la base para iniciar una evaluación de riesgo, presentan información que caracteriza tanto el peligro como el riesgo existente en la

cadena alimentaria, aportando recomendaciones sobre buenas prácticas agrícolas y de manufactura, que pueden constituirse en la primera solución a la problemática identificada. El perfil presenta elementos que pueden incluir información cuantitativa, aunque no siempre está disponible; por tanto los datos obtenidos pueden proveer información fundamental para la evaluación de riesgos y ayudar a establecer de qué datos se carece (7).

Este perfil presenta información actualizada sobre la situación del procesamiento de arroz en Colombia y la posibilidad de contaminación con As, con el fin de establecer si existe un riesgo para los consumidores.

3. COMBINACIÓN: PELIGRO / ALIMENTO

3.1 ARSÉNICO

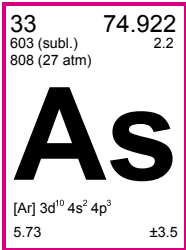
3.1.1 Propiedades fisicoquímicas

El As es un elemento del grupo cinco que tiene propiedades tanto metálicas como no metálicas. Su símbolo químico es As, su número atómico es 33 y su masa atómica relativa 74,92. El As se encuentra en cuatro formas alotrópicas (metálica, gris, parda y amarilla). Sublima a 450 °C, sin fundir, dando vapores amarillos. El As amarillo, por la acción de la luz, pasa a la forma parda y, finalmente, a la gris. El As metálico arde al aire a 180 °C desprendiendo un olor a ajo muy característico. El As elemental, no se disuelve en agua, pero reacciona con aire húmedo, oxidándose a trióxido de arsénico (As₂O₃). Ver Tabla 1 (8).

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del As elemental.

Propiedad fisicoquímica	Valores
Números de oxidación	-3, +3, +5
Electronegatividad	2,18
Energía de ionización	947 kJ.mol-1
Afinidad electrónica	78 kJ.mol-1
Entalpía de fusión	27,70 kJ.mol-1
Entalpía de vaporización	31,9 kJ.mol-1
Punto de fusión	817 °C (a P = 28 atm)
Punto de ebullición	613 °C (sublima)
Densidad	5 780 kg/m3 (gris), 4700 kg/m3 (amarilla); (T = 20 °C)
Solubilidad	Insoluble en agua
Presión de vapor (Pv)	7,5 x 10 ⁻³ mmHg (T = 280 °C)

Tomado de (9, 10)



3.1.2 Formas del Arsénico: orgánico e inorgánico

El As es un elemento que se puede combinar con metales y no metales para formar compuestos inorgánicos y orgánicos.

El As puro no es tóxico, sin embargo se oxida fácilmente a As_2O_3 o trióxido de diarsénico, que es una sustancia altamente tóxica. Éste es un polvo blanco, insípido e inodoro llamado “polvo de sucesión”, “rey de los venenos”, “arsénico”, etc. Entre los siglos XVI y XIX, el trióxido de diarsénico fue una sustancia empleada para envenenar a las personas (17).

3.1.2.1 Arsénico inorgánico

El As inorgánico se presenta en forma natural en rocas sedimentarias, rocas volcánicas y en aguas geotermales. En la naturaleza se presenta libre y también combinado en diversos minerales (2, 11):

- Rejalgar, As_2S_2 , rojo;
- Oropimente, As_2S_3 , amarillo;
- Mispíquel o pirita arsenical, $FeAsS$;
- Cobaltina, $CoAsS$;
- Arsenolita, As_2O_3 .

El As inorgánico soluble en agua es tóxico.

3.1.2.2 Arsénico orgánico

Debido a la elevada estabilidad del enlace carbono-arsénico bajo las condiciones ambientales como pH y potencial de óxido-reducción, el As se encuentra presente en numerosos compuestos de carácter orgánico. Como consecuencia de la actividad biológica, se producen diversos compuestos de arsénico metilados como son las di y trimetilarsina. Estas especies, tras una oxidación, se transforman en los ácidos metilarsónico y dimetilarsónico, compuestos que forman sales solubles con los metales alcalinos. Mediante una reducción estos ácidos pueden volver a su forma primitiva de arsinas (12).

El As en sus formas trivalente y pentavalente tiene diferentes aplicaciones en la industria. Desde su utilización en aleaciones con plomo y cobre a las que confiere propiedades de resistencia al calor y dureza, a sus usos en las industrias de cerámicas, vidrio y de pigmentos de pinturas. Las formas más comunes del As presentes en humanos y en el medio ambiente, están consignadas en la tabla 2 (13).

En organismos marinos, se ha detectado la presencia de compuestos tales como la arsenobetaína y la arsenocolina (14), arsenoazúcares (15) y arsenolípidos (16).

Tabla 2. Compuestos de arsénico orgánicos más comunes en humanos y medio ambiente.

Estado de oxidación trivalente	Estado de oxidación pentavalente
Ácido monometil arsenioso	Ácido monometil arsónico
Ácido dimetil arsenioso	Ácido dimetil arsónico
	Oxido de trimetil arsónico
	Acido arsenílico
	Arsenobetaína
Tomado de (13)	

3.1.3 Ciclos del arsénico

El As en la naturaleza cuenta con ciclos asociados a las actividades naturales y antropogénicas. En las figuras 1, 2 y 3 se presentan estos ciclos. El ciclo biogeoquímico global del As permite describir el papel de éste en cada uno de los ecosistemas fundamentales, así como los flujos de transferencia que entre ellos se establecen. Es claro que las emisiones naturales de As, son mayores que las de carácter antropogénico (la proporción entre las emisiones industriales y el contenido natural del elemento en la atmósfera es menor que uno) (18).

El As está presente en la atmósfera en cantidades significativas desde plantas generadoras de energía por quemado de carbón, siendo estas emisiones en estado gaseoso debidas a los bajos puntos de ebullición que presenta el As y sus derivados. Por lo tanto, también se producirá este tipo de fenómeno en procesos de carácter volcánico y en el quemado de vegetación. A temperatura ambiente el As se libera a la atmósfera como compuestos volátiles,

producto de la metilación biológica. Las entradas estimadas en la atmósfera procedentes de actividades industriales son cercanas a 780×10^8 g/año, las cuales son elevadas si se comparan con las procedentes de la minería, 460×10^8 g/año o con el As contenido en el polvo volcánico o continental, 28×10^8 g/año. La actividad humana ha modificado el ciclo global para el As (Figura 1), produciendo pérdidas de As desde de los sedimentos, (1129×10^8 g/año), y enriqueciendo los suelos, (660×10^8 g/año) y los océanos, (566×10^8 g/año) (12).

En medios reductores como son los sedimentos, el arseniato es reducido a arsenito y éste mediante metilación y oxidación es transformado en compuestos tales como los ácidos metil y dimetilarsónico (Figura 2). Diversos microorganismos como hongos, bacterias y levaduras, transforman estos ácidos en derivados metilados de la arsina, trimetilarsina o dimetilarsina, que pueden emitirse a la atmósfera. Según Mackenzie et al. (1979) (18) 210×10^8 g de As se liberan anualmente a la atmósfera desde la superficie terrestre debido a estos procesos.

Figura 1. Ciclo global biogeoquímico del As. Adaptado de: Mackenzie et al, 1979 (18).

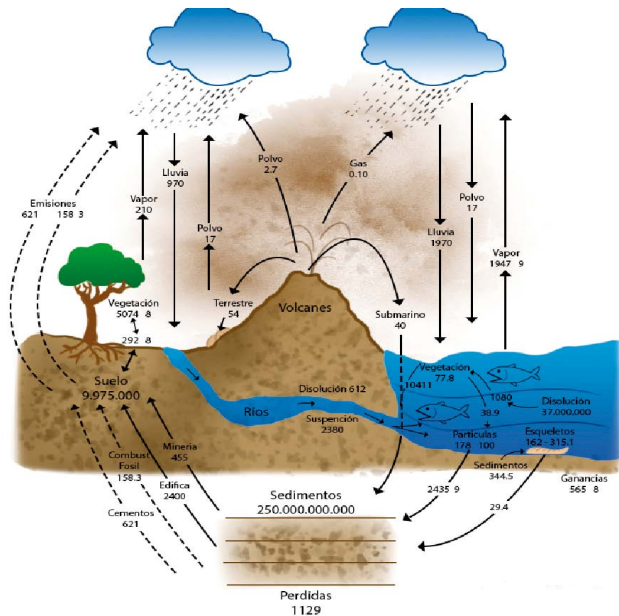
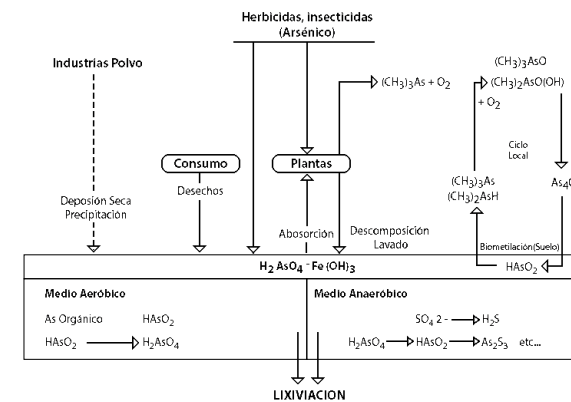


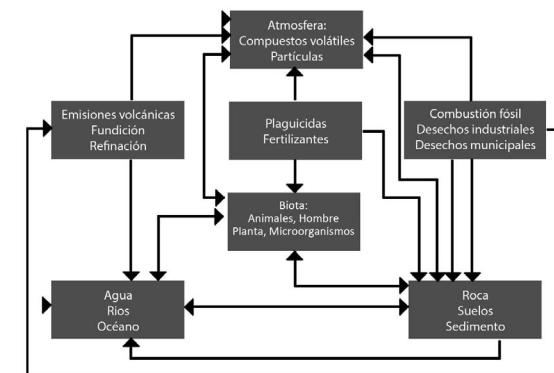
Figura 2. Ciclo local agua-aire-As. Tomado de WHO (1981).



El ciclo del As en el ambiente comprende tanto el ciclo biogeoquímico como el ciclo local suelo - aire. Las actividades humanas como la fundición, refinación, combustión, plaguicidas, etc., así como los eventos naturales tales como emisiones volcánicas, transfieren As en sus diversas formas al ambiente, que en sus formas volátiles van a la atmósfera (19).

La atmósfera no acumula As, dado que éste se disuelve rápida y totalmente en agua de lluvia y es eliminado cuando se precipita en la superficie terrestre. Debido a la erosión y degradación que está sufriendo la superficie continental, hay un importante flujo de As desde los ríos hacia los océanos, incorporándose parte a los sedimentos oceánicos, y por ende, parte permanece disuelto en el agua (12).

Figura 3. Ciclo del As en el ambiente, adaptado de Carbonell, 1995 (12).



3.1.4 Fuentes de contaminación por arsénico

3.1.4.1. Suelo: el As en el suelo puede derivarse de dos fuentes: naturales y antropogénicas. La contaminación atmosférica y la aplicación de fertilizantes parecen ser las principales fuentes antropogénicas de este elemento en los suelos utilizados para la agricultura (20), también actividades como la minería, la fundición, la quema de carbón, la irrigación con agua contaminada, la aplicación de residuos orgánicos, abonos de origen animal, plaguicidas y herbicidas pueden aportar As a los suelos (21-25).

3.1.4.2. Aguas: Las aguas naturales crudas pueden presentar concentraciones variables de As que se producen de manera natural, aunque la contaminación por As en el agua también puede deberse a procesos industriales, tales como los implicados en la refinación de la minería de metales y el tratamiento de la madera (26). La mayoría de las aguas en el mundo tienen concentraciones naturales de As inferiores a 0,01 mg/L, según valores de referencia de la OMS, sin embargo, este valor está limitado por la capacidad analítica de los métodos de determinación actuales. La exposición humana a niveles elevados de As inorgánico se produce principalmente por el consumo de aguas crudas subterráneas que contienen niveles naturalmente altos (superiores a 0.05 µg/L), y el consumo de alimentos irrigados con agua contaminada o preparados con ésta (26).

En una estimación, debido al consumo de agua potable (la cual no cumple con los parámetros de potabilidad) contaminada con As, sólo en Bangladesh se atribuyeron a ésta 9.100 muertes y 125.000 años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) en 2001 (22, 27).

3.1.4.3. Fertilizantes: La concentración de As en los fertilizantes depende de la concentración inicial que puedan contener las materias primas usadas en su producción. Por ejemplo la roca fosfórica, usada para la elaboración de fertilizantes y detergentes puede llegar a contener hasta 200 mg As/kg (28).

3.1.4.4. Alimentos: La Food and Drug Administration (FDA) ha reportado que el 93% de la ingesta total de As se atribuye a los alimentos (27). Para los países del trópico incluido Colombia, cuya dieta no está dominada por la comida de mar, el consumo del arroz y sus derivados es la principal fuente de exposición al As. En la Tabla 3 se presentan los datos recolectados para diferentes alimentos, donde puede observarse que las semillas secas y el arroz presentan los niveles de concentración más altos de As.

- Pescados y mariscos: estos pueden contaminarse con compuestos orgánicos de As presentes en el agua donde habitan o se cultivan, no obstante, son menos perjudiciales para la salud, ya que el As así ingerido se elimina rápidamente del organismo. Se ha establecido que los mejillones azules pueden contener una alta concentración de As inorgánico (5,8 mg/kg) (29).
- Algas: el hiziki (*Hizikia fusiformis*) puede tener altas concentraciones de As inorgánico (>60 mg/Kg) (30).
- Arroz: la contaminación del arroz puede darse durante su cultivo y proviene especialmente del riego con aguas contaminadas o del suelo (21, 25).

Tabla 3. Datos de As total en diversos alimentos.

Categoría del alimento	n	n < LOR*	Intervalo (mg/kg)
Leche líquida y en polvo	264	65	0,001-0,15
Derivados lácteos	92	61	0,010-0,35
Grasas y aceites	39	0	0,003-0,18
Carne	4977	4124	0,004-0,78
Despojos de carne	2074	1096	0,009-0,45
Derivados cárnicos	50	20	0,003-3,25
Huevos y derivados	171	111	0,003-0,04
Productos de confitería	186	61	0,002-1,13
Caramelos	138	21	0,003-0,26
Masa panaria	71	49	0,002-0,25
Categoría del alimento	n	n < LOR	Intervalo (mg/kg)
Frutas	966	800	0,005-2,20
Vegetales	2503	2164	0,001-1,27
Setas	302	60	0,011-5,79
Nueces	70	15	0,005-0,88
Semillas secas	953	3	0,114-236
Cereales exceptuando arroz	410	325	0,007-0,43
Arroz	1693	0	0,114-236
Pasta	19	9	0,003-0,18
Pescado de origen marino	1409	0	0,10-62
Moluscos	171	0	0,090-66
Pescado de agua dulce	238	0	0,060-4,72
Productos para bebés	75	5	0,001-4,66

* LOR: límite del reporte (límite de cuantificación). n: número de muestras.
Tomado de: FAO/OMS 2012 (31)

3.1.4.5. Fuentes antropogénicas: Existen diversas fuentes de contaminación relacionadas con actividades antropogénicas, las cuales han sido de especial interés en salud ocupacional por el impacto que tienen sobre los trabajadores, donde la inhalación de compuestos arsenicales son un problema, aspecto que no se asocia con el consumo de arroz (ver tabla 4).

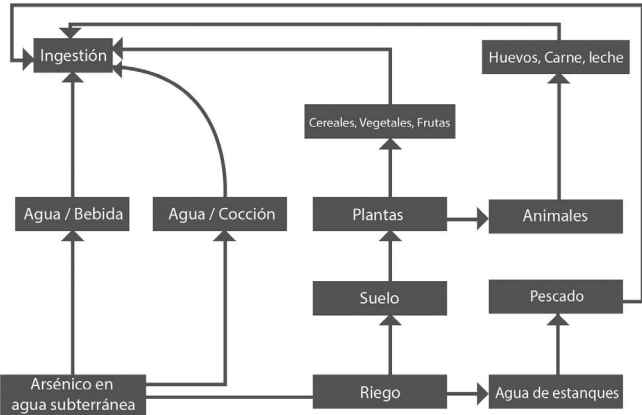
Tabla 4. Fuentes antropogénicas de As.

Fuente	Compuesto producido
Manufactura de cerámica y vidrio, componentes electrónicos, pigmentos, cosméticos.	Trióxido de arsénico.
Aleaciones de cobre o plomo.	Arsénico metálico.
Cenizas de carbón.	Varios compuestos volátiles.
Actividades asociadas a la minería.	Trióxido de arsénico y otros.
Procesamiento de la madera.	Cobre-cromo-arsenato.
Uso de plaguicidas.	Arsenato de plomo, arsenato de calcio, arsenato de magnesio, arsenato de zinc, arsenito de zinc, trióxido de arsénico, arsenito de sodio, Verde Paris, $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, $\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$.
Uso de herbicidas.	Ácido cacodílico (CA), metanoarsonato monosódico (MMSA), metanoarsonato disódico, arsenito de sodio.
Suplementos para la alimentación de aves de corral.	Roxarsona.

Adaptado de (32)

Sin importar su procedencia, luego de que el As se encuentra en el ambiente, fácilmente puede llegar a los alimentos, representando un riesgo para la salud humana (figura 4).

Figura 4. Posibles rutas para la ingestión de As a partir de fuentes naturales. Adaptado de (33)



3.1.5 Métodos de detección

La determinación de As se realiza principalmente por métodos espectrofotométricos, que basados en la ley de Beer permiten determinar su concentración a partir de la absorbancia (34). No obstante, se hace necesario propiciar la reacción del borhidruro de sodio con especies reducidas del As (Arsenitos) para producir hidruros volátiles que pueden ser extraídos de la solución y detectados espectrofotométricamente con bajos niveles de detección entre 20 y 500 partes por trillón (ppt), es decir nanogramos por litro (ng/L). Las dos técnicas analíticas más reconocidas son: la espectrometría de absorción atómica acoplada a generación de hidruros (HG-AAS) y la espectrometría de fluorescencia atómica acoplada a generación de hidruros (HG-AFS). En estos métodos se hace necesario realizar pre-tratamientos para convertir el As en arsenito antes del análisis (34).

Una técnica instrumental más reciente conocida como “espectrometría de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo” (ICP-MS), ha contribuido enormemente con el análisis de trazas de metales en muestras ambientales con niveles de detección de hasta 10 ng/L. Adicionalmente, esta técnica no requiere los extensos protocolos de pre-tratamiento de la muestra y elimina eficazmente las interferencias proporcionando un resultado de As “total” (35).

Dadas las diferentes formas químicas o especies del As, se hace necesario separarlas antes de su detección, para tal fin se emplean técnicas separativas como la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y la cromatografía de intercambio iónico. Es importante esta discriminación, pues la toxicidad del As depende de su forma química; está comprobado que el As (III) es más tóxico que el As (V). En la tabla 5 se presenta un resumen de los métodos analíticos utilizados actualmente. En Colombia el INVIMA utiliza espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros (HG-AAS) como método de detección de As en arroz (12).

Tabla 5. Métodos empleados para la determinación de As.

Determinación	Método	Límite de detección	Limitaciones	Referencia
Determinación de As en arroz.	ICP-MS.	10 ng/mL	Costos del funcionamiento del sistema.	(12)
As y vapores de trióxido de As en aire.	HG-AAS.	0.3 ng/mL	El método no es aplicable a la determinación de As en forma de arseniuros que se descomponen en presencia de agua o ácido.	(36)
Determinación de As (III) y As (V) en aguas.	Cromatografía de intercambio iónico acoplado a espectrometría de absorción atómica con atomización electrotérmica (ETAAS).	4 ng/mL	La desventaja se presenta en la etapa de acoplamiento, puesto que ETAAS no permite la detección en línea o continua de las especies de As.	(37)
Determinación de As en muestras de agua.	HG-AFS.	5 ng/mL	Mide As total.	(35)
Determinación de As en tejidos.	HG-AFS	5 ng/mL	No reportadas	(35)
Determinación de 4 formas tóxicas de As en sangre.	Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC-HGAFS).	20 ng/mL	Costos y necesidad de personal altamente entrenado, poca disponibilidad de los equipos en el mercado.	(35)
Determinación de As inorgánico en alimentos.	Cromatografía líquida de intercambio iónico y detección de ultravioleta acoplada a espectrometría de fluorescencia con generación de hidruros (HG-LC-UV-AFS).	20 ng/mL	Costos y necesidad de personal altamente entrenado, poca disponibilidad de los equipos en el mercado.	(35)
Determinación de As en aguas.	Polarografía diferencial de impulsos por redisolución.	0.010 ng/mL	Requiere electrodo de gotas de mercurio.	(38)

3.2 EL ARROZ

3.2.1 Características generales del arroz.

De acuerdo al Codex Alimentarius se define al arroz como los granos enteros o partidos de la especie *Oryza sativa* L (39). Si bien existen 23 variedades de *Oryza*, para el consumo humano sólo se cultivan dos: *Oryza sativa* (arroz paddy), originaria del trópico húmedo de Asia y *O. glaberrima*, de África Occidental. El arroz asiático cultivado ha evolucionado en tres razas ecogeográficas –índica, japónica y javánica–. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el arroz proporciona el 20% del suministro de energía alimentaria del mundo (40). Es también una buena fuente de tiamina, riboflavina, niacina y fibra alimentaria. El arroz integral contiene más nutrientes que el arroz blanco sin cáscara o pulido. La composición química y nutricional del arroz se presenta en la Tabla 6 (41).

