



PROGRAMA CONJUNTO FAO/OMS SOBRE NORMAS ALIMENTARIAS

COMITÉ DEL CODEX SOBRE CONTAMINANTES DE LOS ALIMENTOS

Séptima reunión

Moscú (Federación Rusa), 8 – 12 de abril de 2013

DOCUMENTO DE DEBATE SOBRE EL DESARROLLO DE UN CÓDIGO DE PRÁCTICAS PARA PREVENIR Y REDUCIR LA CONTAMINACIÓN EN EL ARROZ POR EL ARSÉNICO

Para ayudar al Comité en cómo proseguir con el desarrollo de un Código de Prácticas para Prevenir y Reducir la Contaminación en el Arroz por el Arsénico, se invita a los miembros y observadores del Codex a examinar el resumen y las recomendaciones en los párrafos 104-105.

Introducción

Sección 1 Propiedades fisicoquímicas del arsénico

Sección 2 Fuentes de arsénico en el medio ambiente

- Medio ambiente general
- Medio ambiente en los arrozales

Sección 3 Sedimentación, transformación y transporte del arsénico

- Visión general de la sedimentación y transformación en el medio ambiente
- Transformación del arsénico en los arrozales
- Mecanismo molecular del transporte de arsénico del suelo al arroz

Sección 4 Toxicidad y exposición al arsénico

Sección 5 Ámbito de aplicación del desarrollo de un Código de Prácticas para Prevenir y Reducir la Contaminación en el Arroz por el Arsénico

Sección 6 Medidas de prevención y reducción

Sección 6.1 Medidas aplicables en el origen

Sección 6.2 Medidas agrícolas

- Efecto del uso de materias agrícolas
 - Materias que contienen hierro
 - Fosfatos
 - Silicatos
 - Materias orgánicas
- Efecto del control del agua de irrigación
- Efecto de la selección varietal

Sección 6.3 Medidas de procesado y cocción

- Efecto del procesado
- Efecto de la cocción

Sección 7 Seguimiento de la efectividad de las medidas

- Para las medidas aplicables en el origen
- Para las medidas agrícolas
- Para las medidas de procesado y cocción

Resumen y recomendaciones

- Resumen
 - Medidas aplicables en el origen
 - Uso de materias agrícolas
 - Control del agua de irrigación
 - Selección de cultivares
 - Procesado y cocción
 - Seguimiento de la efectividad de las medidas
- Recomendaciones

Introducción

1. En la 5ª reunión del Comité sobre Contaminantes de los Alimentos (CCCF) se decidió iniciar nuevo trabajo para elaborar niveles máximos (NM) de arsénico en el arroz a través de un Grupo de trabajo por medios electrónicos bajo la dirección de China (REP11/CF, párrs. 60-64).
2. En la 6ª reunión del CCCF se sometieron a debate los anteproyectos de NM de arsénico en el arroz y las recomendaciones afines del documento de trabajo. El Comité convino en que debía prepararse un documento de debate para examinar la posibilidad de desarrollar un Código de Prácticas para Prevenir y Reducir la Contaminación en el Arroz por el Arsénico, a fin de que la siguiente reunión del CCCF lo sometiera a consideración, y que el documento de debate fuera preparado por un Grupo de trabajo por medios electrónicos bajo la presidencia de China y copresidencia de Japón (REP12/CF, párrs. 50-65).
3. La intención de este documento es someter a debate la posibilidad de desarrollar un Código de Prácticas para Prevenir y Reducir la Contaminación en el Arroz por el Arsénico en la 7ª reunión del CCCF.
4. China y Japón han preparado el proyecto con observaciones de Australia, Canadá, Colombia, Indonesia, Filipinas, el Reino Unido, los Estados Unidos de América, y el Consejo Internacional de Asociaciones de Fabricantes de Comestibles. En el Anexo encontrará una lista de países y ONG que han participado en el GTe.