Tabla 6. Composición proximal e información nutricional del arroz.

PARÁMETRO	BLANCO	INTEGRAL
Calorías (por 100 g)	359	341
Humedad	12,2%	11,5%
Proteínas	7,8%	8,6%
Grasa	0,4%	1%
Carbohidratos	78,8%	77%
Fibra	0,3%	0,8%
Cenizas	0,5%	1,1%
MINERALES (por 100 g)		
Calcio	9 mg	10 mg
Fósforo	140 mg	380 mg
Hierro	0,8%	2,0%
VITAMINAS		
Tiamina	0,07%	0,25%
Riboflavina	0,03%	0,06%
Niacina	1,3%	5,3%

Fuente: Federación Nacional de Arroceros (41).

El arroz puede ser preparado para el consumo de diferentes modos, algunos de los más comunes son:

Arroces secos: incluyen el arroz en paella, el arroz cocido en cazuela de barro y el cocido al horno. Son los que mayores dificultades plantean, ya que en éstos debe coincidir el punto óptimo de cocción de los granos con la total evaporación del agua en la que se han cocido (7).

Arroces caldosos: se trata de arroces que al terminar la cocción todavía conservan parte del líquido. Los límites extremos son las sopas y el arroz atollado. La mayoría de estos arroces suelen llevar alguna verdura (7).

Arroces blancos: son arroces cocidos en abundante agua y sal, en los cuales los granos se conservan enteros y sueltos. Una vez cocidos, se pueden mezclar con otros ingredientes (7).

Arroces cremosos: incluyen el arroz con leche (7).

Aunque no hay datos sobre la proporción de consumo de cada una de las diferentes preparaciones del arroz en Colombia, las formas de consumo que se presentan son: arroz blanco, arroz con fideos, arroz con pollo, arroz con verduras, arroz con camarones, cereales para el desayuno a base de arroz, sopas deshidratadas con arroz, fideos a base de arroz (poco consumo en el país), arroz con leche, empanadas, masato, barras de cereal, alimentos infantiles, dulces de arroz (manjar blanco), arroz inflado, agua de horchata, pan de arroz y platos orientales (Sushi), entre otros (7).

3.2.2 Producción mundial del arroz

La mayor producción de arroz, se concentra en el continente asiático (42). China, India e Indonesia proporcionan más de la mitad del arroz mundial (52,3% de 1999 a 2003), aunque estos países consumen la mayor parte de esta producción. Brasil es el primer productor en América, e Italia el país con mayor producción en Europa (43). En la figura 5, se presenta la distribución de la producción mundial. El arroz es un cultivo semestral tropical y subtropical, aunque la mayor producción se concentra en los climas húmedos tropicales, también se puede cultivar en las regiones húmedas del subtrópico y en climas templados (44).

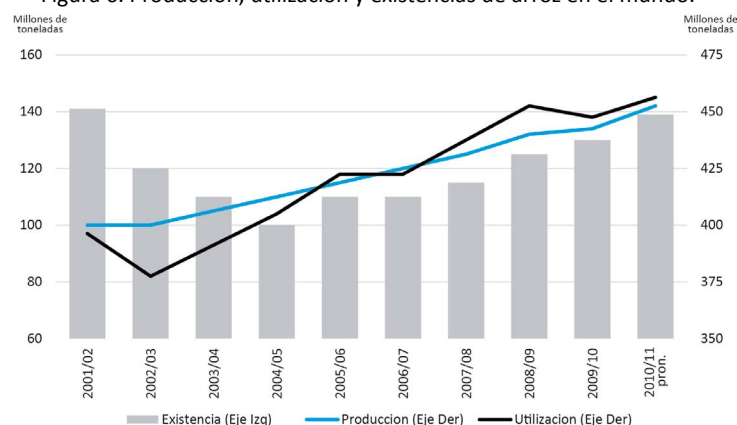
Figura 5. Distribución de la producción de arroz en el mundo.



Fuente: Méndez del Villar, 2008 (42).

De acuerdo con la FAO, la producción de arroz en el mundo se ha incrementado en los dos últimos años, a pesar de problemas climáticos en algunos países de Asia y América. Según los pronósticos publicados por la FAO, se estimó que la producción mundial para el 2011, fue de 720 millones de toneladas, donde Colombia ocupó el puesto 23. En el continente americano Colombia, es el cuarto productor, después de Brasil, Estados Unidos y Perú (45). En la figura 6, se presentan los datos de producción reportados desde el 2002 hasta el 2011.

Figura 6. Producción, utilización y existencias de arroz en el mundo.



Adaptado de: FAO, 2012 (45)

3.2.3 Cadena del arroz en Colombia

En el año 1998, se firmó el Acuerdo Nacional de Competitividad con el objeto de fortalecer y consolidar las ventajas competitivas y garantizar el desarrollo económico y sostenible del sector arrocero (79). La cadena del arroz está constituida por los productores representados por FEDEARROZ, la industria agremiada en la Cámara Sectorial del Arroz de la ANDI-Induarroz, los productores de semilla representados por Acosemillas, Fenalco por los comerciantes y del nivel regional participan Amolillanos y Agameta. Entre las entidades de apoyo se encuentran el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), la Bolsa Nacional Agropecuaria, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y el Departamento Nacional de Planeación (DNP). Actualmente cuenta con dos núcleos priorizados: Tolima-Huila y Meta-Casanare. Estas regiones se destacan por su productividad en los cultivos, cultura arrocería y desarrollo de la industria molinera (44).

3.2.4 Balanza Comercial

3.2.4.1 Importación

Colombia fue durante las décadas de los 70 y 80 exportador de arroz, sin embargo, cuando en 1991 se eliminaron las barreras arancelarias y no arancelarias con las que el país protegía su sector agrícola, el sector arrocero se contrajo a tal punto que para el año 1994, Colombia se convirtió en importador neto, destacando como proveedores a países vecinos como Perú y Ecuador (80).

En la tabla 7, se presentan los datos de los últimos diez años correspondientes a las importaciones de arroz. Como puede observarse en los dos últimos años se ha presentado una reducción en el volumen de la importación, como resultado de medidas proteccionistas del MADR debido a los precios más bajos del arroz proveniente de otros países, siendo el año 2010 el año en que menos arroz se importó, ya que el gobierno a través del MADR cerró las importaciones de arroz (81). No obstante, en el 2011 se presentó la necesidad de importar arroz debido al fenómeno de la niña, pues en el 2010 en el primer semestre se perdieron 20.000 hectáreas de cultivo (82). Recientemente el gobierno autorizó una importación de arroz para el primer semestre de 2012, debido a la baja en las reservas de arroz.

Tabla 7. Importación de arroz a Colombia. Año 2002-2011.

Año	Arroz blanco (t)	Arroz equivalente Paddy Seco (t)
2002	62.942	106.681
2003	11.772	19.952
2004	83.582	141.664
2005	32.111	54.425
2006	197.022	333.936
2007	135.257	229.248
2008	29.537	50.064
2009	96.564	163.667
2010	6.297	10.674
2011	33.379	56.575

3.2.4.2 Acuerdos internacionales de comercialización

De acuerdo al tratado de libre comercio con Estados Unidos que entró en vigencia el 15 de mayo del 2012, Colombia podría importar 79 000 t de arroz, libres de aranceles (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo). De igual manera Colombia en el acuerdo de la CAN puede importar Arroz de Perú y Ecuador.

De acuerdo a la información suministrada por el Ministerio de Comercio y Relaciones Exteriores, Colombia dentro de sus acuerdos y tratados de libre comercio permite la importación de arroz de los siguientes países: Argentina en un 100% del gravamen, Brasil, Uruguay y Paraguay, estos países serán desgravados en el 2018 en su totalidad, actualmente tienen 60% de gravamen. Desde los países de la Comunidad Andina se puede importar arroz libre de aranceles (84).

3.2.5 Procesamiento del arroz

La producción de arroz blanco a partir de arroz con cáscara es compleja y comprende numerosas operaciones. En los establecimientos de elaboración a gran escala se utiliza maquinaria y equipos muy especializados, cada uno de los cuales realiza quizás sólo una de las 20 o más operaciones que se necesitan para la elaboración comercial del arroz. En la elaboración del arroz

en pequeña escala, con capacidades de hasta 500 kg/hora, cada parte de la maquinaria realiza varias operaciones, ya sea en una sola pasada a través de la máquina o en varias, ajustando la máquina para cada pasada (46). En algunos países asiáticos, como India y Pakistán, el arroz se ha sometido durante siglos a un proceso de vaporizado y posterior secado antes de proceder con el descascarillado (proceso conocido actualmente como parbolizado), en Colombia este proceso no es frecuente. La finalidad del parbolizado es facilitar el descascarillado. Esta técnica logra un efecto secundario de vital importancia, ya que parte de las vitaminas y de los minerales del salvado pasan al grano de arroz, con lo que este se enriquece en dichos nutrientes, y es ésta la razón por la que la incidencia del Beriberi (enfermedad producida por la falta de vitamina B1) no ha sido significativa en esos países. Sin embargo, este proceso aumenta la concentración de As en el grano, constituyéndose en un riesgo para los consumidores. En la tabla 8 se presentan los pasos básicos de la molienda del arroz.

Tabla 8. Etapas involucradas en la molienda del arroz.

Etapas	Operación
Secado	Generalmente, el arroz durante la cosecha tiene porcentajes de agua del 20%. En esta etapa, el valor se reduce al 12%. Para ello, se utilizan las hojas y el tamo del cultivo como combustible para el proceso de secado, en este caso el As presente en las plantas se volatiliza y no pasa al grano de arroz.
Predescascarado	Las operaciones de predescascarado incluyen: 1) sancochado, es un proceso que consiste en remojar el arroz con cáscara, tratarlo con vapor y secarlo, facilita la operación de descascarado, y permite obtener una mayor proporción de arroz blanco de grano entero. El arroz cáscara sancochado debe secarse antes de elaborarlo. Hay dos métodos de secado; el método predominante es el secado al sol. También puede realizarse con secado mecánico. Antes del secado deben retirarse las impurezas para ello generalmente se utiliza una combinación de tamizado y aspirado.
Descascarado	Durante esta operación se elimina la cáscara (o corteza, o cubierta exterior) del arroz para producir arroz integral. Las cáscaras no tienen ningún valor nutricional, y se utilizan para el proceso de secado del grano. En esta etapa se elimina el As que se encuentra en la cáscara, aunque se mantiene el que queda en el escutelo.

Etapa	Operación
Blanqueo	Consiste en la eliminación de los estratos de salvado como operación posterior al descascarado. Son estratos que están íntimamente adheridos al endosperma y que deben eliminarse frotando contra una superficie abrasiva y contra otros granos. En esta fase el arroz blanco reduce su concentración de As pues parte de este se ha acumulado en el escutelo.
Pulido	Es la fase final, más suave, del limpiado de las partículas de salvado y polvo de arroz blanco y de alisamiento de su superficie para darle mejor aspecto. En esta etapa se reduce la concentración de As al eliminar restos de cascarilla.
Clasificación	La clasificación del arroz pulido en granos enteros y granos quebrados es necesaria si se quiere vender el arroz blanco, o para poder almacenarlo durante algún tiempo. En esta etapa no hay aporte ni reducción de As.

Adaptado FAO, 1985 (46).

3.3 PRESENCIA DE ARSÉNICO EN EL ARROZ.

La contaminación del cultivo de arroz con As puede presentarse a través del suelo, el agua utilizada durante el cultivo (riego, preparación de plaguicidas), los plaguicidas residuales (cuya formulación incluye derivados del As) y factores especiales asociados a otras actividades antropogénicas (21), como se observa en la figura 7. De este modo, el arroz es uno de los cultivos más susceptibles a contaminarse por As, convirtiéndose en una vía de exposición para humanos.

3.3.1 Contaminación del arroz a través del suelo

El suelo puede contaminarse con As por actividades antropogénicas, tales como el uso de plaguicidas organoarsenicales durante el cultivo y el riego con aguas subterráneas contaminadas. Así mismo, cuando el arroz se cultiva en suelos inundados se favorecen las condiciones anaeróbicas, aumentando la movilización de este metal e incrementando su acumulación en la planta (21, 47). Se ha señalado que el As inorgánico es la fuente predominante de este metaloide en el suelo. Bajo condiciones aeróbicas, la especie predominante en los suelos es arsenato, mientras que en los suelos sumergidos, la principal especie es arsenito. Del mismo modo, existen evidencias de que estas especies inorgánicas pueden ser convertidas en especies orgánicas por acción de los

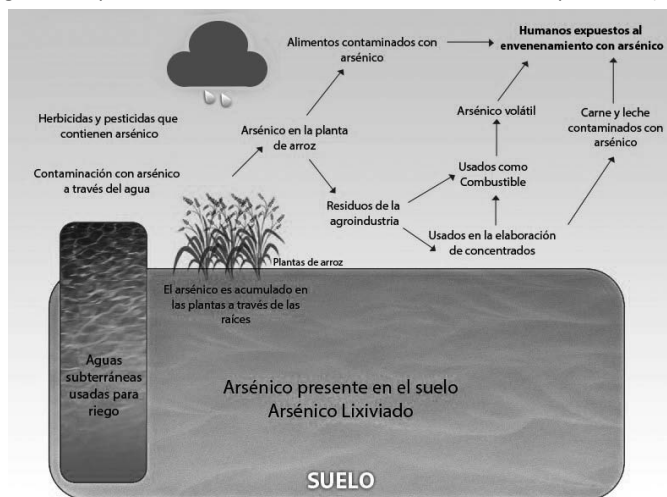
microorganismos presentes en el suelo, pasando de arsenito y arsenato a ácido monometilarsónico y dimetilarsínico, especies consideradas de menor toxicidad debido a su tendencia a ser volatilizadas y a no acumularse en las plantas (21). En China, se determinó que la acumulación de As en la planta de arroz y su distribución a través de ella depende de factores como la especiación de As en el suelo y las propiedades fisicoquímicas del mismo.

Se encontró que la solubilidad y biodisponibilidad del arsénico en el suelo es afectada por los cambios en el pH del mismo. En general, se incrementó la movilidad del As en suelos más ácidos, particularmente a pH menores a cinco, cuando el As enlazado a especies con hierro y aluminio se hace más soluble. No obstante este hallazgo, se ha establecido que la captura de As por la planta se puede incrementar a pH alcalinos (48).

Por otro lado, el contenido de materia orgánica del suelo tiene un gran potencial para influir en la adsorción de As. En este sentido, la presencia de materia orgánica natural puede incrementar la liberación de As, principalmente a través de la competencia por sitios de adsorción disponibles, formando complejos acuosos que cambian el estado de oxidación de los sitios de la superficie y de las especies de As. Del mismo modo, los ácidos orgánicos pueden reducir la movilidad del As al servir como enlaces para otros agentes o por la formación de complejos insolubles especialmente con cationes metálicos saturados; presentándose una correlación negativa entre la concentración de As en los granos de arroz y la concentración de materia orgánica en el suelo, sugiriendo que su contenido puede reducir la biodisponibilidad del As para ser asimilado por parte de la planta (48).

Así mismo, es posible que la concentración de As en el suelo disminuya debido a la biometilación microbiana que envía esta sustancia del suelo al aire, a la acumulación de la misma dentro de las plantas, a la infiltración y al lavado de la superficie del suelo durante las precipitaciones y a las inundaciones (22).

Figura 7. Exposición al As a través del cultivo del arroz. Adaptado de (49).



El nivel promedio de As en el suelo en el mundo es de 10,0 mg/kg, siendo el límite aceptado para suelos dedicados a la agricultura en la Comunidad Europea (CE) de 20 mg/kg (22). En Colombia no hay información disponible sobre la presencia de As en suelos donde se cultiva arroz, sin embargo, un estudio realizado en Bosa, Cota y Ricaurte, en cultivos de lechuga, zanahoria y pepino, logró establecer que la concentración de As en el suelo presenta una relación con las cantidades absorbidas por las especies evaluadas (50).

Para evaluar la contaminación de las plantas de arroz con As es necesario considerar aquellos estudios internacionales, en los cuales se ha establecido que a medida que aumenta la concentración de As en el suelo en donde se desarrolla el cultivo, invariablemente aumenta la concentración de este elemento en los órganos de la planta (49, 51). En este sentido, el suelo es una de las principales fuentes de contaminación con As para el cultivo del arroz.

3.3.2 Minería en Colombia

De acuerdo con Güiza (2011), en la actualidad, dadas las favorables condiciones económicas en los mercados internacionales de minerales como el carbón y el oro, se ha incrementado de manera exponencial su explotación legal e ilegal en Colombia. El autor destaca que gracias a su diversidad de ambientes, Colombia dispone de una variada oferta de productos mineros, entre los que

se incluyen carbón, oro, platino, níquel, esmeraldas y caliza, así como la de otros que se producen en menor escala, principalmente sal, roca fosfórica, arcillas, arenas silíceas, minerales de cobre y manganeso, magnesita, barita, yeso y varios tipos de rocas ornamentales.

A continuación se presenta el mapa de distritos mineros de Colombia, de acuerdo con el Sistema de Información Minero Energético Colombiano (SIMEC)

Figura 8. Distritos mineros en Colombia



Fuente: <http://mapas.simec.gov.co/Distritos%20Mineros/>

En cuanto a la extracción de estos recursos mineros, la referencia (52) describe un panorama con dos componentes generales: el primero, referido a la actividad minera formal y de gran escala; y el segundo, a la actividad minera que se desarrolla a escalas menores en forma tradicional y artesanal, con una reconocida carencia de tecnología en muchos casos, por la informalidad y el carácter de subsistencia, lo que la hace insegura, no competitiva y ambientalmente no sostenible. El Plan Nacional de Desarrollo “Prosperidad para todos”, hace énfasis en las locomotoras del desarrollo para señalar aquellos sectores que avanzan o deberían avanzar más rápido que el resto de la economía. Este es el caso del sector de la minería. Las cifras de inversión, productividad y empleo del sector permiten pensar que tendrá un crecimiento mayor al de la economía en conjunto.

Hoy en día, la minería es la actividad de origen antrópico que mayor impacto está causando sobre los recursos naturales del país. Guerrero (2008), destaca que en Colombia, la minería afecta, en el momento, aproximadamente el 3% de los páramos del país, es decir, alrededor de 42,000ha y lo más preocupante es que a finales del 2008 se encontraban en trámite de solicitud minera el 46,8% de ellos; Boyacá y Santander son los departamentos donde mayor número de solicitudes existen.

3.3.3 Contaminación del arroz con As a través del agua

Como se ha mencionado, otra de las fuentes de exposición al As del cultivo del arroz es el uso de agua contaminada con este elemento para el riego que puede conducir al aumento gradual de la concentración de As en todos los órganos de la planta incluido el grano (47). El nivel de As permitido en el agua usada para el riego según la FAO es de 0,1 mg/L (22).

El arsenito que es la forma más tóxica del As, como posee una alta solubilidad en el agua se moviliza a través del suelo y es absorbido eficientemente por las raíces, llegando a los granos (47, 53). Se ha establecido que una mayor concentración de As en el agua de riego, se traduce en una mayor concentración de este elemento en los órganos de la planta incluido el grano (21). No obstante, un estudio realizado en Bangladesh estableció que aunque la concentración de As del agua empleada para el riego fuera alta (0,050 – 0,200 mg/L), no era lo suficientemente elevada como para incrementar de manera significativa la concentración de As en los granos.

Según los resultados, los granos así cultivados presentaban concentraciones de As entre $0,28 \pm 0,13$ mg/kg y $0,44 \pm 0,25$ mg/kg, mientras que los granos cultivados en un sitio denominado control (sometido a riego con agua con 3 µg/L de As), alcanzaban concentraciones de As de $0,30 \pm 0,07$ mg/kg, estos valores no difieren estadísticamente del tratamiento y se encontraban dentro del límite para la concentración de As en arroz establecido como permitido en India (1,1 mg/kg) (54, 55). Estos resultados no son concluyentes puesto que proceden de un solo estudio.

La presencia de As en el agua de riego ha sido reportada en países como Argentina, Chile, China, India, México y Nicaragua. En Colombia, solo se encontró un reporte de As en agua de riego en el Departamento de Córdoba en zonas donde no se cultiva arroz, por lo que no puede generalizarse para las zonas productoras de arroz del país (tabla 9). El estudio realizado por Barragan en el 2008, estableció que la concentración de As en cultivos de hortalizas en Colombia se incrementó por el uso de agua de riego procedente del río Bogotá. Los niveles de As presentes en estas plantas estuvieron entre 0,116 – 0,199 mg/kg (50).

Con respecto a las zonas de producción arroceras, un estudio de Ingeominas sobre cuencas hidrográficas encontró que la zona del triángulo del Tolima presenta concentraciones entre 13,7 – 34,7 mg/L de As en el horizonte profundo (hasta dos metros de profundidad) y en el horizonte superficial de 14,3 – 35,3 mg/L de As, valores considerados altos. Para la zona del Meta y Orinoquía estos valores oscilan entre 0,3 -1,7 mg/L de As en el horizonte profundo y para el superficial entre 0,3 a 1,5 mg/L. Esas diferencias entre las dos zonas podrían estar relacionadas con actividades antropogénicas. En este sentido, si estas aguas fueran utilizadas para el riego de los cultivos de arroz, la región del triángulo del Tolima podría presentar un mayor riesgo de contaminación por As (56).

Tabla 9. Concentraciones de As en agua utilizada para riego.

País	Características de la fuente hídrica estudiada	Concentración de As en el agua	Referencia
Argentina	El estudio se desarrolló en la región de la Pampa.	En el agua de riego se encontraron niveles máximos de As de hasta 0,6 mg/L.	(57)
Chile	Estudio desarrollado en las regiones de Arica y Parinacota (norte de Chile).	Niveles de As en el agua desde 0,02 hasta 5,1 mg/L.	(2)
Colombia	Estudio de Corpomojana, desarrollado en municipios del departamento de Sucre, sobre aguas subterráneas.	Se encontró una concentración máxima de As de 0,0040 mg/L en estas aguas y se observó que en ningún caso la concentración sobrepasó el límite permisible por la resolución 2115 de 2007 del Minprotección (0,01 mg/L).	(58)
India	Agua subterránea de 9 distritos de Bengala del Este, India y 42 distritos de Bangladesh.	En Bangladesh el 59% de las muestras de agua presentan niveles de As superiores 50 mg/L de As, en la región de Bengala del Este el 34% de las muestras presentan el mismo comportamiento.	(59)
México	Agua subterránea del distribuidor general de Zimapán, región caracterizada por actividad minera.	Se detectaron concentraciones de As de hasta 0,55 mg/L.	(60)
Nicaragua	Aguas subterráneas de los municipios de Villanueva, Santa Rosa del Peñon y La Libertad.	Niveles de As entre 0,0104 y 0,1067 mg/L. Además se estableció que el As pentavalente As(+V) predomina sobre el As trivalente As(+III).	(61)

3.3.4 Contaminación con As del arroz a través de plaguicidas

El uso de plaguicidas organoarsenicales es otra fuente de exposición al As para cultivos de arroz (47, 62, 63). Desde el siglo XIX y hasta la mitad del siglo XX estas sustancias fueron usadas como plaguicidas generales y aunque su uso se ha restringido, algunos de ellos permanecen en el mercado, ver tabla 10.

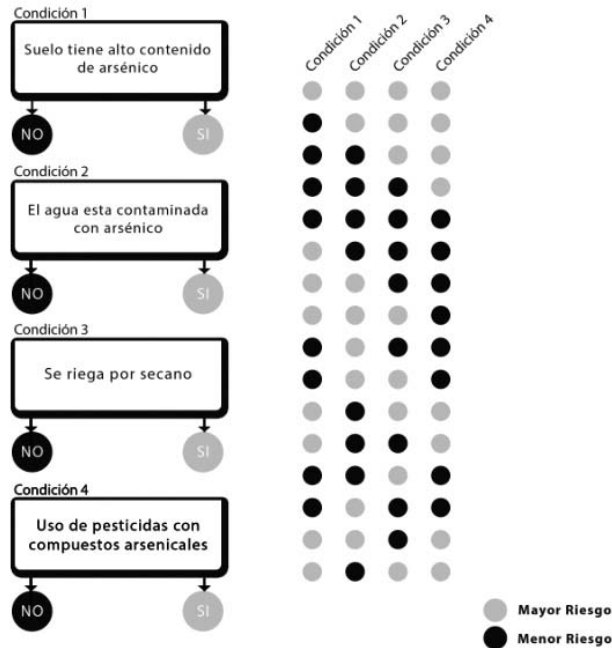
Tabla 10. Compuestos arsenicales usados como plaguicidas.

Compuesto	Aplicación
Arsenicales orgánicos, metanoarseniato monosódico, metanoarsonitato disódico y ácido cadodílico.	Herbicidas, silvicidas y desecantes.
Arsenito de plomo.	Control de insectos y coadyuvante a la acción de fungicidas.
Arsenito sódico.	Herbicida y esterilizante no selectivo del suelo.
Acetoarsenito de cobre (Verde París), arseniato de magnesio, arsenito de cinc, arseniato de cinc.	Insecticidas específicos.

Tomado de Carbonell, 1995 (12).

En un estudio, donde se emplearon suelos contaminados con arseniato de plomo (plaguicida) para cultivos de arroz, se observó un incremento en el riesgo para la salud ocasionado por el consumo de plomo y As a través del grano (64). En Colombia, de acuerdo a información suministrada por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), actualmente no hay productos registrados para uso como herbicidas, fungicidas e insecticidas utilizados en el cultivo de arroz que contengan As, por lo que este factor no debe considerarse y no se constituye en una fuente de contaminación para el arroz (65). En la figura 8 se presenta un esquema para hacer una estimación aproximada del efecto de los diferentes factores involucrados en la cadena primaria sobre el grado de exposición a As, cuando las condiciones colocadas en los bloques están presentes, se incrementa la posibilidad de contaminación (circulo rojo).

Figura 9. Fuentes de contaminación del arroz con As cadena primaria.



3.3.5 Contaminación durante el procesamiento

Se ha demostrado que, dependiendo del proceso de molienda la concentración de As varía, siendo mayor en arroces que se han sometido a procesos de parbolizado (práctica frecuente en los países asiáticos) (45). Por otro lado, se ha observado que el arroz integral, debido a la localización de As inorgánico en la película de salvado que recubre el grano, presenta niveles más altos de arsénico total e inorgánico que el arroz blanco (pulido). En este sentido, las personas que consumen salvado de arroz o arroz integral dentro de una dieta más saludable pueden estar incrementando su exposición al As inorgánico (48, 66, 67). En Colombia no hay información disponible sobre los volúmenes de arroz integral comercializado.

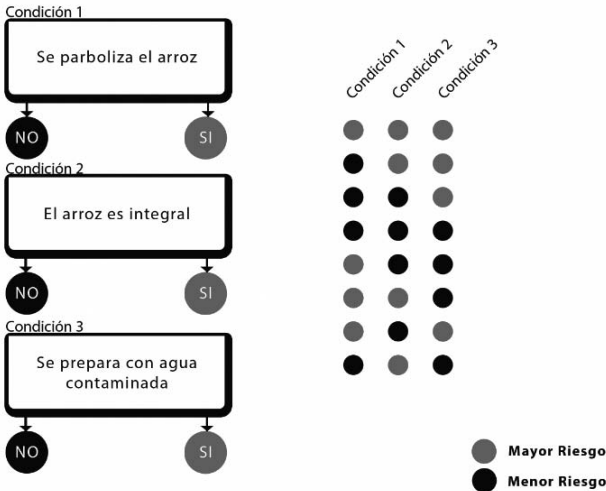
Por otro lado, durante el almacenamiento del grano no se presentan cambios en las concentraciones de As en el arroz. Sin embargo, los residuos provenientes de la agroindustria se utilizan como combustible para la generación de energía y, por lo tanto, cuando la concentración de As en estos

materiales es alta, se puede presentar exposición a este elemento a través de la inhalación de los gases de combustión para los trabajadores, pero no se constituye en un riesgo para el arroz, ya que todo el As en estas etapas se volatiliza debido a las altas temperaturas utilizadas (68).

3.3.6 Contaminación durante los procesos de cocción

Otro elemento importante dentro de la exposición a As, está relacionado con el método de cocción empleado para la preparación del arroz. De este modo, se presentan diferencias por la cantidad y calidad del agua empleada en la cocción, puesto que si el agua está contaminada con As es posible que se incremente la concentración de As en el arroz luego del proceso de cocción. Se ha establecido que los mejores métodos de cocción son aquellos en los cuales el arroz se lava previamente con abundante agua libre de As (49, 69-74). Es importante señalar que el arroz contaminado durante las etapas previas no disminuye la concentración de As durante los procesos de cocción. En la figura 8 se presenta un esquema para hacer una estimación aproximada del efecto de los diferentes factores involucrados durante el procesamiento y preparación del arroz sobre el grado de exposición a As, cuando las condiciones colocadas en los bloques están presentes, se incrementa la posibilidad de contaminación (círculo rojo).

Figura 10. Fuentes de contaminación del arroz durante su procesamiento y preparación.



3.3.7 Producción de arroz en Colombia

En el país, el arroz se cultiva desde el nivel del mar hasta los 2 500 m de altitud. Las precipitaciones condicionan el sistema y las técnicas de cultivo, sobre todo cuando se cultivan en tierras altas, donde están más influenciadas por la variabilidad de las mismas. El arroz necesita para germinar un rango mínimo de temperatura entre 10 a 13°C, considerándose su óptimo entre 30 y 35 °C (44). El cultivo tiene lugar en una amplia gama de suelos, variando la textura desde arenosa a arcillosa. Se suele cultivar en suelos de textura fina y media, propia del proceso de sedimentación en las amplias llanuras inundadas y deltas de los ríos. Los suelos de textura fina dificultan las labores, pero son más fértiles al tener mayor contenido de arcilla, materia orgánica y suministrar más nutrientes. Por lo tanto, la textura del suelo juega un papel importante en el manejo del riego y de los fertilizantes. La mayoría de los suelos tienden a cambiar su pH hacia la neutralidad pocas semanas después de la inundación. El pH de los suelos ácidos aumenta con la inundación, mientras que para suelos alcalinos ocurre lo contrario. El pH óptimo para el cultivo del arroz es 6,6 (44).

En Colombia únicamente se produce arroz paddy y se registra producción de arroz en casi todos los departamentos del país, Tolima (27%), Meta (19%) y Casanare (15%), constituyen el 62% de la producción (75). El país arrocerero se divide en cinco zonas, de acuerdo con características agro-ecológicas: Bajo Cauca, Centro, Llanos Orientales, Santanderes y Costa Norte. De acuerdo al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el arroz es considerado un cultivo transitorio, es decir aquel cuyo ciclo de producción oscila entre 3 y 12 meses (76). Según la Encuesta Nacional Agropecuaria (1), el cultivo de arroz se ubicó en los primeros puestos con una participación del 39% (1). De acuerdo con la información suministrada por FEDEARROZ, en el primer semestre del 2011 se cultivó aproximadamente el 63% del arroz del país, siendo la zona con mayor área cultivada los Llanos Orientales con el 43% del total nacional. En el segundo semestre, se registró el 37% restante, la zona Centro cultivó el 45%, donde el Tolima representó 70% del área cultivada. Esta diferencia entre semestres obedece a que una parte importante de la producción de arroz se realiza bajo secano, principalmente en los Llanos Orientales, afectando los volúmenes que se ofrecen en el mercado. Durante los dos semestres, el área bajo cultivo se mantiene más o menos constante en el Centro, la Costa Norte y Santanderes, mientras en el Bajo Cauca y principalmente en los Llanos

Orientales ésta aumenta notoriamente en el primer semestre. La producción de arroz en el 2010 fue de 2 283 050 t, con un rendimiento promedio de 5,5 t/ha. Los principales productores fueron Tolima, Meta, Casanare y Huila, quienes concentraron el 77% de la producción. En términos de productividad, los primeros puestos se los adjudicaron Huila, Cesar, y Tolima con 7,1, 6,6, y 6,4 t/ha respectivamente (1). Ver Tabla 11.

Tabla 11. Área sembrada de cultivo de arroz total por departamentos. Año 2010.

Departamentos	Área sembrada (ha) Primer Semestre	Área sembrada (ha) Segundo Semestre	Área sembrada (ha) Total
Total nacional	269.296	162.282	431.578
Antioquia	483	783	1.266
Casanare	65.390	15.094	80.484
Cesar	-	20	20
Córdoba	1.042	3.806	4.848
Huila	14.532	17.405	31.937
Meta	80.700	16.544	97.244
Sucre	2.145	1.354	3.499
Tolima	45.707	55.841	101.548
Otros departamentos	59.297	51.435	110.732

Fuente: Encuesta Nacional Agropecuaria (1)

Con relación al país se puede observar que la producción de arroz en los últimos cinco años ha venido disminuyendo, siendo el año 2006 el que presentó la menor producción, los volúmenes de arroz importado para el 2010 fueron del 3,62% del volumen de arroz para dicho año, dicha disminución obedece a efectos de la ola invernal y la presencia de nuevas plagas en el cultivo (77) (ver tabla 12).

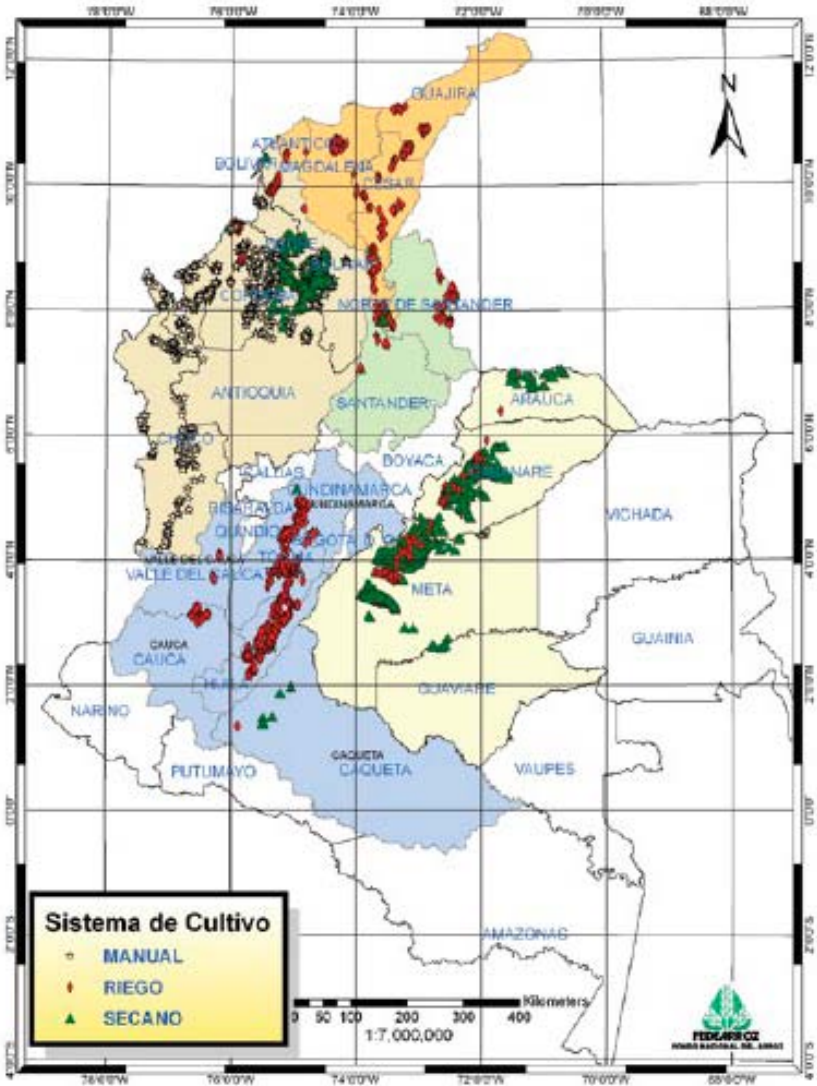
Tabla 12. Producción de arroz paddy blanco (en toneladas) en Colombia (2001-2010).

Año	Mecanizado A	Mecanizado B	Manual	Total
2001	1.316.128	807.862	32.320	2.156.310
2002	1.226.436	804.274	32.320	2.063.030
2003	1.535.584	859.286	32.320	2.427.190
2004	1.606.870	857.526	32.320	2.496.716
2005	1.296.507	767.511	32.320	2.096.418
2006	1.147.938	890.613	32.320	2.070.871
2007	1.192.258	939.014	28.590	2.159.862
2008	1.434.924	916.334	28.590	2.379.848
2009	1 510 431	615 650	28 590	2.154.671
2010	1 307 097	763 508	28 590	2 099 195

Fuente: DANE- FEDEARROZ. 2012 (41).

En Colombia predominan dos grandes categorías en el cultivo del arroz: arroz mecanizado y arroz manual (o chuzo). El arroz mecanizado, es aquel en el cual se emplean máquinas (tractores, combinadas y aviones) para realizar una o varias labores del proceso productivo del cultivo (preparación del suelo, siembra, control de malezas y plagas, fertilización y recolección) y el arroz manual, es aquel cultivo tradicional donde sólo se emplea mano de obra en todas las actividades del proceso productivo (78). El arroz mecanizado a su vez se divide en arroz por riego y arroz seco. En el arroz por riego, el agua que requiere el cultivo es provista por el hombre en cualquier momento y en el arroz seco, el agua únicamente proviene de las lluvias. En la figura 11 se presenta la distribución geográfica del sistema de cultivo del país.

Figura 11. Distribución del sistema del cultivo de arroz



Fuente. FEDEARROZ, 2012 (41).

Por otro lado, de acuerdo al tipo de siembra la superficie cultivada se distribuye de acuerdo a los datos presentados en la tabla 13.

Tabla 13. Superficie sembrada de arroz (Hectáreas) por sistema de siembra.

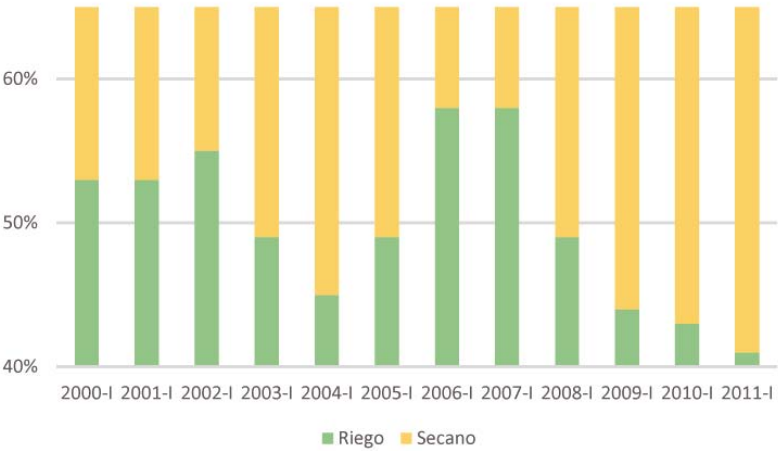
Año	Riego	Secano	Total
2001	291.220	157.779	448.999
2002	258.750	145.833	404.583
2003	285.978	186.839	472.817
2004	281.381	213.149	494.530
2005	250.687	158.265	408.952
2006	254.947	125.426	380.373
2007	256.295	127.396	383.691
2008	266.693	175.537	442.230
2009	259.357	209.534	468.891
2010	247.662	173.058	420.720

Tomado de: Dane Fedearroz, 2012 (41).

Como puede observarse en la tabla 12, las hectáreas sembradas por riego son mayores que las sembradas por secano, aunque se observa de manera progresiva que han disminuido el número de hectáreas por riego y aumentado el sistema por secano, seguramente asociado a un incremento en la producción en los llanos y la Orinoquía, y mejoras en la utilización del recurso hídrico.

En la figura 12 se presentan los datos de cultivo mecanizado y su relación con el sistema de riego. Como puede observarse con el tiempo ha disminuido la proporción de arroz mecanizado que se hace por inundación (para el 2011 fue del 42% por inundación), ésto es muy importante ya que en el país cerca del 98% del arroz se produce vía mecanizada y, al aumentar el proceso por secano, se reduce el riesgo de incrementar la concentración de As en el grano.

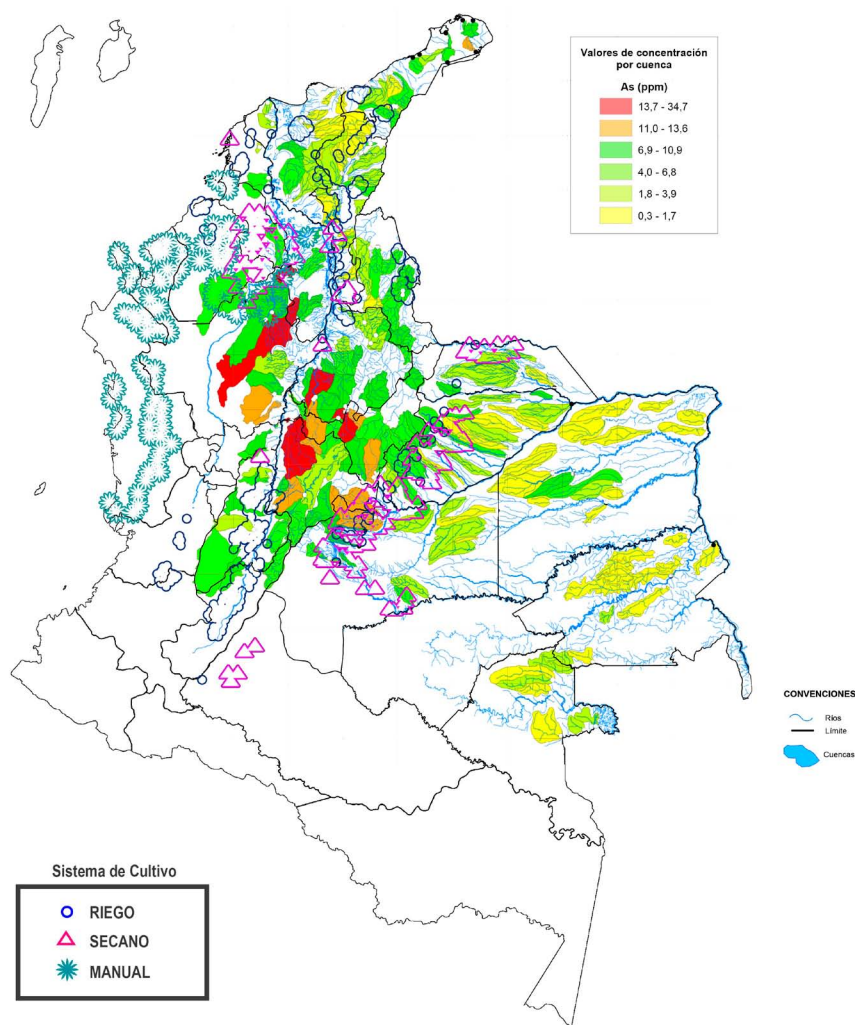
Figura 12. Porcentaje de arroz sembrado por secano o riego, en cultivos mecanizados 2000-2011.



Tomado de: Dane Fedearroz, 2012 (41).

Al comparar la concentración de As monitoreada por INGEOMINAS, en las diferentes cuencas hidrográficas con las zonas geográficas de producción de arroz, así como el sistema de cultivo, se identifica a las regiones de Norte de Meta, Suroccidente de Cundinamarca, Casanare, Mojana Sucreña, Arauca y Occidente de Norte de Santander, como aquellas donde hay más probabilidad de contaminación de los cultivos de arroz, por la distribución natural de As en las cuencas (figura 13).

Figura 13. Distribución geográfica de la concentración de Arsénico y de los sistemas de cultivo de arroz.



3.3.8 Presencia de As en derivados del arroz

Además de la exposición que los humanos tienen al As presente en el arroz por el consumo directo del grano, existen otros tipos de exposición asociados al consumo de otros productos alimenticios derivados del arroz, como el arroz crujiente, arroz expandido, las galletas, cereales de arroz tostado, harina de arroz, vinagre, sirope, compotas, salvado de arroz, aceites de salvado, solubles de salvado, escabeche de salvado y productos típicos como el Mirin (líquido de arroz fermentado), el Miso (pasta de arroz fermentada) y Amazake (sustituto de la leche creado a partir de arroz dulce fermentado) (138). La mayor parte del As presente en los productos derivados del arroz es inorgánico (75,2–90,1%) (67).

4. EFECTOS ADVERSOS EN SALUD ASOCIADOS AL PELIGRO

La ingesta de alimentos contaminados con As inorgánico ha sido relacionada con cuadros de toxicidad sistémica, que involucran un gran número de órganos. Efectos tóxicos agudos, subagudos y crónicos pueden generarse posterior a la exposición al As por vía oral.

4.1 TOXICOCINÉTICA DEL As.

4.1.1 Absorción

Cada una de las formas químicas o especies del As, tiene diferentes propiedades físicas, químicas y de biodisponibilidad. Estudios realizados en humanos han establecido que el arsenito y arsenato presentes en el agua de bebida son rápida y completamente absorbidos después de la ingestión (cerca del 95%) (85). No obstante, la absorción de As inorgánico ingerido depende de la solubilidad de los compuestos del As, la presencia de otros constituyentes de los alimentos y nutrientes en el tracto gastrointestinal, así como de la matriz del alimento. Por ejemplo, Juhasz et al (2008) demostraron que la biodisponibilidad de As inorgánico presente en alverjas fue del 100% en cerdos alimentados con esta leguminosa, mientras que para lechuga este porcentaje fue solamente del 50%, sugiriendo la influencia de polisáridos no digeribles en la absorción gastrointestinal del As (86). Para el caso del arroz, se ha establecido en cerdos que la especiación juega un papel importante en la absorción del As, en el caso de arroz obtenido de supermercado y preparado con agua contaminada con As, se presentó una biodisponibilidad del 89% para As inorgánico, mientras que arroz obtenido de invernadero, irrigado con agua contaminada con arsenato de sodio, resultó en una absorción del 33% del As (87).

En estudios realizados tanto en animales como en humanos el As inorgánico (tri y pentavalente) es bien absorbido (80-90%) en el tracto gastrointestinal. La mayor evidencia se deriva del estudio que evaluó la eliminación del As administrado en agua a humanos sanos reportando una absorción del 95% (88).

4.1.2 Distribución

En el sistema sanguíneo, el As es distribuido entre el plasma y los glóbulos rojos, en estos últimos tiene una gran afinidad con la hemoglobina (31). La cantidad depende del estado de oxidación y la dosis de As, así como la especie animal. El arsenito y el arsenato son rápidamente transportados a la célula, el primero es transportado por glicoporinas 7 y 9, las cuales normalmente transportan agua y glicerol y el segundo por transportadores de fosfato (89-91). Los transportadores de la hexosa permeasa es otra vía para el influjo de arsenito (92). En muchas especies, después de administrar compuestos arsenicales, los niveles residuales son elevados en hígado, riñones, bazo y pulmones. Sin embargo, después de varias semanas, el As es translocado a pelo, uñas y piel, debido a la concentración de proteínas con alto contenido de grupos sulfhidrilo en estos tejidos (93). Los niveles residuales tienden a ser más altos, en el caso de arsenito que para arsenato. Se ha demostrado que el As es capaz de atravesar la placenta en mamíferos (94) incluidos los humanos (95), resultando en niveles de exposición similares para la madre y el feto. Tanto el As inorgánico como metabolitos metilados, metilarsonato y dimetilarsinato, atraviesan la placenta (95) (96). En contraste a la rápida transferencia del As al feto, es muy baja la excreción de éste en la leche materna (95).

4.1.3 Metabolismo

En muchos mamíferos, incluido el hombre, el As inorgánico es biotransformado y excretado principalmente como sus metabolitos metilados. El arsenato entra a las células a través del sistema de transportadores de fosfatos y puede ser biotransformado enzimáticamente por la glutatión reductasa (50-70% en mamíferos) a su forma más reactiva, el arsenito (97). También se ha propuesto que la purina nucleosido fosforilasa (PNP) participa en esta biotransformación (98). En los mamíferos, el arsenito sufre metilación oxidativa en el hígado por adición de un grupo metilo de la S-adenosilmetionina, y es catalizado por la enzima arsénico-metiltransferasa, dando como resultado la formación de metilarsonato (31).

El As pentavalente, metilarsonato, es reducido a la forma trivalente metilarsonito por la enzima glutatión-S-transferasa ω 1, también conocida como metilarsonato reductasa (99). La formación de metabolitos de As pentavalente

metilado puede considerarse como indicador de desintoxicación, mientras que la producción de metilarsonatos trivalentes conduciría a la bioactivación. Si este proceso es significativo, puede contribuir a la toxicidad del arsénico trivalente (100). A través de la metilación oxidativa, el metilarsonito puede recibir un segundo grupo metilo para producir dimetilarsinato (101). No es claro hasta qué punto es dimetilarsinato reducido a dimetilarsinito in vivo, especialmente porque el dimetilarsinito es un intermediario inestable y difícil de medir (102). En los roedores (principalmente ratas), probablemente el dimetilarsinato a través de dimetilarsinito, puede ser nuevamente metilado favoreciendo la excreción como óxido de trimetilarsina (pentavalente), éste a su vez también puede reducirse a trimetilarsina (forma trivalente). El óxido de trimetilarsina generalmente no se detecta en la orina humana (103).

Se cree que el hígado es el sitio principal para la metilación de As debido a su masa (104). Se ha reportado que los testículos en los ratones, tienen mayor afinidad específica para la metiltransferasa, seguido por los riñones, el hígado y los pulmones (105). Otra vía fue propuesta recientemente por Hayakawa (106), quien sugiere que las especies de As trivalente metilados se pueden formar antes de los respectivos productos finales de las especies pentavalentes. En este nuevo modelo propuesto, el arsenito reacciona con el glutatión, convirtiéndose en triglutatión As, que se ha identificado en la bilis de ratas tratadas ya sea con arsenato o arsenito (107).

El triglutatión As es luego metilado por arsénico-metiltransferasa por transferencia del grupo metilo de la S-adenosilmetionina, resultando en monometilarsénico diglutatión, que es nuevamente metilado por arsénico-metiltransferasa a dimetilarsénico glutatión o se convierte en metilarsonita después de reaccionar con glutatión. El monometilarsénico diglutatión y glutatión dimetilarsénico son metabolitos biliares de As en ratas (107).

Dado que los metabolitos de As metilados reducidos, metilarsonito y dimetilarsinito, son especies reactivas, no se determinan fácilmente en muestras biológicas. Hay sin embargo, varios informes de su presencia en la orina (108, 109). Vale la pena señalar que la mayoría de los estudios sobre metabolitos de As en orina no han podido detectar estas especies metiladas reducidas a pesar de los esfuerzos específicos para hacerlo. Por ejemplo, Slejkovec et al y Raml et al (110, 111) reportaron el tio-dimetilarsinato como metabolito de la orina en mujeres de Bangladesh y sugirieron que esta

especie pudo haber sido identificada erróneamente como dimetilarsinito en otros estudios. Las especies metiladas reducidas también se han detectado en cabello y uñas (108), muestras que puedan presentar menos dificultades de análisis en términos de almacenamiento de las muestras y la inestabilidad. Un estudio reciente, sin embargo, sólo informó la presencia de As inorgánico, metilarsonato y dimetilarsinato en las uñas de un grupo de 17 personas expuesto a arsénico (112).

Además, muchos factores tales como edad, sexo, estado nutricional y la raza afectan la biotransformación del As en los seres humanos, y marcadas variaciones interindividuales en el metabolismo del As se han observado. Por ejemplo, el porcentaje de metilarsonato en la orina puede variar de 1 a 30% dependiendo de los individuos. Estas variaciones se deben en parte a un polimorfismo genético en la regulación de las enzimas responsables del metabolismo de As. Aunque en la actualidad la arsenobetaina en pescados y mariscos no se metaboliza en el ser humano y se excreta sin cambios metabólicos en la orina (113), arsenoazúcares, que son abundantes en las algas y moluscos, son esencialmente metabolizados por completo (113, 114).

La presencia de arsenoazúcares en los alimentos es de interés debido a que estos compuestos se biotransforman en el ser humano principalmente a dimetilarsinato, el mismo metabolito producido a partir del As inorgánico ingerido. La microflora gastrointestinal probablemente desempeña un papel importante en la conversión de arsenoazúcares a metabolitos biodisponibles como se ha demostrado *in vitro* con ratones por Conklin et al. (2006) (115) e “*in vivo*” en los experimentos llevados a cabo en el ganado ovino (102). El metabolismo humano de arsenolípidos también resulta en la formación de dimetilarsinato, que luego se excreta en la orina (16).

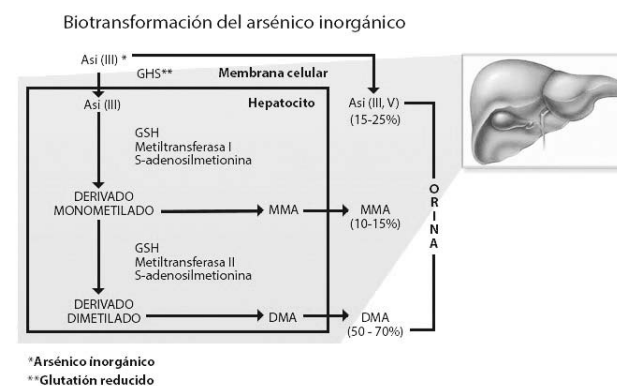
4.1.4 Ruta metabólica del As en el cuerpo humano.

Tanto la forma orgánica como inorgánica del As se absorben en el tracto gastrointestinal. Después de la absorción, el As se elimina rápidamente de la sangre y es metabolizado a MMA y DMA en el hígado (116). El metabolismo del As se caracteriza por dos reacciones secuenciales: La primera reacción es la reducción de arsénico pentavalente a arsénico trivalente en presencia de glutatión, mientras que la segunda es la reacción de metilación oxidativa en la que las formas trivalentes del As son secuencialmente metiladas para formar

productos mono, di y trimetilados (MMA y DMA) con s-adenosilmetionina (SAM) como donante de metilo y glutatión mono oxigenasa (GSH) como un co-factor esencial. La orina es la principal vía para la eliminación de ambas formas inorgánicas del As (pentavalente y trivalente), 45-75% de la dosis administrada se excreta en la orina y la parte que no se excreta es acumulada (116).

Se ha establecido que el arsenito presenta afinidad por las células ricas en queratina, como la piel, cabello y uñas debido a que reacciona fácilmente con los grupos sulfhidrilo de muchas enzimas y proteínas esenciales dentro de este tipo de células (116) (ver figura 14). Se pueden presentar diferencias en el metabolismo del As dependiendo de la edad del consumidor.

Figura 14. Ruta metabólica del As en el cuerpo humano.



* Arsénico inorgánico
** Glutatión reducido

4.1.5 Excreción

El As y sus metabolitos se excretan fácilmente en la orina y la bilis, para el caso de las ratas, la excreción es preferentemente biliar (100). El dimetilarsinato es el principal metabolito del As excretado por vía urinaria tanto en mamíferos como en seres humanos (91).

Los perfiles urinarios de excreción de As y sus metabolitos metilados son muy variables entre especies (100, 104). En contraste con la mayoría de los mamíferos, los seres humanos excretan cantidades apreciables de metilarsonato en la orina. La composición de los metabolitos de As urinario varía de una persona a otra y está relacionada con la eficiencia de metilación de As. El perfil típico de metabolitos urinarios de As consiste en 10-30% de arsénico inorgánico, 10-20% de metilarsonato, 60-70% de dimetilarsinato (117). El porcentaje de dimetilarsinato urinario ha sido considerado como un indicador de la eficiencia de metilación. Algunos autores para evaluar la capacidad de metilación del As, calculan: el índice de metilación primaria definida como la relación entre el metilarsonato y los As inorgánicos (arseniato + arsenito), y el índice de metilación secundaria como la relación entre dimetilarsinato y el metilarsonato. Otros calculan la relación porcentual entre el As metilarsonato y el dimetilarsinato frente al total, para evaluar la capacidad de metilación (99).

La principal ruta de excreción después de la exposición a As inorgánico es a través de los riñones. Un pequeño porcentaje es excretado en las heces. Durante la lactancia, un pequeño porcentaje del As ingerido es excretado en la leche materna, otras rutas de eliminación aunque de menor importancia incluyen piel, cabello, uñas y sudor (118).

4.2 MECANISMOS DE TOXICIDAD (TOXICODINÁMICA DEL ARSÉNICO).

Los compuestos de As trivalente son reactivos con los grupos sulfhidrilo y por lo tanto inhiben enzimas o alteran las proteínas mediante la reacción con los grupos sulfhidrilo de las proteínas. El arseniato es un desacoplador de la fosforilación oxidativa mitocondrial, por un mecanismo probablemente relacionado con la sustitución (118) competitiva (mimetismo) del arseniato con el fosfato inorgánico en la formación de trifosfato de adenosina (ATP) (119).

Además de este mecanismo de acción, se han propuesto otros para explicar la toxicidad del As y su carcinogenicidad. El As y sus metabolitos han mostrado propiedades oxidantes causantes de daño al ADN creando metilación e inestabilidad genómica, alteración en los mecanismos de reparación e incremento de la proliferación celular (119). A diferencia de

otros carcinógenos, el As no es un mutágeno de bacterias y actúa débilmente en las células de mamíferos, puede inducir anormalidades cromosómicas, aneuploidia y formación de micronúcleos. El As puede también actuar como comutágeno y/o carcinogénico (carcinógeno). Estos mecanismos son mutuamente excluyentes y todos pueden estar vinculados en la toxicidad del As y en sus propiedades carcinogénicas.

4.3 INTOXICACIONES AGUDA Y SUBAGUDA

Los efectos por intoxicación aguda se presentan por la ingesta no intencional, suicidio u homicidio. La intoxicación aguda es aquella que está relacionada con la exposición a una dosis única, mientras que la intoxicación subaguda es donde la exposición al As ocurre durante dos a tres semanas consecutivas. Dentro de los síntomas que se asocian a estas intoxicaciones se encuentran fiebre, síntomas gastrointestinales, dolor abdominal, hepatomegalia, arritmia cardíaca e incluso la muerte. La ingesta aguda de As puede causar daño de membranas y mucosas del tracto gastrointestinal generando irritación, formación de vesículas y disfagia. Estudios realizados en ratas han establecido que la DL_{50} para As inorgánico es de 15-145 mg/kg de peso, para arsenito de 26-39 mg/kg; en el caso de ratones para arsenito la DL_{50} es de 112-175 mg/kg. (85). La variabilidad en los datos de DL_{50} se puede atribuir a diferencias en las especies, raza, tipo de arsénico evaluado y método de detección. La muerte de estos animales en estas investigaciones se da en la mayoría de los casos a las 24 horas, no obstante no hay datos sobre la causa de la muerte (20). La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) reporta como dosis letal la ingesta de 100 a 300 mg (aproximadamente 1 a 5 mg/kg peso). En la siguiente tabla se resumen los principales efectos tóxicos agudos y subagudos por la exposición a As (88).

Tabla 14. Principales efectos tóxicos agudos y subagudos.

Sistema u órgano	Síntomas y signos
Gastrointestinal	Naúsea, vómito, anorexia, quemazón, dolor abdominal, diarrea, sangrado en las heces.
Dérmico	Dermatitis, vesículas y melanosis.
Neural	Encefalopatía (hiperpirexia, convulsiones, temblores, coma y desorientación), neuritis, neuropatía periférica (primariamente de tipo sensorial, parestesias, hiperestesias, adormecimientos de extremidades, debilidad y calambres musculares.
Renal	Necrosis cortical, leucocituria, glucosuria, hematuria, oliguria y uremia.
Hepático	Congestión, infiltración grasa, necrosis central, colangitis, colecistitis.
Hematológico	Anemia, trombocitopenia, leucopenia, supresión de la médula ósea.
Cardiovascular	Anormalidades cardíacas (fibrilación ventricular y taquicardia atípica), prolongación del intervalo Q-T, onda T anormal, falla cardíaca congestiva, hipotensión.
Respiratorio	Irritación de la mucosa nasal, faríngea, laríngea y bronquial, edema pulmonar, traqueobronquitis, bronconeumonía, perforación del septum nasal.
Oftálmico	Conjuntivitis

Fuente. ATSDR 2007.

4.4 INTOXICACIONES CRÓNICAS

La arsenicosis está definida como una patología crónica originada por la ingesta prolongada de As por encima de la dosis segura durante al menos 6 meses y usualmente se manifiesta por lesiones características de la piel como melanosis y queratosis, solas o combinadas, con o sin compromiso de órganos internos (OMS, 2005).

Dentro de los efectos que pueden tardar años en desarrollarse, dependiendo del nivel de exposición, se incluyen las lesiones cutáneas, neuropatía periférica, síntomas gastrointestinales, aumento en el riesgo de diabetes, efectos sobre el sistema renal, enfermedades cardiovasculares y cáncer (26). El As trivalente es un carcinógeno que induce anormalidades cromosómicas, incluyendo los cambios en la estructura y el número de cromosomas.

El mecanismo molecular de la carcinogénesis inducida por el As no se ha esclarecido por completo (120).

Las manifestaciones cutáneas de arsenicismo crónico, resultante de la ingestión de As, pueden ser o no malignas. Algunas de las alteraciones dérmicas son caracterizadas por un aumento en la pigmentación y el endurecimiento de la piel, que es una combinación de melanosis y queratosis. Las características de las lesiones cutáneas del arsenicismo se van presentando gradualmente, pasando del desarrollo de manchas pequeñas conocidas como “gotas de lluvia” hasta una hiperpigmentación (116).

Actualmente, no existen criterios clínicos aceptados internacionalmente para el diagnóstico y la gestión de arsenicosis o enfermedades asociadas con la exposición de As, aunque estudios demuestran que las características dermatológicas de pigmentación y queratosis pueden ser una alternativa por su frecuencia en la consulta médica (116). En la tabla 15 se presenta un resumen de las diversas patologías asociadas a la intoxicación por As, aunque los estudios actuales no pueden establecer como única causa de estas patologías la intoxicación por As.

Tabla 15. Patologías asociadas a la intoxicación crónica por As.

Patología	Manifestación clínica	Referencia
Dérmicos	- Hiperpigmentación - Hiperqueratosis - Lesiones en la piel - Hiperqueratosis palmoplantar - Descamación en la piel - Cáncer de piel	(121) (85, 122)
Neurológicos	- Neuropatía - Polineuritis - Parálisis motora, específicamente en las partes distales de las extremidades. - Pérdida de la audición - Retardo mental - Encefalopatía - Polineuropatía simétrica periférica (sensomotora, parecida al Síndrome de Landry-Guillain-Barré) - Anormalidades electromiográficas. - Neuropatía periférica tanto en neuronas sensitivas como en neuronas motoras	(123) (122)
Hepáticos	- Hepatomegalia, junto con una elevación en las enzimas hepáticas - Cirrosis. - Degeneración grasa. - Hipertensión portal sin cirrosis	(78-80)
Hematológicos	- Anemia - Cariorrexis. - Hipoplasia de médula ósea. - Leucopenia. - Metabolismo alterado del folato. - Trombocitopenia.	(121)- (122, 123)
Cardiovasculares	- Acrocianosis (intermitente). - Arritmias. - Anormalidades en la microcirculación. - Aterosclerosis en las carótidas. - Cardiopatía isquémica. - Enfermedad de pie negro (gangrena con amputación espontánea). - Hipertensión. - Infarto cerebral. - Pericarditis. - Síndrome de Raynaud	(121) (122) (123)
Respiratorios	- Enfermedades crónicas restrictivas/obstructivas - Insuficiencia pulmonar (lesiones enfisematosas). - Rino-faringo-laringitis. - Traqueobronquitis	(122, 123)
Endocrinos	- Diabetes Melitus	(121) (122)
Otros (Cáncer)	- Cáncer de pulmón - Cáncer de piel	(121) (122)

5. REPORTES DE CASOS DE ARSENICOSIS

5.1 ÁMBITO INTERNACIONAL (INCIDENCIA Y PREVALENCIA)

5.1.1 Reportes de casos:

No se encontraron casos reportados de intoxicación con As por la ingesta de arroz en el mundo.

5.2 ÁMBITO NACIONAL (INCIDENCIA Y PREVALENCIA)

No se encontró ningún reporte publicado.

5.2.1 Reportes de caso

No se encontró ningún reporte publicado.

5.3 ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS

5.3.1 Internacional:

No se encontraron estudios de casos controles de intoxicación de As por consumo de arroz. Los estudios están enfocados en agua.

5.3.2 Nacional:

No se encontró ningún reporte publicado

5.4 GRUPO RIESGO

Cualquier individuo puede estar expuesto a la ingesta de As, sin embargo, en Colombia por consumo de arroz la población más expuesta corresponde al grupo etario de 15 a 18 años (124), puesto que estos individuos son los que presentan una mayor ingesta de arroz (244,1 g/día).

5.5 RELACIÓN DOSIS- RESPUESTA

FAO, en la evaluación de riesgos del año 1986, estimó un límite de consumo semanal de 15 µg de As inorgánico/kg de peso corporal. Sin embargo, en 2010 JECFA formuló un modelo dosis – respuesta, con base en estudios de cáncer de pulmón y de tracto urinario, disponibles de China y Taiwan, donde se habían detectado las concentraciones de As inorgánico en agua de bebida, los cuales fueron extrapolados a todos los alimentos. El Comité, estimó el ajuste de casos tomando el riesgo relativo de contraer cáncer. Para el análisis de la relación dosis – respuesta, JECFA usó el software USEPA BMD (BMDS version 2.1.1) donde fueron calculados los valores de Bench Mark Dose (BMD) y límite inferior de confianza (BMDL). En este orden de ideas y tras dichos análisis, JECFA encontró que la dosis de referencia (BMDL0.5) para As inorgánico es de 3 µg/ kg peso corporal (147).

Por otra parte, el estado nutricional de los individuos está relacionado con la capacidad de éstos de transformar el As ingerido y excretarlo, afectando el nivel de toxicidad de este elemento. Esto depende, igualmente de la cantidad de As ingerida y del tiempo de exposición (125).

El impacto en la salud por la exposición al As depende de la dosis, la modalidad y la duración de la exposición, así como la fuente y el tipo de As. La exposición prolongada a dosis de 0,005 a 0,09mg/kg peso corporal / día resulta en arsenicosis (116).

Dependiendo de la especie química, las dosis letales de As se encuentran en el intervalo entre 1,5 mg/kg y 500 mg/kg. Para humanos, la ingestión de 70 -80 mg de trióxido de As puede resultar fatal. El As⁺³, tiene una alta afinidad por los grupos sulfhidrilo de biomoléculas como glutatión, ácido lipóico y residuos de cisteinil de muchas enzimas. (47).

Se ha mencionado también que la asociación dosis-respuesta entre la exposición al As y el riesgo que representa para la salud humana, puede ser subestimado si no es incluida la ingesta de este elemento a partir de fuentes diferentes al agua usada como bebida (20, 40, 126).

Por otra parte, tomando datos de muestras de arroz de Estados Unidos (0,25 mg/kg de As total, de los cuales entre 0,05 y 0,15 mg/kg correspondían a As

inorgánico) y de arroz de China (concentración de As inorgánico en niveles entre 0,07 y 0,38 mg/kg), se modeló la tasa de cáncer para predecir si el exceso de As causa un incremento en los casos de cáncer en relación a una línea base de tasas de cáncer, ésto se logró multiplicando el consumo diario proyectado de As inorgánico en el arroz por un factor de riesgo propuesto por la US Environmental Protection Agency (US EPA). Usando este modelo, los autores calcularon el exceso en la tasas de cáncer de 1 por 10 000 personas en Italia y Estados Unidos, de 7 por 10 000 en India, 15 por 10 000 en China y 22 por 10 000 en Bangladesh. Ésto se traduce en que para el caso de Bangladesh por ejemplo, si por cada 10 000 personas morían 2 000 de cáncer, debido a la exposición a través del arroz, morirían 22 más, es decir 2022, generando un exceso en la tasa de 22. Sin embargo, los autores aclaran que la estimación puede estar sesgada debido a que el valor de la EPA subestima el riesgo de cáncer (127).

5.6 CONSIDERACIONES SOCIO-DEMOGRÁFICAS

5.6.1 Contexto Internacional

Los países asiáticos presentan un mayor riesgo a la exposición al As por su alto consumo de arroz y por el tipo de agua utilizada en el riego del cultivo (agua subterránea). Contrario a esta situación en Europa el riesgo es menor debido al bajo consumo de este alimento. Así mismo, en Estados Unidos y otros países pueden presentarse casos aislados de arroz con altos contenidos de As debido a la proximidad de los cultivos con zonas de explotación minera (128).

5.6.2 Contexto Nacional

Con la información disponible en el país no hay posibilidad de establecer si hay diferencias socio-demográficas que tengan impacto sobre la exposición del consumo de As por arroz.

6. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

6.1 ESTUDIOS PREVIOS DE EVALUACIONES DE LA EXPOSICIÓN

En la literatura internacional se han realizado diversos estudios sobre la exposición humana a la ingesta de As, siendo los productos de origen marino y el agua de bebida los más estudiados. Para el caso de Estados Unidos, estas evaluaciones establecieron que la contribución más grande estaba dada por el consumo de pescado (76-96%), en los grupos etarios estudiados (129). En otro estudio realizado en Alemania, se estableció que los lactantes no eran afectados por el consumo de leche materna, a pesar de que sus mamás hubieran consumido pescado contaminado con As (130).

Con relación al arroz, la exposición varía de acuerdo a la fuente (variedad, tipo de cultivo, condiciones de riego, fertilización) y a la forma de preparación (131). Según datos del Joint Expert Committe on Food Additives (JECFA-FAO), la concentración de As total en arroz se mantiene entre 0,002 y 1,83 mg/kg, mientras que la concentración de As inorgánico en este mismo cereal varía entre 0,01 y 0,51 mg/kg (55).

Para poblaciones donde la exposición al As por el consumo de agua envasada es baja, el arroz es la principal fuente de As inorgánico (132-134). Por ejemplo, en Suiza se estimó que el arroz contribuye con el 1,3% del Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) (0,015 mg/Kg/día), mientras que en el sureste asiático el arroz contribuyó con el 24% del PTWI (66). Otro estudio realizado en Bangladesh, donde el consumo de arroz por persona día es de 260 g, estimó una ingesta promedio de As a través del arroz de 0,091 mg/día, valor que se ubica por debajo del PTWI establecido por JECFA-FAO de 0,015 mg/ kg de peso corporal (que sería equivalente a 0,13 mg de As/día para un adulto de 60 kg) (135).

En Brasil, se realizó un estudio sobre la concentración de cinco diferentes especies de As (As⁺³, As⁺⁵, DMA, MMA, AsB) en 44 muestras de arroz (blanco, parbolizado blanco, integral, integral parbolizado, blanco orgánico e integral orgánico). Considerando arroz blanco al grano que ha sido sometido al proceso de pulido, el arroz integral como el grano que mantiene la película de salvado sobre su superficie, el parbolizado como el grano que se obtiene después de realizar un proceso de cocción húmedo y secado del arroz con cáscara y el

tipo orgánico como aquel cuyo cultivo no ha involucrado productos químicos. El valor medio total de As fue de 0,222 mg/Kg y el consumo diario de As inorgánico (la forma más tóxica) se estimó en un 10% del PTDI (Provisional Tolerable Daily Intake) con una ingestión diaria de 88 g de arroz (en Brasil se consumen en promedio 32 kg de arroz por habitante año). Se encontró que el As inorgánico (As⁺³, As⁺⁵) y el ácido dimetilsársínico (DMA) fueron las especies predominantes en todas las muestras. Los porcentajes de estas especies en promedio fueron 38,7%, 39,7%, 3,7% y 17,8% para DMA, As⁺³, MMA y As⁺⁵ respectivamente. En este estudio, también se observó que el arroz integral presenta una mayor concentración de As (promedio de 0,348 mg/kg), que el arroz integral parbolizado (promedio de 0,266 mg/kg), el arroz blanco (promedio de 0,223 mg/kg) y el arroz blanco parbolizado (promedio de 0,215 mg/kg) (47).

En la tabla 16 se presentan datos de contaminación con As en arroz blanco de estudios realizados en diferentes países, donde se observa que los valores más altos se encuentran en Estados Unidos y los más bajos en Egipto.

Tabla 16. Concentración promedio de As en muestras de arroz blanco de dif países de origen.

País de Origen	Concentración me- dia de As (mg/kg)	Desviación estándar (mg/kg)	Referencia
Australia	0,14	0,1	(136)
Bangladesh	0,13	0,06	(136)
Brasil	0,22	NR	(137)
Canadá	0,11	NR	(72)
China	0,15	0,06	(136)
Egipto	0,05	0,06	(136)
España	0,19	0,14	(136)
Estados Unidos	0,25	0,09	(136)
Francia	0,19	0,04	(136)
Ghana	0,1	0,08	(136)
India	0,08	0,04	(136)
Japón	0,19	0,08	(136)
Italia	0,16	0,07	(136)
Nepal	0,06	0,03	(136)
Pakistán	0,09	0,1	(136)
Tailandia	0,15	0,04	(136)

6.1.1 Exposición a As a través de derivados del arroz

Como se menciona anteriormente en el numeral 3.3.8., además de la exposición que los humanos tienen al As presente en el arroz por el consumo directo del grano, puede presentarse exposición asociada al consumo de otros productos alimenticios derivados del arroz, como: el arroz crujiente, arroz expandido, las galletas, cereales de arroz tostado, harina de arroz, vinagre, sirope, compotas, salvado de arroz, aceites de salvado, solubles de salvado, escabeche de salvado y productos típicos como el Mirin (líquido de arroz fermentado), el Miso (pasta de arroz fermentada) y Amazake (sustituto de la leche creado a partir de arroz dulce fermentado) (138). La mayor parte del As presente en los productos derivados del arroz es inorgánico (75,2–90,1%) (67).

En Colombia deben considerarse como posibles fuentes de exposición alimentos como: pan de arroz, masato, manjar blanco, dulces con harina de arroz, arroz con leche, barras de cereal, coladas, cereales para niños cuya formulación contenga arroz y agua de horchata, entre otros. Sin embargo, no hay información disponible de las concentraciones de As en productos derivados del arroz.

En la tabla 17 se muestran los promedios reportados en China para niveles de As en productos derivados del arroz (67):

Tabla 17. Promedios reportados para niveles de arsénico en productos derivados del arroz.

Producto	Concentración Promedio (mg/kg)
Aceite de salvado	0,03 ± 0,003
Amazake	0,03
Arroz crujiente	0,21 ± 0,01
Arroz inflado	0,24 ± 0,02
Fideos de arroz	0,12 ± 0,09
Galletas de arroz	0,16 ± 0,03
Mirin	0,01 ± 0
Vinagre	0,05 ± 0,023

Fuente: Sun, 2009 (67)

Incluir cereales al desayuno es frecuente en Europa, especialmente en el Reino Unido e Irlanda. En particular, éstos son consumidos casi a diario por los niños (porción promedio ~30 g). Por tal motivo, la exposición diaria a As inorgánico desde una dieta que incluya cereales derivados del arroz puede ser de al menos 0,0042 mg, por esto cuando la exposición se considera sobre la base del peso corporal los niños resultan vulnerables a este elemento. En el caso de los niños orientales, cuyo desayuno está acompañado de galletas (porción aproximada de 30 g, según recomendación de fabricante), en algunos casos producidos a partir de harina de arroz, sus niveles de ingestión de As inorgánico pueden aumentar. Una porción de galleta aporta entre 0,006 a 0,0063 mg de As inorgánico, calculado desde las aproximaciones allí presentadas (67). En Colombia no hay información disponible sobre el consumo de cereales derivados del arroz en niños, así como en los otros grupos etarios.

6.2 DATOS DE CONSUMO

De acuerdo a la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional (118), el 99,6% de los colombianos consume arroz o pasta, desafortunadamente esta encuesta no discrimina entre estos dos tipos de productos. Dicha encuesta establece que el 92,5% de la población consume diariamente arroz o pasta (1), el 32,5% consumen una vez al día, el 50,1% consume dos veces al día, y 9,8% más de tres veces al día. La encuesta también establece que los hombres consumen más arroz o pasta que las mujeres. No hay información disponible sobre la porción consumida. Sin embargo, en la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional del año 2005 se presenta la información por grupo etario siendo el grupo de 15-18 años el que presenta el mayor consumo de arroz (Tabla 18).

Tabla 18. Consumo de arroz en Colombia por grupo etario

Edad (años)	Cantidad promedio en g/día
2-3	90,4
4-8	137,6
9-13	200,6
14-18	244,1
19-50	207,4
51-64	179,8

Fuente: ENSIN, 2005 (124).

En Colombia, el arroz es la principal fuente de calorías y proteínas para las familias de escasos ingresos, que representan aproximadamente el 20% de la población del país; de acuerdo a la información disponible en FEDEARROZ el consumo promedio es de 42 kg/año (1).

El consumo promedio mundial es de 60 kg/hab/año y los grandes productores y exportadores como Vietnam y Tailandia, registran consumos de más de 250 kg/hab al año, señalando que el consumo en el país está por debajo de la media mundial. Al comparar el consumo con países de América, Colombia reporta datos inferiores frente a Uruguay (156 kg/hab/año), Ecuador (65 kg/hab/año) y Perú (51 kg/hab/año) (139), parte del descenso en el consumo de arroz está relacionado con el incremento del consumo de derivados del trigo, como pan, pastas y galletas (139).

El Departamento Nacional de Estadística (DANE) reportó en la Encuesta Integrada de Hogares Colombianos, que el consumo de arroz por persona semanal para el primer semestre del año 2011, fue de 1,6 libras, lo que equivale a 114 gramos por día. En la tabla 19 se presenta la información en las 13 ciudades donde se realizó esta encuesta, donde puede verse que las ciudades de la costa atlántica son las que presentan un mayor consumo de este producto (1).

Tabla 19. Consumo per cápita de arroz dentro de los hogares durante los meses de marzo y junio (2011).

Ciudades y áreas metropoli- tanas (A.M.)	Libras/ semana	
	Marzo	Junio
Montería	2,0	2,0
Barranquilla (A.M.)	1,9	1,9
Cartagena	1,8	1,9
Cali (A.M.)	1,7	1,7
Pasto	1,5	1,5
Pereira	1,4	1,5
Medellín (A.M.)	1,3	1,3
Manizales (A.M.)	1,4	1,2
Ibagué	1,3	1,3
Bogotá D. C	1,2	1,3
Villavicencio	1,0	1,1
Cúcuta	1,1	1,0
Bucaramanga	0,7	0,9

Fuente: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/bol_arroz_lsem11.pdf

6.3 EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN PARA COLOMBIA

En un estudio realizado por el INVIMA en el año 2010 para 81 muestras de arroz proveniente de los municipios de los departamentos productores del Meta y el Huila, el cual se realizó en las dos épocas de cosecha, se detectó la presencia de As en concentraciones entre 0,0057 y 0,0192 mg/kg, en todas las muestras de la cosecha del segundo semestre, mientras que en las muestras del primer semestre solo el 25% de las muestras presentó contaminación con As, en concentraciones de 0,004-0,010 mg/kg (Laboratorio de Referencia de Análisis Físicoquímico de Alimentos del INVIMA), valores que comparados con los reportados para el arroz comercializado en otros países son bajos y aparentemente no representarían un riesgo.

Con estos datos se estimó la exposición diaria a As total por el consumo de arroz por kg de peso, tomando como base un consumo promedio de 114 g/día (tabla 20).

Tabla 20. Exposición diaria al As por consumo de arroz.

	Concentración alta (mg/kg/día)	Concentración baja (mg/kg/día)
Primer semestre	0,00218	0,000649
Segundo semestre	0,00114	0,000456

6.3.1 Exposición a As inorgánico

Los datos de As que se tienen en Colombia corresponden a As total, por esta razón se hacen algunas presunciones para estimar el contenido de As inorgánico, teniendo en cuenta que las concentraciones de As inorgánico pueden variar desde 10% hasta 75% con respecto a la concentración total de As (140).

Tabla 21. Exposición a As inorgánico.

		Asumiendo que un 10% del As total corresponde a As inorgánico (mg/kg/día)	25% As inorgánico. (mg/kg/día)	50% As inorgánico. (mg/kg/día)	75% As inorgánico. (mg/kg/día)
Primer semestre	Valor más bajo	6,49 x 10 ⁻⁵	1,62 x 10 ⁻⁴	3,24 x 10 ⁻⁴	4,86 x 10 ⁻⁴
	Valor más alto	2,18 x 10 ⁻⁴	5,45 x 10 ⁻⁴	1,09 x 10 ⁻³	1,63 ,x 10 ⁻³
Segundo semestre	Valor más bajo	4,56 x 10 ⁻⁵	1,14 x 10 ⁻⁴	2,28 x 10 ⁻⁴	3,42 x 10 ⁻⁴
	Valor más alto	1.14 x 10 ⁻⁴	2,85 x 10 ⁻³	5,7 x 10 ⁻³	8,55 x 10 ⁻³

6.3.2 Determinación del riesgo para la población colombiana de sufrir cáncer ocasionado por la exposición a As.

Para evaluar el riesgo lo primero es establecer los datos de requeridos, en la Tabla 22, se presenta un resumen de los mismos:

Tabla 22. Parámetros requeridos para evaluar el peligro asociado a la exposición a As.

Factor/Parámetro	Símbolo	Unidades	Valores	Fuente
Duración de la exposición	ED	Años	72 para mujeres 79 para hombres.	OMS
Frecuencia de la exposición	EF	días/año	365	ENSIN,2005
Tiempo de vida medio	AT	Años	73 para mujeres 80 para hombres	OMS
Carcinógenos	ATC		70	US EPA, 2011.
No – carcinógenos	ATNC		70	US EPA, 2011.
Masa Corporal	BW	Kg	60	
Velocidad de Ingestión	IR	Kg/día	0,114	ENSIN,2005

Empleando esta información, los datos reportados por el INVIMA sobre la concentración de As en muestras de arroz contaminadas con este elemento para Colombia (9,7x10⁻³ mg/kg de arroz), y la metodología del anexo 2 se puede estimar la dosis diaria promedio ingerida del contaminante para hombres y mujeres.

$$ADD_{NC-Mujeres} = \frac{7,7 \times 10^{-3} \text{ mg/kg} * 0,114 \text{ kg/día} * 72 \text{ años} * 365 \text{ días/año}}{60 \text{ kg} * 73 \text{ años} * 365}$$

Ecuación 1

$$ADD_{NC-Mujeres} = 1,82 \times 10^{-5} \text{ mg/(Kg –día)}$$

$$ADD_{NC- Hombres} = \frac{7,7 \times 10^{-3} \text{ mg/kg} * 0,114 \text{ kg/día} * 79 \text{ años} * 365 \text{ días/año}}{60 \text{ kg} * 80 \text{ años} * 365}$$

Ecuación 2

$$ADD_{NC-Hoombres} = 1,82 \times 10^{-5} \text{ mg/(Kg –día)}$$

Como no hay diferencia en la dosis diaria promedio ingerida para hombres y mujeres, se puede proceder a hacer la caracterización del riesgo de daños no carcinogénicos, del siguiente modo:

$$HQ = \frac{1,82 \times 10^{-5} \text{ mg/kg-día}}{3, \times 10^{-4} \text{ mg/kg-día}}$$

$$HQ = 0,06$$

Ecuación 3

Como el valor del cociente HQ, es menor que 1,0, se considera que la exposición al As por la ruta asociada al consumo de arroz, no representa un riesgo, en cuanto a daños no carcinogénicos.

Por otro lado, la evaluación del riesgo incremental de cáncer, se establece como se muestra a continuación:

Para este caso, aunque el tiempo de exposición no es igual al tiempo de expectativa de vida y teniendo en cuenta que los dos son muy similares, es posible considerar que ADDc es igual ADDNC y por lo tanto el riesgo incremental de cáncer se obtiene a partir de la ecuación 4:

$$\text{Riesgo incremental del cáncer} = 1,82 \times 10^{-5} \frac{\text{mg}}{\text{kg-día}} * 1,5 \left(\frac{\text{kg-día}}{\text{mg}} \right)$$

$$\text{Riesgo incremental de cáncer} = 2,73 \times 10^{-5}$$

Ecuación 4

Lo que significa que el riesgo incremental de cáncer ubica a la exposición al As a través del arroz en la zona de preocupación, puesto que el riesgo de desarrollar cáncer a lo largo de la vida se incrementaría en 3 personas por cada 100 000, asumiendo que el 100% del arsénico (total) corresponde a arsénico inorgánico, que sería el escenario más conservador.

De otro lado, asumiendo otro escenario menos conservador, en dónde solo el 10% del As (total) corresponde a arsénico inorgánico, se tendría un valor de

HQ igual a 0,006, indicando un riesgo menor de peligro no asociados a cáncer. Mientras que el valor del riesgo incremental de cáncer sería de $2,73 \times 10^{-6}$, que se traduciría en que por cada 1 000 000 de personas se incrementaría en 3, el número de aquellas que podrían desarrollar cáncer a lo largo de su vida por exposición a As.

Por lo tanto, los datos de riesgo incremental de cáncer obtenidos, comparados con los reportados de 1 por 10 000 personas en Italia y Estados Unidos, de 7 por 10 000 en India, 15 por 10 000 en China y 22 por 10 000 en Bangladesh, hacen que la situación de Colombia no despierte alarmas a este respecto. (127).

6.3.3 Determinación de la preocupación en salud pública para la población colombiana, ocasionado por la exposición a As.

Para el cálculo del parámetro de margen de exposición (MOE), se deben tener en cuenta las siguientes limitaciones.

- La evaluación a la exposición se centró únicamente en un alimento (arroz).
- Se dispuso de una cantidad limitada de datos cuantitativos acerca de la contaminación de arroz con As total y estos se limitaron a los departamentos de Arauca, Casanare, Huila y Meta.
- Se asume que el arroz que se produce en los departamentos de Arauca, Casanare, Huila y Meta, son distribuidos a nivel nacional.
- Los datos de As total en las muestras de arroz corresponden a un espacio temporal limitado para el segundo semestre del año 2010 y primer semestre de 2011.
- Los datos de consumo y de medidas antropométricas (peso), corresponden al año 2005.
- Solamente se cuentan con concentraciones de As total, por lo cual fueron necesarios escenarios hipotéticos de concentración de As inorgánico.

Para estimar la preocupación en salud pública, representada en la probabilidad de aumentar la incidencia de cáncer de pulmón y de tracto urinario, se utilizó el parámetro margen de exposición (MOE), es importante señalar que se hicieron varios supuestos al tener información limitada.

De acuerdo con EFSA (2005), para la interpretación del MOE como punto de referencia son tenidos en cuenta los siguientes factores de seguridad:

a) diferencias inter especies, b) diferencias intra especies, c) naturaleza de los procesos carcinogénicos, d) el punto de referencia de la curva dosis – respuesta. En general, EFSA sugiere que para sustancias carcinogénicas y genotóxicas un valor de MOE igual o superior a 10.000 no suscita preocupación en salud pública; por otro lado para sustancias no genotóxicas (como es el caso de As) un valor de MOE igual o inferior a 100 suscita preocupación en salud pública, para ambos casos un MOE que reporte un valor inferior a 1, indica que se ha superado el umbral toxicológico y por ende la probabilidad de enfermar se verá aumentada.

Para estimar este parámetro se tuvieron las siguientes consideraciones:

- 1) El promedio de todos los datos de As total en las muestras de arroz, suministrados por el laboratorio nacional de referencia del INVIMA. Para los datos que no fueron detectados por la técnica empleada (límite de detección) se tomó el valor del límite de detección. El promedio de As total en arroz fue de 0,0725 mg/kg.
- 2) Consumo de arroz por día. Se tomó el dato de la ENSIN (2005), donde el consumo de la población general es de 189,4 g/día; niños (2 - 3 años) es de 90,9 g/día y adolescentes (14 – 18 años) es de 244,4 g/día.
- 3) Datos antropométricos: peso promedio para mujeres (61,2 kg), hombres (68,6 kg), niños (12,5 kg) y adolescentes (52,4 kg) (124).
- 4) Debido a que los datos suministrados corresponden a As total y no inorgánico, se plantearon cinco escenarios diferentes, asumiendo concentraciones de As inorgánico del 10, 25 y 50 y 75%.

La fórmula para el cálculo de MOE es:

MOE = Referencia toxicológica¹/Exposición

¹ Referencia toxicológica: BMDL_{0.05} = 3 µg/Kg de peso corporal por día (147).

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 23, el calculo del MOE indica valores inferiores a 100 en escenarios donde la concentración de As inórganico hipotética fuera de 25, 50, 75 y 100% del As total.

Tabla 23. Cálculo del MOE para la población en Colombia

Escenarios de concentración de As inorgánico (%)	MOE			
	Mujer (18 – 64 años)	Hombre (18 – 64 años)	Niños (2 - 3 años)	Adolescentes (14 - 18 años)
10	133,2	149,3	56,9	88,7
25	53,3	59,7	22,8	35,5
50	26,6	29,9	11,4	17,7
75	17,8	19,9	7,6	11,8
100	13,3	14,9	5,7	8,9

Los datos del MOE obtenidos son mayores a uno lo que sugiere que con las concentraciones de As presentes en el arroz no se ha superado el umbral toxicológico, sin embargo este dato es de preocupación en salud pública para el gestor del riesgo, especialmente en la población infantil (2 – 3 años) donde el MOE calculado, indica en todos los escenarios, que es muy cercano a 1, favoreciendo la probabilidad de aumentar la incidencia de adquirir cáncer pulmonar o de tracto urinario en un 0,5% en un periodo de 11,5 años, haciendo la salvedad de que la exposición puede aumentar si se contemplan otros aportes de As por consumo de agua de bebida, otros alimentos y factores ambientales.

6.4 REGLAMENTACIÓN

6.4.1 Internacional

Según JECFA (31) hasta ahora son limitadas las intervenciones prácticas y los enfoques de control para el As en los alimentos. Sin embargo, esta misma organización ha establecido un PTWI de 15 µg/ kg de peso corporal (que sería equivalente a 130 µg/ día de As inórganico para una adulto de 60 kilogramos de peso).

En algunos países, existen niveles máximos permisibles para el As total e inorgánico en el arroz, éstos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 24. Niveles máximos para el total y el As inorgánico en el arroz en diversos países.

País	Autoridades Normativas	Nivel Máximo mg/kg
Australia	FSANZ	1 (para el total de As en cereales)
China	Ministerio de Salud	0,2 para el As inorgánico en el arroz y productos del arroz.
India		1,1 para el total de As (no se da un Nivel Máximo Específico para otros alimentos)
Reino Unido	Agencia de Normas Alimentarias	1 para el total del As (todos los alimentos, no se da un Nivel Máximo Específico).
Singapur	Autoridad Agroalimentaria y Veterinaria	1 para el total de As (no se da un Nivel Máximo Específico para otros alimentos)

Tomado de Codex, 2011 (55).

Sin embargo, el Codex Alimentarius aún no ha establecido un nivel máximo (NM) para el As o sus especies en el arroz y los productos alimentarios a base de arroz. En este sentido, la variabilidad de la contaminación de As inorgánico en el arroz y sus derivados de región a región, y las diferencias en las capacidades de los países para preveer y controlar la presencia de As inorgánico, hacen que sea difícil determinar el intervalo de variación normal del As inorgánico en el arroz y en sus derivados a escala mundial (55).

6.4.2 Nacional

En Colombia existe la reglamentación para el contenido de As en aguas para fines agrícolas y agua para el consumo humano. De acuerdo con el artículo 40 del Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud, el contenido máximo para aguas utilizadas con fines agrícolas es de (0,1 mg/L). La resolución 2115 de 2007 del Ministerio del Medio Ambiente establece que el agua para consumo humano debe tener una concentración máxima de As de 0,01 mg/L.

7. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL

De acuerdo con los datos suministrados por el INVIMA y los cálculos de MOE, la exposición a As (sustancia no genotóxica) suscita preocupación en salud pública, debido a que los valores en diferentes escenarios son inferiores a 100, sin superar el umbral toxicológico a través de la ingesta de un solo alimento, para este caso el arroz. Sin embargo, a continuación se plantean algunas medidas que pueden ser útiles para mantener este peligro controlado.

- Control de los vertimientos provenientes de actividades mineras que puedan contaminar aguas utilizadas para riego en las zonas productoras de arroz. Acorde con esto, el agua utilizada en el riego de los cultivos no debe exceder 0,1 mg de As/L.
- Los cultivos por secano, disminuyen la biodisponibilidad del As y su acumulación en la planta.
- Mejorar el drenaje en los suelos utilizados para los cultivos de arroz (145).
- Las entidades responsables de otorgar los registros para plaguicidas deberán asegurar que en el principio activo no se encuentren compuestos arsenicales.
- La industria procesadora de arroz deberá establecer programas de control de proveedores que incluya la determinación de As en el grano, especialmente si son materias primas utilizadas para alimentos infantiles.
- Difundir a la población general y especialmente al grupo de vegetarianos, los posibles riesgos de intoxicación crónica por As, asociados al consumo de arroz integral, arroz parbolizado y arroz parbolizado integral ya que datos internacionales han demostrado que estos contienen una mayor concentración de As (67).
- Utilizar agua potable en el lavado y preparación del arroz, puesto que como ya se ha mencionado, la cocción con agua contaminada por As puede incrementar el riesgo de exposición (47, 69, 70).

8. CONCLUSIONES

Pregunta 1. ¿Cuáles son las posibles fuentes de arsénico que pueden contaminar el arroz (presencia en los suelos, aguas de riego o insumos agrícolas)?

En Colombia, las posibles fuentes de arsénico que pueden contaminar el arroz son:

- a. Durante el cultivo: riego con agua contaminada con As, cultivo por inundación y uso de suelos con alto contenido de As.

De acuerdo con la información suministrada por el ICA, los herbicidas y fertilizantes en el cultivo de arroz no contienen As y por tanto, no se consideran una fuente de contaminación.

Los reportes internacionales señalan que los cultivos de arroz cercanos a áreas de explotación minera son más propensos a la contaminación con As.

- b. El arroz integral y el sometido a proceso de parbolización contienen niveles más altos de As, al compararlo con el arroz blanco.
- c. La preparación de arroz con agua contaminada con As incrementa la concentración en el producto.
- d. Las fuentes naturales de As presente en cuencas hidrográficas del país, pueden potenciar la presencia de este metal pesado en los cultivos, lo cual se asocia al tipo de sistema productivo empleado.

Pregunta 2. ¿Los niveles de arsénico presentes en el arroz que se produce en Colombia, pueden llegar a considerarse como un riesgo para la población?

Para evaluar el impacto de los niveles de arsénico presentes en el arroz que se produce en Colombia, el país debería contar con las determinaciones

analíticas de As inorgánico mas no de As total como indicador de la concentración en este producto. Adicionalmente, y teniendo en cuenta que sólo se dispone de información sobre las concentraciones de As total en arroz del Huila y la zona de la Orinoquía (Arauca, Casanare y Meta), el cálculo de la estimación del riesgo nacional, puede presentar un nivel de incertidumbre, en relación a estos dos factores.

Sin embargo, con la información disponible, fueron establecidos escenarios hipotéticos para el cálculo del indicador MOE, con el cual se pretendió determinar una preocupación en salud pública. Es así, que la exposición de la población infantil (niños 2 – 3 años) donde el MOE calculado, indica en todos los escenarios que es muy cercano a 1, se puede favorecer la probabilidad de aumentar la incidencia de adquirir cáncer pulmonar o de tracto urinario en un 0,5% en un periodo de 11,5 años, haciendo la salvedad de que la exposición puede aumentar si se contemplan otros aportes de As por consumo de agua de bebida, otros alimentos y factores ambientales.

A su vez teniendo en cuenta el cociente de peligro (HQ) calculado, la ingesta de As a través del consumo de arroz incrementaría en 3 el número de individuos por cada 100.000 habitantes que podrían desarrollar cualquier tipo de cáncer (por una exposición de toda una vida).

Las personas que consumen arroz parbolizado, parbolizado integral o arroz integral podrían tener un mayor riesgo de exposición al As.

En conclusión, con la información disponible a la fecha no es posible el desarrollo de una evaluación de riesgos, se sugiere continuar con el levantamiento de datos y seguir algunas de las recomendaciones que se presentan a continuación.

9. RECOMENDACIONES

La información correspondiente a datos de muestreo y análisis de As en arroz en Colombia no obedece a un muestreo estadísticamente significativo, por lo cual no arroja datos de concentración de este metal a nivel nacional. Sólo se cuenta con cuantificación para las zonas del triángulo del Tolima y la región de Meta - Orinoquía. Adicionalmente, no hay datos de especiación de As en las muestras de arroz analizadas en el país. Por lo tanto, se recomienda:

- a. Monitorear el As presente en: a) el agua utilizada para el riego de los cultivos de arroz, especialmente en zonas donde hay explotaciones mineras; b) la concentración de este metal en suelos utilizados para cultivo de arroz; c) los productos derivados del arroz producidos en Colombia, en especial en cereales para niños, d) el agua de bebida.
- b. Establecer líneas de base de As en arroz pulido, integral y parbolizado, principalmente en los departamentos de Meta, Tolima y Huila y otras zonas productoras. Se recomienda implementar un programa de muestreo estadísticamente significativo, para este propósito.
- c. Implementar la técnica de detección de la especiación de As en los laboratorios de la Red Nacional, garantizando que se cuente con los recursos necesarios, infraestructura y talento humano. Lo anterior priorizando en los departamentos de mayor producción arroceras.
- d. Realizar actividades de inspección, vigilancia y control en los productos importados como arroz y sus derivados, enfatizando sobre aquellos provenientes de países con antecedentes de presencia de este contaminante en arroz, como por ejemplo los asiáticos.

Aunque se está avanzando en la generación de normas internacionales para el establecimiento del nivel máximo de As en alimentos, es necesario que Colombia establezca sus propios límites basándose en las líneas de base y demás información nacional.

Para cuantificar la exposición al As en Colombia, se requiere contar con mapas de riesgo ambiental, que se puedan correlacionar con la estimación de prevalencia de arsenicosis, de tal manera que sea posible explorar la relación entre la concentración de As en arroz, agua, pescado y las manifestaciones clínicas. Para ello se considera importante:

- a. En salud humana, se recomienda desarrollar un estudio detallado en los pacientes que presenten enfermedades dermatológicas como queratosis y pigmentación (características del arsenicismo) para detectar alguna relación en cuanto a consumo de arroz.
- b. En vigilancia en salud pública, generar un programa de capacitación y asistencia técnica para el personal médico y paramédico en el diagnóstico y tratamiento de arsenismo.
- c. Realizar un estudio epidemiológico entre las regiones con mayor y menor consumo de arroz y su posible asociación con la incidencia de cáncer.

Para estudios poblacionales como las encuestas de la situación nutricional del país, se recomienda que contemplen el consumo de arroz en poblaciones de alto riesgo, como niños menores de 3 años y adultos mayores de 65 años.

Se requiere el desarrollo de encuestas de consumo enfocadas a arroz y sus derivados, que incluyan el estudio de grupos específicos de la población como vegetarianos y vegetarianos estrictos, así como discriminando el consumo por género y regiones, para poder estimar adecuadamente la exposición. A su vez, se obtengan datos de consumo en agua de bebida y pescado para cuantificar la exposición real a As.

El Gobierno debería apoyar la identificación o desarrollo de variedades de arroz en las cuales la absorción de As sea baja e incentivar el cultivo de arroz por secano.

El Gobierno debe promover programas orientados al uso de agua potable en la elaboración de arroz.

10. GLOSARIO

Acrocianosis: (Etimología - Griego)(*ákros*, extremo, en punta; *kýanos*, azul). f. Coloración azul a veces negruzca o lívida, permanente en la piel y las mucosas de las manos y los pies acompañada de frialdad y sudoración excesivas.

Alteración circulatoria: alteración generada por diferentes etiologías y que impactan sobre el sistema circulatorio induciendo cambios o alteraciones relacionadas con la sangre circulante y el equilibrio de los fluidos tisulares.

Arritmia: (Etimología - Griego)(*a*, sin; *rýthmos*, ritmo). f. Falta de ritmo y desigualdad en las contracciones del corazón.

Ateroesclerosis: enfermedad progresiva que destruye la anatomía normal de la pared arterial y solo a finales de su evolución, el engrosamiento y la fibrosis conducen a un estrechamiento que evoluciona hacia una oclusión de la luz arterial. Por lo general es clínicamente silenciosa hasta los últimos momentos de su curso.

Cardiopatía isquémica: desequilibrio entre el suministro de oxígeno y sustratos con la demanda cardíaca. La isquemia es debida a una obstrucción del riego arterial al músculo cardíaco y causa, además de hipoxemia, un déficit de sustratos necesarios para la producción de ATP y una acumulación anormal de productos de desecho del metabolismo celular.

Cariorrhexis: (Especialidad - patología) Fragmentación del núcleo celular.

Cromatografía de intercambio iónico: técnica de separación de los analitos basada en la afinidad selectiva de los mismos, por una fase estacionaria de carácter iónico (resinas de intercambio iónico) y donde estos son transportados por una fase móvil que corresponde a un solvente de carácter iónico.

Cromatografía líquida de alta resolución: técnica de separación de muestras basada en la afinidad selectiva de los analitos por la fase estacionaria normalmente confinada en una columna y lavada por la fase móvil que

normalmente es un líquido con polaridad contraria. Esta técnica utiliza mayor presión y gradientes de concentración de la fase móvil para optimizar la resolución de la separación.

Espectrometría de absorción atómica acoplada a generación de hidruros: técnica analítica para la determinación cuantitativa de elementos basada en la interacción de la radiación con la muestra. La generación de hidruros es una reacción química que permite in situ proveer hidrógenos con carga negativa que reaccionan con los elementos a determinar generando hidruros volátiles que incrementan la sensibilidad de detección del analito.

Espectrometría de fluorescencia atómica acoplada a generación de hidruros: técnica analítica para la determinación cuantitativa de elementos, basada en la interacción de la radiación fluorescente con la muestra. La generación de hidruros es una reacción química que permite in situ proveer hidrógenos con carga negativa que reaccionan con los elementos a determinar generando hidruros volátiles que incrementan la sensibilidad de detección del analito.

Espectrometría de masas por fuentes de plasma de acoplamiento inductivo: técnica de análisis para la determinación cuantitativa de metales en su forma iónica mediante la aspersión de los analitos normalmente en un analizador de masas.

Gangrena: Proceso de necrosis producida por causas físicas, químicas, circulatorias, nerviosas, tóxicas o infecciosas.

Hepatomegalia: (Etimología - Griego) (*hépar*, hígado; *mégas*, grande). f. Crecimiento del hígado por encima de los límites normales.

Hipertensión: (Especialidad - neurocirugía y neurología) (gr. *hypér*, superioridad, exceso; lt. *tensus*, tendido). f. Aumento de la tensión, especialmente de la presión vascular o sanguínea.

Hipoplasia: (Etimología - Griego) (*hypo*, debajo - *plásis*, formación - ia). Estado de un órgano o tejido que no logra su total desarrollo.

Infarto cerebral: accidente cerebrovascular causado por un proceso de isquemia, durante el cual muere parte de la masa encefálica debido al fallo en la irrigación sanguínea.

Melanosis: (Etimología - Griego) (gr. *mélas*, negro - osis). Trastorno de la piel caracterizado por depósitos anormales de melanina, un pigmento oscuro.

Neuropatía: (Etimología - Griego) (*nêuron*, nervio; *páthos*, enfermedad). f. 1. Enfermedad caracterizada por trastornos nerviosos sin lesiones orgánicas, de los cuales el enfermo es consciente. Sinónimo: Neurosis. 2. Afección nerviosa, especialmente degenerativa.

Neuropatía periférica: afecciones del sistema nervioso periférico (raíces, ganglios, plexos, fibras nerviosas), de naturaleza inflamatoria o degenerativa, que en su modalidad de polineuropatía afectan varios nervios de forma simultánea, con signos simétricos distales y participación de pares craneales o no. Se encuentran entre las alteraciones neurológicas más frecuentes.

Pericarditis: (Especialidad - infectología) Inflamación de la membrana serosa que cubre al corazón (pericardio). Su etiología frecuentemente es infecciosa, aunque siempre debe descartarse la etiología tóxica o tumoral.

Polineuritis: (Etimología - Griego) (*polýs*, mucho; *neûron*, nervio; itis, suf., inflamación). f. Síndrome que afecta el sistema nervioso periférico, cuyos síntomas pueden ser motores (parálisis), subjetivos (parestias) y objetivos (defectos sensitivos).

Provisional Tolerable Weekly Intake: Ingesta semanal tolerable provisional

Queratosis: Aumento de grosor del estrato córneo de la piel.

Síndrome de Raynaud: alteración caracterizada por un vasoespismo episódico de las arterias y arteriolas periféricas, seguido de vasodilatación y reperusión, que resulta en palidez, cianosis y eritema.

Trombocitopenia: (Especialidad - oncohematología) Disminución en el número de plaquetas; (Especialidad - patología) Reducción del número normal de plaquetas (150.000–300.000 / mm³) que afecta severamente la coagulación y causa sangrado.

11. SIGLAS

EPA: Agencia de protección del Medio Ambiente

FAO: Organización de las Naciones Unidas para el Fomento de la Agricultura.

ICA: Instituto Colombiano Agropecuario

IGAG: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

INS: Instituto Nacional de Salud

INVIMA: Instituto de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos

JECFA: Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios

OMS: Organización Mundial de la Salud

SIMEC: Sistema de Información Minero Energético Colombiano

UERIA: Unidad de Evaluación de Riesgos para la Inocuidad de los Alimentos

12. AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Salud y Protección Social, especialmente a la Ingeniera Claudia Patricia Moreno Barrera por su interés y compromiso en el tema e importante apoyo en la conclusión de este trabajo.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), especialmente la Dra. Maria del Pilar Agudelo, por su valioso apoyo, abierto y decidido en la elaboración de este trabajo.

A la Organización Mundial del Comercio (OMC) la cual a través de la donación de recursos del **FONDO PARA LA APLICACIÓN DE NORMAS Y EL FOMENTO DEL COMERCIO (FANFC)** patrocinó el proyecto “Fortalecimiento de la Unidad de Evaluación de Riesgo para la Inocuidad de Alimentos – UERIA para Colombia, en cumplimiento del Acuerdo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias de la Organización Mundial del Comercio”.

A la Subdirección de Alimentos y Bebidas Alcohólicas del INVIMA, especialmente el grupo de riesgos químicos, por el suministro de la información y aportes necesarios en el proceso.

A la Oficina de Laboratorios y Control de Calidad del INVIMA por el envío oportuno de los datos de As de su plan de vigilancia años 2010-2011.

Al ICA por su respuesta frente a los requerimientos realizados por la UERIA para la elaboración de este perfil.

Al Ministerio de Industria y Comercio Exterior por los datos sobre las cifras de importaciones de arroz.

Al Instituto Geográfico Agustín Codazzi por su apoyo en la obtención de documentación sobre caracterización de suelos.

A Joseph Ruano, por la diagramación de las diversas figuras que se presentan en este documento.

A Giovanni Sanabria por el diseño y diagramación del presente documento.

13. REFERENCIAS

1. DANE. Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA). 2010. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/ena/ENA_2010.pdf. Consultado el 12 de julio de 2012.
2. Bundschuh J, Litter MI, Parvez F, Román-Ross G, Nicolli HB, Jean JS, et al. One century of arsenic exposure in Latin America: A review of history and occurrence from 14 countries. *Sci Total Environ*. 2011;10:1016- 24.
3. Smith AH, Lingas EO, Rahman M. Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency. *Bulletin of the World Health Organization*. 2000;78(9):1093-103.
4. IARC. Some Drinking-water Disinfectants and Contaminants, including Arsenic. Summary of Data Reported and Evaluation; 2004, Vol. 4. En <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol84/volume84.pdf>, consultado el 12 de Julio de 2012.
5. Straif K, Benbrahim-Tallaa L, Baan R, Grosse Y, Secretan B, El Ghissassi F, et al. A review of human carcinogens--part C: metals, arsenic, dusts, and fibres. *The lancet oncology*. 2009;10(5):453.
6. Hsu KC, Sun CC, Huang YL. Arsenic speciation in biomedical sciences: Recent advances and applications. *The Kaohsiung journal of medical sciences*. 2011;27(9):382-9.
7. INS-UIERIA. Perfil de riesgo *Bacillus cereus* en alimentos listos para consumo no industrializados. Ed. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá 2011.
8. International Programme on Chemical Safety (IPCS). Health and Safety Guide NE70: Inorganic arsenic compounds other than arsine. World Health Organization. Geneva 1992.
9. Stwertka A. A Guide to the Elements: Oxford University Press, USA; 2002.
10. Arsenic: the essentials. Disponible en: <http://www.webelements.com/arsenic/>. Consultado el 12 de julio de 2012.
11. Earnshaw A, Greenwood N. Chemistry of the Elements, Second Edition. 1997.
12. Carbonell A, Burló F, Mataix J. Arsénico en el sistema suelo-planta. Imprenta de la Universidad de Alicante. España. 1995.

13. Hughes MF, Beck BD, Chen Y, Lewis AS, Thomas DJ. Arsenic exposure and toxicology: a historical perspective. *Toxicol Sci.* 2011;123(2):305-32.
14. WHO. Arsenic, Drinking-water and Health Risks Substitution in Arsenic Mitigation : a Discussion Paper 2003. 1-54 p.
15. Francesconi KA. Toxic metal species and food regulations—making a healthy choice. *Analyst.* 2006;132(1):17-20.
16. Schmeisser E, Goessler W, Francesconi KA. Human metabolism of arsenolipids present in cod liver. *Anal Bioanal Chem.* 2006;385(2):367-76.
17. Cullen W. Is Arsenic an Aphrodisiac? The Sociochemistry of an Element. Royal Society of Chemistry, Cambridge, U.K. 2008.
18. Mackenzie FT, Lantzy RJ, Paterson V. Global trace metal cycles and predictions. *Math Geol.* 1979;11(2):99-142.
19. Albores A, Quintanilla B, Razo L, Cebrián M. Arsénico, Capítulo 15 En: Albert Palacios, Lilia América. ECO. Introducción a la toxicología ambiental. Metepec, ECO. 1997.
20. EFSA. European Food Safety Authority and EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific opinion on arsenic in food. *EFSA Journal.* 2009;7(10).
21. Abedin MJ, Feldmann J, Meharg AA. Uptake kinetics of arsenic species in rice plants. *Plant Physiol.* 2002;128(3):1120-8.
22. Bhattacharya P, Samal A, Majumdar J, Santra S. Accumulation of arsenic and its distribution in rice plant (*Oryza sativa* L.) in Gangetic West Bengal, India. *Paddy Water Environ.* 2010;8(1):63-70.
23. Lee JS, Lee SW, Chon HT, Kim KW. Evaluation of human exposure to arsenic due to rice ingestion in the vicinity of abandoned Myungbong Au-Ag mine site, Korea. *Journal of Geochemical Exploration.* 2008;96(2-3):231-5.
24. Liu C, Luo C, Gao Y, Li F, Lin L, Wu C, et al. Arsenic contamination and potential health risk implications at an abandoned tungsten mine, southern China. *Environ Pollution.* 2010;158(3):820-6.
25. Meharg AA. Arsenic in rice understanding a new disaster for South-East Asia. *Trends Plant Sci.* 2004;9(9):415-7.
26. The International Programme on Chemical Safety (IPCS). Environmental Health Criteria 224. Arsenic and arsenic compounds. World Health Organization. Geneva 2001.
27. Bhattacharya P, Samal A, Majumdar J, Santra S. Arsenic contamination in rice, wheat, pulses, and vegetables: a study in an arsenic affected area of West Bengal, India. *Water, Air, & Soil Pollution.* 2010;213(1):3-13.
28. O'Neill P. Arsenic. Heavy metals in soils. In: Alloway, B. J. (ed). Editorial Blackie. London, 1990.
29. Sloth JJ, Julshamn K. Survey of total and inorganic arsenic content in blue mussels (*Mytilus edulis* L.) from Norwegian fiords: revelation of unusual high levels of inorganic arsenic. *J Agric Food Chem.* 2008;56(4):1269-73.
30. FSA. Food Standards Agency. Arsenic in seaweed. (2004a). EN <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/arsenicseaweed.pdf>, consultado el 12 de julio de 2012.
31. Benford DJ, Alexander J, Baines J, Bellinger C, Carrington V, Devesa J, et al. Arsenic (addendum). Fists draft. In: FAO/OMS, editor. 2012. p. 153-316.
32. Butcher DJ. Phytoremediation of arsenic: Fundamental studies, practical applications, and future prospects. *Applied Spectroscopy Reviews.* 2009;44(6):534-51.
33. Mondal D, Polya DA. Rice is a major exposure route for arsenic in Chakdaha block, Nadia district, West Bengal, India: A probabilistic risk assessment. *Applied Geochemistry.* 2008;23(11):2987-98.
34. Tischler SR. El Análisis del Arsénico. Agualatinoamérica. 2001;7(2).
35. V. PB. Panaylitical.com 2009 [cited 2011 <http://www.panaylitical.com/>].
36. Consulting ASa. Applied Speciation 2009 [cited 2011 nov].
37. Valiente L, Smichowski P, Ledesma A. Determinación de arsénico (III) y arsénico (V) en aguas por espectrometría de absorción atómica con atomización electrotérmica (ET AAS), después de cromatografía de intercambio iónico. Recursos Naturales y Ambiente, En: Memorias de las 4ª Jornadas de Desarrollo e Innovación, 2002.
38. Tuzen Mustafa, Saygi Kadriye Ozlem, Karaman Isa, Mustafa. S. Selective speciation and determination of inorganic arsenic in water, food and biological samples. *Food and Chemical Toxicology.* 2010;48:6.
39. Norma del Codex para el arroz. Codex Stan 198-1995.
40. FAO. 24ª Conferencia regional de la FAO para Europa, Montpellier, Francia, 5-7 de mayo de 2004. Año Internacional del arroz: 2004. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/meeting/008/J2133s.htm>.

41. Fedearroz. Bondades y Beneficios del Arroz, 2012. Disponible en: <http://www.fedearroz.com.co/new/bondades.php>.
42. Méndez del villar, P. Análisis del mercado mundial del arroz. Cirad. XVI Jornadas Técnicas de Arroz, Zaragoza. Confederación de Cooperativas Agrarias de España. 2008.
43. Méndez del Villar. Info Arroz - Informativo mensual del mercado mundial del arroz; 2009:70. Disponible en: <http://r0.unctad.org/infocomm/espagnol/arroz/docs/ia0110es.pdf>.
44. FINAGRO. Arroz. 2011. Disponible en: http://www.finagro.com.co/html/i_portals/index.php?p_origin=internal&p_name=content&p_id=MI-175&p_options. Consultado enero 18 de 2012
45. FAO. Seguimiento del mercado del arroz. Abril- noviembre. 2010- 2011.
46. FAO. Rice industrias de transformación. FAO / PNUD Taller Regional, Yakarta, 15-20 de julio de 1985. Bangkok, Oficina Regional para Asia y el Pacífico.
47. Batista BL, Souza JMO, De Souza SS. Speciation of arsenic in rice and estimation of daily intake of different arsenic species by Brazilians through rice consumption. J Hazardous Materials. 2011;191:342-8.
48. Fu Y, Chen M, Bi X, He Y, Ren L, Xiang W, et al. Occurrence of arsenic in brown rice and its relationship to soil properties from Hainan Island, China. Environ Pollution. 2011;159:1757-62.
49. Rahman MA, Hasegawa H, Rahman MM, Islam MN, Miah MAM, Tasmin A. Arsenic accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) varieties of Bangladesh: A glass house study. Water, Air, & Soil Pollution. 2007;185(1):53-61.
50. Barragan OL. Estudio de diferentes metodologías para determinar la biodisponibilidad de cadmio y arsénico en suelos y su relación con la concentración en plantas Ciencias Biomédicas. 2008;6(9):101-212.
51. Kuramata M, Abe T, Matsumoto S, Ishikawa S. Arsenic accumulation and speciation in Japanese paddy rice cultivars. Soil Science and Plant Nutrition. 2011;57(2):248-58.
52. Suarez L. Juridical Perspective of Environmental Impact on Water Resources Caused by Mining in Colombia. Opinión Jurídica. 2011;10(supplement):123-39.
53. Meharg AA, Rahman MM. Arsenic contamination of Bangladesh paddy field soils: implications for rice contribution to arsenic consumption. Environ Sci Technol. 2003;37(2):229-34.
54. Van Geen A, Zheng Y, Cheng Z, He Y, Dhar R, Garnier J, et al. Impact of irrigating rice paddies with groundwater containing arsenic in Bangladesh. Sci Total Environ. 2006;367(2):769-77.
55. Comité del Codex sobre contaminantes de los alimentos, Documentos de debate sobre el arsénico en el arroz. 5a reunión. La Haya (Países Bajos), 21 – 25 de marzo de 2011.
56. Atlas Geoquímico de Colombia - Mapas de Provincias Geoquímicas de Colombia - Muestreo de Ultra Baja Densidad (UBD) - Mapas de Concentración de As (arsénico) por Cuencas. Ingeominas. Instituto Colombiano de Geología y Minería. Colombia. Escala 1:6.000.000 [Internet]. 2005.
57. Farías SS, Casa VA, Vázquez C, Ferpozzi L, Pucci GN, Cohen IM. Natural contamination with arsenic and other trace elements in ground waters of Argentine Pampean Plain. SciTotal Environ. 2003;309(1-3):187-99.
58. Convenio Interadministrativo 014-2009 - 2010 Corpomojana, Universidad de Córdoba.
59. Chowdhury UK, Biswas BK, Chowdhury TR, Samanta G, Mandal BK, Basu GC, et al. Groundwater arsenic contamination in Bangladesh and West Bengal, India. Environ Health Perspectives. 2000;108(5):393.
60. Pérez F, Moreno FP, García FP, Hernández AR, Vidal CAG, Santillán YM, et al. Caracterización química de aguas subterráneas en pozos y un distribuidor de agua de Zimapán, Estado de Hidalgo, México. Hidrobiológica. 2003 (002):95-102.
61. Barragne-Bigot P. Contribución al estudio de cinco zonas contaminadas naturalmente por arsénico en Nicaragua. UNICEF, marzo 2004.
62. Potera C. Food Safety: US Rice Serves Up Arsenic. Environmental Health Perspectives. 2007;115(6):A296.
63. Alavanja MCR, Hoppin JA, Kamel F. Health Effects of Chronic Pesticide Exposure: Cancer and Neurotoxicity. Annu Rev Public Health. 2004;25:155-97.
64. Codling EE. Effect of Flooding Lead Arsenate–Contaminated Orchard Soil on Growth and Arsenic and Lead Accumulation in Rice. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2009;40(17-18):2800-15.
65. ICA. Respuesta consulta 20121102750 productos con principios arsenicales que se usan en el cultivo del arroz. 2012.
66. Jorhem L, Åstrand C, Sundström B, Baxter M, Stokes P, Lewis J, et al. Elements in rice from the Swedish market: 1. Cadmium, lead and arsenic (total and inorganic). Food Additives and Contaminants.

- 2008;25(3):284-92.
67. Sun GX, Williams PN, Zhu YG, Deacon C, Carey AM, Raab A, et al. Survey of arsenic and its speciation in rice products such as breakfast cereals, rice crackers and Japanese rice condiments. *Environ Int.* 2009;35(3):473-5.
68. Garnier JM, Travassac F, Lenoble V, Rose J, Zheng Y, Hossain M, et al. Temporal variations in arsenic uptake by rice plants in Bangladesh: The role of iron plaque in paddy fields irrigated with groundwater. *Sci Total Environ.* 2010;408(19):4185-93.
69. Bae M, Watanabe C, Inaoka T, Sekiyama M, Sudo N, Bokul MH, et al. Arsenic in cooked rice in Bangladesh. *The Lancet.* 2002;360(9348):1839-40.
70. Huq SMI, Joardar J, Parvin S, Correll R, Naidu R. Arsenic contamination in food-chain: transfer of arsenic into food materials through groundwater irrigation. *J Health Popul Nutr.* 2006;24(3):305.
71. Liao CM, Lin TL, Hsieh NH, Chen WY. Assessing the arsenic-contaminated rice (*Oryza sativa*) associated children skin lesions. *Journal Hazardous Materials.* 2010;176(1-3):239-51.
72. Azizur Rahman M, Hasegawa H, Mahfuzur Rahman M, Mazid Miah M, Tasmin A. Arsenic accumulation in rice (*Oryza sativa* L.): Human exposure through food chain. *Ecotoxicol Environ Safety.* 2008;69(2):317-24.
73. Sengupta M, Hossain M, Mukherjee A, Ahamed S, Das B, Nayak B, et al. Arsenic burden of cooked rice: traditional and modern methods. *Food Chem Toxicol.* 2006;44(11):1823-9.
74. Signes A, Mitra K, Burló F, Carbonell-Barrachina A. Effect of two different rice dehusking procedures on total arsenic concentration in rice. *European Food Research and Technology.* 2008;226(3):561-7.
75. FEDEARROZ. Evaluación socioeconómica de la cadena productiva del arroz en Colombia. 2010.
76. CARDER. Resolución No 061. 2006.
77. Castilla L, Pineda D, Ospina J, Echeverry J, Perafán R, Garcés G, et al. Cambio climático y producción de arroz. *Revista Arroz.* 2010;58(489):4-11.
78. FEDEARROZ. III Censo nacional arrocerero, cubrimiento Cosecha A – B, 2007. 2008.
79. IICA. Acuerdo marco para la competitividad de la cadena del arroz 1998. 1-24 p.
80. FEDEARROZ. Bondades y beneficios del arroz 2011 [cited 2011 10 febrero].
81. Pineda D. Fedearroz y Asorecio trabajando unidos en el curso del riego en el norte del Tolima. Bogotá: Fedearroz, 2010.
82. Rural MdAyD. Perspectivas agropecuarias primer semestre 2011. 2011. p. 64.
83. DANE. Encuesta de arroz mecanizado 2012 [cited 2012 Publicado el 01/03/2005. Un mapa, col.].
84. Turismo MdCly. Respuesta consulta 3000-10237, productos con principios arsenicales que se usan en el cultivo del arroz. Bogotá, Colombia 2012.
85. ATSDR. Tear off at perforation and fold along lines. Tox guide™ for arsenic As CAS# 7440-38-2 October 2007 U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Disponible en: www.atsdr.cdc.gov. 2007.
86. Juhasz AL, Smith E, Weber J, Rees M, Rofe A, Kuchel T, et al. Application of an In Vivo Swine Model for the Determination of Arsenic Bioavailability in Hydroponically-Grown Vegetables. *Chemosphere.* 2008;198:243-52.
87. Juhasz A, Smith E, Weber J, Rees M, Rofe M, Kuchel T, et al. In vivo Assessment of Arsenic Bioavailability in Rice and its Impact on Human Health Risk Assessment. *Environmental Health Perspectives* 114: 1826-1831. *Environmental Health Perspectives* 114: 1826-1831. 2006;114:1826-31.
88. ATSDR. Toxicological profile for Arsenic. Agency for Toxic Substances and Disease. "Arsenic exposure and health effects". . Wiley EJ, editor. New York 2007.
89. Liu Z, Shen J, Carbrey JM, Mukhopadhyay R, Agre P, Rosen BP. Arsenite transport by mammalian aquaglyceroporins AQP7 and AQP9. 2002;99:6053-8.
90. Villa-Bellosta R, Sorribas V. 2008. Role of rat sodium/phosphate cotransporters in the cell membranetransport of arsenate. *Toxicology and Applied Pharmacology.* 2008;232(1):125-34.
91. Schuhmacher-Wolz U, Dieter HH KD, Schneider K. Oral exposure to inorganic arsenic: evaluation of its carcinogenic and non-carcinogenic effects. *Critical Reviews in Toxicology* 39 (4), 271-298. *Critical Reviews in Toxicology.* 2009;39(4):271-98.
92. Hernandez A MR. Genetic variations associated with interindividual

- sensitivity in the response to arsenic exposure. *Pharmacogenomics* 9 (8), 1113-1132. *Pharmacogenomics*. 2008;9(8):1113-32.
93. Hughes MF, Kenyon EM, Edwards BC, Mitchell CT, Razo LM, Thomas DJ. Accumulation and metabolism of arsenic in mice after repeated oral administration of arsenate. . *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2003;191:202-10.
 94. Willhite CC, Ferm VH. Prenatal and developmental toxicology of arsenicals. *Experimental Medicine and Biology*. 1984;177:205-28.
 95. Concha G, Vogler G, Lezcano D, Nermell B, Vahter M. Exposure to inorganic arsenic metabolites during early human development. *Toxicological Sciences*. 1998;44(2):185-90.
 96. Devesa V, Adair BM, Liu J, Waalkes MP, Diwan BA, Styblo M, et al. Arsenicals in maternal and fetal mouse tissues after gestational exposure to arsenite. *Toxicology*. 2006;224:147-55.
 97. Aposhian VH, Zakharyan RA, Avram MD, Sampayo-Reyes A, Wollenberg ML. A review of the enzymology of arsenic metabolism and a new potential role of hydrogen peroxide in the Arsenic in food detoxication of the trivalent arsenic species. *Applied Pharmacology*. 2004;198:327-35.
 98. Gregus Z, Nemeti B. Purine nucleoside phosphorylase as a cytosolic arsenate reductase. *Toxicological Sciences*. 2002;70(1):13-9.
 99. Tseng CH. Cardiovascular disease in arsenic-exposed subjects living in the arseniasishyperendemicareas in Taiwan. *Atherosclerosis*. 2008;199:12-8.
 100. Csanaky I, Nemeti B, Gregus Z. Dose-dependent biotransformation of arsenite in rats - notS-adenosylmethionine depletion impairs arsenic methylation at high dose. *Toxicology*. 2003;183(1):77-99.
 101. Pott WA, Benjamin SA, Yang RSH. Pharmacokinetics, metabolism, and carcinogenicity of arsenic. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 2001;169:165-214.
 102. Hansen HR RA, Jaspars M, Milne BF, Feldmann J, 2004. Sulfur-containing arsenical mistaken, Major fdaIaiaanmiu, *Toxicology ifsoamatCRi*, 17 (8) -. Sulfur-containing arsenical mistaken for dimethylarsinous acid [DMA(III)] and identified as a natural metabolite in urine: Major implications for studies on arsenic metabolism and toxicity *Chemical Research in Toxicology*. 2004;17(8):1086-91.
 103. Cohen SM, Arnold LL, Eldan M, Lewis AS, Beck BD. Methylated arsenicals: The implications of metabolism and carcinogenicity studies in rodents to human risk assessment. . *Critical Reviews in Toxicology*. 2006;36:99-133.
 104. Vahter M. Mechanisms of arsenic biotransformation. *Toxicology*. 2002;181:211-7.
 105. Healy SM CE, Ayala-Fierro F, Aposhian H, 1998. Enzymatic methylation of arsenic, Applied cVAmaitomTa, *Pharmacology* 148 -. Enzymatic methylation of arsenic compounds. V. Arsenic methyltransferase activity in tissues of mice. c. *Toxicology and Applied Pharmacology* 1998;148(65-70).
 106. Hayakawa T KY, Cui X. 2005. A new metabolic pathway of arsenite : arsenic-glutathione, complexes are substrates for human arsenic methyltransferase Cyt19. *Archives of Toxicology* 79, 183-191. A new metabolic pathway of arsenite : arsenic-glutathione complexes are substrates for human arsenic methyltransferase Cyt19 *Archives of Toxicology*. 2005;79:183-91.
 107. Cui X, Kobayashi Y, Akashi M, Okayasu R. Metabolism and the paradoxical effects of arsenic: carcinogenesis and anticancer *Current Medicinal Chemistry*. 2008;15(22):2293-304.
 108. Mandal BK, Ogra Y, Suzuki KT. Identification of dimethylarsinous and monomethylarsonous acids in human urine of the arsenic-affected areas in West Bengal, India *Toxicology*. 2001;14:371-8.
 109. Valenzuela OL, Borja-Aburto VH, Garcia-Vargas GG, Cruz-Gonzalez MB, Garcia-Montalvo EA, Calderon-Aranda ES, et al. Urinary trivalent methylated arsenic species in a population chronically exposed to inorganic arsenic. *Environmental Health Perspectives*. 2005;113:250-4.
 110. Slejkovec Z, Falnoga I, Goessler W, van Elteren JT, Raml R, Podgornik H, et al. Analytical artefacts in the speciation of arsenic in clinical samples. *Analytica Chimica Acta*. 2008;607:83-91.
 111. Raml R, Rumpler A, Goessler W, Vahter M LL, Ochi T, Francesconi KA. Thiodimethylarsinate is a common metabolite in urine samples from arsenic-exposed women inBangladesh. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2007;222(374-80).
 112. Button M, Jenkin GR, Harrington CF, Watts MJ. Human toenails as a biomarker of exposure to elevated environmental arsenic *Journal of Environmental Monitoring*. 2009;11:610-17.
 113. Ma MS, Le XC. Effect of arsenosugar ingestion on urinary arsenic

- speciation. . Clinical Chemistry. 1998;44:539-50.
114. Francesconi KA, Kuehnelt D. Determination of arsenic species: A critical review of methods and applications, 2000-2003. Analyst. 2004;129:373-95.
 115. Conklin SD, Ackerman AH, Fricke MW, Creed PA, Kohan MC, Herbin-Davis K, et al. In vitro biotransformation of an arsenosugar by mouse anaerobic cecal microflora and cecal tissue a&s examined using IC-ICP-MS and LC-ESI-MS/MS. Analyst. 2006;131(5):648-55.
 116. Zhu Yong-Guan, Williams Paul N , A. MA. Exposure to inorganic arsenic from rice: A global health issue? Environmental Pollution. 2008;154:3.
 117. Vahter M. Methylation of inorganic arsenic in different mammalian species and population groups. Science Progress. 1999;82.
 118. Molin L, Wester PO. The estimated daily loss of trace elements from normal skin by desquamation. Scand J Clin Lab Invest. 1976;36:679-82.
 119. NCR. Arsenic in Drinking Water. Press: NA, editor. National Academy Press:1999.
 120. Cullen W, Bentley R. The toxicity of trimethylarsine: an urban myth. J Environ Monit. 2005;7(1):11-5.
 121. Joshida T, Yamanchi , Jun G. Chronic health effect in people exposed to arsenic via the drinking water: dose-response relationship in review. Toxicol Appl Pharmacol. 2004;198:243-52.
 122. D.N. Guha Mazumder, Nilima Ghose, Kunal Mazumder, Amal Santra, Sarbari Lahiri, Subhankar Das, Arindam Basu and Allan H. Smith Natural history following arsenic exposure: a study in an arsenic endemic area of West Bengal, India. Chapter 29. Arsenic Exposure and Health Effects V W.R. Chappell, C.O. Abernathy, R.L. Calderon and D.J. Thomas, editors q 2003
 123. G RT, B KC, Joanna L, Christina H. Further evidence against a direct genotoxic mode of action for arsenic-induced cancer. Toxicology and Applied Pharmacology. 2007;222:9.
 124. Peñuela AM, Borda C, Ojeda G, Gómez L, Murad R. Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia. ICBF; 2005.
 125. Chatterjee D, Halder D, Majumder S, Biswas A, Nath B, Bhattacharya P, et al. Assessment of arsenic exposure from groundwater and rice in Bengal Delta Region, West Bengal, India. Water Research. 2010 11//;44(19):5803-12.
 126. Bae Munjoo, Watanabe Chiho, Inaoka Tsukasa, Sekiyama Makiko, Sudo Noriko, Haque Bokul Mozammel, et al. Arsenic in cooked rice in Bangladesh. 2002.
 127. Barbara B. Cancer rates attributable to arsenic in rice vary globally. ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY. 2009;2.
 128. EFSA. Scientific Opinion on Arsenic in Food. EFSA Journal. 2009;7(10):199.
 129. Tao Shirley S H, Michael. BP. Dietary arsenic intakes in the United States: FDA Total Diet Study, September 1991± December 1996. Food Additives and Contaminants. 1998;16:8.
 130. Sternowsky HJ, Moser B, D. S. Arsenic in breast milk during the first 3 months of lactation. International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2002;205:405-9.
 131. Chatterjee Debashis, Halder Dipti , Majumder Santanu, Biswas Ashis, Nath Bibhash, Bhattacharya Prosum, et al. Assessment of arsenic exposure from groundwater and rice in Bengal Delta Region, West Bengal, India Water Research 2010:10.
 132. Meacher DM, Menzel DB, Dillencourt MD, Bic LF, Schoof RA, Yost LJ, et al. Estimation of multimedia inorganic arsenic intake in the US population. Human and Ecological Risk Assessment. 2002 Dec;8(7):1697-721. PubMed PMID: WOS:000180155500013. English.
 133. Meliker JR, Franzblau A, Slotnick MJ, Nriagu JO. Major contributors to inorganic arsenic intake in southeastern Michigan. International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2006 9/25//;209(5):399-411.
 134. Tsuji JS, Yost LJ, Barraj LM, Scrafford CG, Mink PJ. Use of background inorganic arsenic exposures to provide perspective on risk assessment results. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 2007 6//;48(1):59-68.
 135. Panaullah Golam M, Alam Tariqul, Hossain M Baktear, Loeppert Richard H, Lauren Julie G, Meisner Craig A, et al. Arsenic toxicity to rice (Oryza sativa L.) in Bangladesh. Plant Soil. 2009;317:9.
 136. Meharg Andrew A, Adomaco Eureka, Lawgali Youssef, Deacon Claire, Paul. W. Levels of arsenic in rice – literature review. Food Standards Agency, 2007.
 137. Batista Bruno L, Souza Juliana M O, De Souza Samuel S, Fernando. BJ. Speciation of arsenic in rice and estimation of daily intake of different arsenic species by Brazilians through rice consumption. Journal of

- Hazardous Materials. 2011:7.
138. Meharg A, Adomaco E, Lawgali Y, Deacon C, Williams P. Levels of arsenic in rice: literature review. Food Standards Agency. 2008.
 139. Espinal C, Martinez H, Acevedo G. La cadena del arroz en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica. 1991-2005. Bogota: Ministerio de Agricultura; 2005. p. 38.
 140. Fu Yangrong, Chen Mulong, Bi Xiangyang, He Yusheng, Ren Limin, Xiang Wu, et al. Occurrence of arsenic in brown rice and its relationship to soil properties from Hainan Island, China Environmental Pollution. 2011;159:6.
 141. Sanagua J, Acosta G. Evaluación cardiovascular precompetitiva. Argentina. 2004.
 142. McKenna WJ, Thiene G, Nava A, Fontaliran F, Blomstrom-Lundqvist C, Fontaine G, et al. Diagnosis of arrhythmogenic right ventricular dysplasia/cardiomyopathy. Task Force of the Working Group Myocardial and Pericardial Disease of the European Society of Cardiology and of the Scientific Council on Cardiomyopathies of the International Society and Federation of Cardiology. Br Heart J. 1994;71(3):215.
 143. Goldbarg SH, Elmariah S, Miller MA, Fuster V. Insights into degenerative aortic valve disease. J Am Coll Cardiol. 2007;50(13):1205-13.
 144. CANCER IND. guías de atención integral de cáncer y guías para el manejo de urgencias toxicológicas 2011 [cited 2011].
 145. FAO. Amenaza de arsénico en Bangladesh.
 146. Stefanos N. Kales MD, MPH, FACP, FACOEM Associate Professor of Medicine, Harvard Medical School Director of Employee & Industrial Medicine, Department of Medicine, Cambridge Health Alliance Associate Professor and Director, Occupational Medicine Residency, Department of Environmental Health, Harvard School of Public Health.
 147. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. Evaluation of certain contaminants in food: seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Arsenic. 2010.

14. ANEXOS

Anexo 1. Tratamiento de la intoxicación con arsénico

TRATAMIENTO PARA INTOXICACIÓN AGUDA

Los agentes quelantes, administrados horas después de haber ocurrido la absorción del As, pueden ayudar a prevenir los efectos negativos de la intoxicación. Actualmente se recomienda el uso del 2-3- dimercapto-1-propanosulfonato (DMPS) o del ácido meso 2, 3-dimercaptosuccínico (DMSA). Estos dos compuestos son más solubles en el agua que el British Anti-Lewisite (BAL), y se pueden administrar por vía oral, presentando una toxicidad menor (122) (anexo 1).

Dos factores clave en el manejo inicial de una intoxicación aguda por As son la descontaminación de los órganos digestivos y la estabilización hemodinámica. Los pacientes sospechosos de estar intoxicados de manera aguda con As generalmente requieren de una estabilización rápida con reemplazo de líquidos y electrolitos en la sala de cuidados intensivos. En casos de intoxicación severa, un reemplazo agresivo de líquidos por vía intravenosa puede salvar la vida del paciente. También puede ser útil un lavado gástrico en los momentos posteriores a una ingesta aguda de As, para evitar la absorción del metaloide por vía digestiva. Si hay diarrea profusa, debe evitarse el uso de agentes quelantes (141, 142).

TRATAMIENTO INTOXICACIÓN CRÓNICA

El manejo de la arsenicosis se centra principalmente en obtener una mejoría de las lesiones cutáneas y otros síntomas de la intoxicación crónica y está basado en los siguientes puntos: 1) Cesación de la exposición al agua potable u otras fuentes con elevada concentración de As. 2) Administración de medicamentos o nutrientes que favorezcan la recuperación o que disminuyan la progresión de la enfermedad (antioxidantes, betacarotenos, vitaminas A, C y E). 3) Administración del soporte general para mejorar los síntomas físicos o tratar las complicaciones. 4) Prevención de las complicaciones posteriores

mediante vigilancia médica. 5) Asesoramiento y educación para hacer frente a secuelas psicosociales de la enfermedad y prestación de servicios apropiados de rehabilitación (143).

La terapia de quelación para la toxicidad crónica por As se considera como la terapia específica para el alivio de manifestaciones sistémicas clínicas y reducción de los depósitos de As en el cuerpo, disminuyendo el riesgo de cáncer (OMS, 2005).

Debido a que estas intoxicaciones pueden derivar en cáncer, el tratamiento dependerá del tipo de patología, para ello será necesario consultar las guías de atención integral de cáncer y guías para el manejo de urgencias toxicológicas (144).

ESTIMACIÓN DE COSTOS EN SALUD

Debido a la complejidad y diversidad de patologías que puede causar la intoxicación crónica por arsénico es difícil estimar el costo en salud, no obstante puede asumirse que por los efectos que causa a largo plazo, los pacientes con intoxicación crónica deben considerarse como pacientes de alto costo en el sistema de salud.

Los costos estimados para determinar una intoxicación aguda por As fueron suminsitrados por el Laboratorio Clínico Valencia, de la ciudad de Manizales (costos para el año 2011):

Actividad	Valor unitario
Biometría hemática con diferencial y frotis periférico.	\$ 15 000
Nitrógeno, urea y creatinina.	\$ 20 000
Enzimas hepáticas.	\$ 25 000
Estudios de conducción nerviosa (en caso de que haya síntomas neurológicos periféricos), este estudio lo realiza un electrofisiólogo	
Electrocardiograma, con interpretación.	\$ 30 000
Placa abdominal de rayos X, con interpretación	\$ 60 000
Placa de rayos X de tórax, con interpretación	\$ 50 000
Arsénico en sangre	\$ 50 000
Costo total exámenes iniciales de diagnóstico	\$250 000

Después de haber realizado una intervención, es necesario realizar análisis de orina para confirmar que se ha reducido la exposición. Así mismo, se hace necesaria la realización de exámenes clínicos que corroboren la resolución de anormalidades clínicas y de anormalidades en los resultados de laboratorio.

En la tabla 23 se muestra el costo de las patologías y manifestaciones más relevantes tanto para una intoxicación crónica como aguda con As.

Tabla 25. Costo de las patologías más relevantes en casos de intoxicación con As,

Patología	Manifestación clínica	Costo consulta medicina general	Costo consulta especialista	Costo examen
Dérmicos	Hiperqueratosis Cáncer de piel	\$30.000	\$45.000	Biopsia: \$150.000
Gastrointestinales	Anorexia Esofagitis Colitis Gastritis	\$30.000	\$45.000	Examen completo \$120.000
Neurológicos	Neuropatía	\$30.000	\$45.000	Rayos x. \$120.000
Hepáticos	Hepatomegalia Cirrosis	\$30.000 \$30.000	\$45.000 \$45.000	Quimioterapia \$350.000
Hematológicos	Anemia	\$30.000	\$45.000	Examen completo \$120.000
Cardiovasculares	Acrocianosis (intermitente). Síndrome de Raynud	\$30.000 \$30.000	\$45.000 \$45.000	Examen completo \$120.000 Examen completo \$120.000
Respiratorios	Fibrosis pulmonar Cáncer	\$30.000 \$30.000	\$45.000 \$45.000	Examen completo \$120.000 Cirugía \$2.000.000
Endocrinos	Diabetes Melitus	\$30.000	\$45.000	Quimioterapia: \$350.000 Examen completo \$120.000
Otros (Cáncer)	Cáncer de pulmón Cáncer de piel Intoxicación Aguda	\$30.000 \$30.000	\$45.000	Examen completo \$120.000 Cirugía \$2.000.000 Quimioterapia: \$350.000
Total		\$360 000	\$540 000	Medicamento (por una semana) BAL : \$150.000 \$ 4 190 000

Datos suministrados por el Instituto Nacional de Cancerología.

Anexo 2. Etapas utilizadas para el diagnóstico de intoxicaciones agudas por As.

Diagnóstico

Los pacientes que hayan estado expuestos al As y en los que se sospeche intoxicación por este metaloide deben someterse a una evaluación médica minuciosa. Un diagnóstico temprano y certero es importante para poder decidir cuáles serán las estrategias de cuidado apropiadas, aún si el paciente no muestra síntomas de intoxicación. En aquellos casos de una exposición significativa al As, la evaluación médica debe incluir:

- Historia de exposición.
- Historia clínica.
- Pruebas de laboratorio, según se requieran.
- Exámen físico.

El diagnóstico clínico de la intoxicación por As comúnmente es difícil porque tanto la intoxicación aguda como la crónica manifiestan un amplio espectro de signos y síntomas, los cuales dependen de:

- Dosis.
- Forma química del arsénico.
- Frecuencia, duración e intensidad de la exposición.
- Ruta de exposición.
- Tiempo transcurrido desde la exposición.

Un mismo paciente puede desarrollar cualquier combinación de enfermedades asociadas al As.

Dependiendo del estado clínico del paciente, el médico puede ordenar pruebas generales para marcadores biológicos de exposición, y pruebas específicas para marcadores biológicos de efecto.

Pruebas generales para marcadores biológicos de efecto:

- Hemograma y frotis periférico.
- Nitrógeno, urea y creatinina.
- Enzimas hepáticas.

- Estudios de conducción nerviosa (en caso de que haya síntomas neurológicos periféricos).
- Electrocardiograma.
- Placa abdominal de rayos X.
- Placa de rayos X de tórax.

Pruebas específicas para marcadores biológicos de exposición.

La principal prueba diagnóstica de laboratorio para una exposición reciente de arsénico es la medición en orina. La mejor muestra es aquella en la que se colecta la orina de 24 horas para determinar As y creatinina. Esta muestra es la que mejor revela la cantidad de arsénico excretada. (No todos los laboratorios ajustan el valor de arsénico por gramo de creatinina, lo que explica la dilución y la concentración de la muestra). No obstante, el medir el As total en orina humana sirve para evaluar la exposición conjunta de todas las rutas de exposición y de todas las clases de As. Por lo tanto, es importante que al medir el arsénico total en orina, el médico pregunte sobre el consumo reciente de alimentos que puedan contener As (arroz, mariscos (moluscos bivalvos, crustáceos) y de algas marinas) en las últimas 48 horas (146).

El diagnóstico es fundamentalmente clínico, y a través de la anamnesis. El diagnóstico de certeza lo da la determinación de As en muestras biológicas. Los valores normales de arsénico son:

- Hasta 3 µg por decilitro en sangre.
- Hasta 200 µg por litro de orina, o 10 µg por gramo de creatinina en orina, o hasta 50 µg en caso de pacientes expuestos habitualmente.
- Hasta 5 mg por kilo en cabello o 1 ppm en las faneras (pelo, uñas, etc.).

Anexo 3. **Parámetros para determinar exposición.**

La valoración de la exposición identifica las rutas por medio de las cuales los humanos son potencialmente expuestos a los tóxicos y estima la magnitud, frecuencia y duración de la exposición actual o potencial. Esta valoración involucra el análisis del contaminante, la identificación de la población expuesta, la identificación de las rutas potenciales de exposición, estima la concentración puntual del contaminante a la que se está expuesto por una ruta particular y estima el consumo de contaminantes por una ruta específica (Lee et al., 2008).

La dosis diaria promedio (ADD) ingerida de los contaminantes vía alguna de las rutas de ingestión identificadas (ingestión por suelo, granos de arroz, agua, etc) indica la cantidad de la sustancia química ingerida por kilogramo de masa corporal por día y se expresa como:

$$ADD = \frac{C * IR * ED * EF}{BW * AT * 365}$$

- Donde:
- C: concentración del contaminante en el elemento analizado (mg/Kg o mg/L).
 - IR: velocidad de ingestión por unidad de tiempo del elemento analizado (mg/día o L/día).
 - ED: duración de la exposición (años).
 - EF: es la frecuencia de la exposición (días por año).
 - BW: es la masa corporal del receptor (Kg).
 - AT: promedio de tiempo (años), (equivalente al ED para efectos no carcinogénicos e igual a 70 años para efectos carcinogénicos).
- 365 es un factor de conversión para pasar de días a años.

Factor/Parámetro	Símbolo	Unidades
Duración de la exposición	ED	Años
Frecuencia de la exposición	EF	días/año
Tiempo de vida medio	AT	Años
Carcinógenos	ATC	
No – carcinógenos	ATNC	
Masa Corporal	BW	Kg
Velocidad de Ingestión	IR	Kg/día

Valoración Dosis - Respuesta

Para estimar el riesgo carcinogénico y no –carcinogénico, se desarrolla una valoración dosis - respuesta, usando la dosis de referencia (RfD) y el factor de la pendiente (SF) derivados desde la base de datos del IRIS (Integrated Risk Information System).

Elemento	RfD(mg/Kg-día)	SF(mg/Kg-día) ⁻¹
Arsénico	3*10 ⁻⁴	1.5

Tomado de:
http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showQuickView&substance_nmbr=0278, consultado el 14 de junio de 2012 a las 2:40 PM

Caracterización del Riesgo

El riesgo no carcinogénico se refiere a los daños no carcinogénicos en los que se puede incurrir debido a la exposición y la extensión del daño es indicada en términos de un cociente de peligro (HQ):

$$HQ = \frac{ADD_{NC}}{R_f D}$$

La dosis de referencia (RfD) es la dosis diaria a la que pueden estar expuestos los individuos manteniendo su nivel de exposición por un periodo prolongado de tiempo sin experimentar ningún efecto dañino. En el caso del As, este daño puede incluir hiperpigmentación, queratosis y complicaciones vasculares. La estimación del riesgo no carcinogénico está basada en la comparación de la

exposición actual del individuo con la dosis de referencia establecida para un químico particular. El RfD de las sustancias químicas esta derivado de datos toxicológicos. Cuando este cociente (HQ) es menor a 1 el riesgo se considera despreciable, en caso contrario la ruta de exposición evaluada si puede representar un riesgo no carcinogénico para los individuos. Aunque es de aclarar que este cociente no representa una probabilidad estadística de que ocurra algún efecto (Kolluru et al.,1998) .

Por otro lado, el riesgo incremental de cáncer es expresado en términos de la probabilidad de que el individuo pueda desarrollar cualquier tipo de cáncer por una exposición de toda una vida a peligros carcinogénicos. La probabilidad del riesgo incremental de cáncer está determinada a partir del factor de la pendiente (SF) establecido desde la curva dosis - respuesta en la región de dosis bajas, donde la relación entre la dosis de la exposición (calculada en mg/Kd-día) y la respuesta (calculada en términos de la probabilidad de desarrollar cáncer) se asume lineal y la dosis diaria promedio (calculada usando ATC en lugar de ATNC). Entonces el riesgo de cáncer se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo incremental de cáncer} = \text{ADD C} * \text{SF}$$

Esta ecuación aplica cuando se está evaluando el riesgo ocasionado por dosis bajas típicas de exposiciones ambientales.

La interpretación del valor número del riesgo incremental de cáncer hace suponer que cuando se obtienen valores en el intervalo entre 10^{-6} y 10^{-4} se considera que debe generarse preocupación sobre el riesgo.