Sección 1 Propiedades fisicoquímicas del arsénico

5. El Programa Internacional sobre Seguridad Química (IPCS) resume brevemente las propiedades fisicoquímicas del arsénico del modo siguiente (1).
6. El arsénico es un metaloide ampliamente distribuido en la corteza terrestre y está presente a una concentración media de 2 mg/kg. Se halla en cantidades ínfimas en las rocas, el suelo, el agua y el aire. El arsénico existe en cuatro estados de valencia: -3, 0, +3 y +5. En condiciones de reducción, el arsenito (As(III)) es la forma dominante; el arsenato (As(V)) es generalmente la forma estable en ambientes oxigenados. El arsénico elemental no es soluble en agua. Las sales de arsénico presentan una gran variedad de solubilidades en función del pH y el ambiente iónico.

Sección 2 Fuentes de arsénico en el medio ambiente

- Medio ambiente general

7. El IPCS describe también las fuentes de arsénico en el medio ambiente (1). El arsénico se encuentra presente en más de 200 especies minerales y la arsenopirita es la más habitual. Se ha calculado que aproximadamente un tercio del flujo atmosférico de arsénico es de origen natural. La acción volcánica es la fuente natural más importante de arsénico, seguida por la volatilización a baja temperatura. El arsénico inorgánico de origen geológico se encuentra en el agua subterránea que se utiliza como agua potable en varias partes del mundo, por ejemplo en Bangladesh. El arsénico elemental se produce por reducción de trióxido de arsénico (As₂O₃) con carbón. El As₂O₃ se produce como un producto derivado de operaciones de fundido de metales. Se estima que el 70% de la producción mundial de arsénico se utiliza en el tratamiento de la madera, como arsenato de cromo y cobre (CCA), el 22% en agroquímicos y el resto en vidrio, productos farmacéuticos y aleaciones no ferrosas. La minería, el fundido de metales no ferrosos y la quema de combustibles fósiles son los principales procesos industriales que contribuyen a la contaminación antropogénica del aire, el agua y el suelo por arsénico. Históricamente, el uso de plaguicidas que contienen arsénico ha dejado grandes extensiones de suelo agrícola contaminado. El uso de arsénico en la preservación de la madera ha llevado también a la contaminación del medio ambiente.

- Medio ambiente en los arrozales

8. Según A.A. Meharg y F.J. Zhao (2), las fuentes de arsénico en los arrozales se pueden dividir en naturales y antropogénicas. Las fuentes naturales se subdividen en arsénico inherente al suelo y todo arsénico transportado adicionalmente a través de flujos (agua y sedimentos), y sedimentación atmosférica húmeda y seca. Algunas de las principales regiones del mundo de cultivo de arroz sufren elevaciones geológicas naturales de arsénico. Dependiendo de las condiciones climáticas e hidrológicas predominantes, los suelos y sedimentos, aguas superficiales, aguas subterráneas y aire pueden ser fertilizados con arsénico donde esas condiciones geológicas son predominantes. El ejemplo típico de elevación natural son las zonas holocenas de Bengal Basin que tienen un contenido más elevado de arsénico que las terrazas pleistocenas de la misma región. Se han estudiado diez arrozales holocenos y diez arrozales pleistocenos distribuidos por Bangladesh (3), y se ha comprobado que los suelos holocenos tienen aproximadamente cinco veces más arsénico que los suelos pleistocenos. Una situación similar se ha encontrado en las aguas subterráneas de sedimentos holocenos frente a sedimentos pleistocenos (4). Esta diferencia tiene consecuencias importantes para los niveles de arsénico en el arroz de Bangladesh (3, 5).
9. En artículos científicos se han documentado elevaciones naturales del arsénico en los arrozales de otras regiones. Según A.A. Meharg y F.J. Zhao (2), en última instancia, la mayor parte de todo el arsénico del suelo de los arrozales es de origen geogénico por meteorización, debido a la formación de suelo a partir de la roca madre local o a sedimentos transportados desde cursos altos. La sedimentación atmosférica no es probable que sea una fuente importante de arsénico (6, 7), salvo en el cultivo de arroz en suelos cercanos a fundiciones de metales, que pueden estar contaminados por emisiones de aerosoles.

10. Las fuentes antropogénicas son numerosas y muy variables, y se pueden encontrar en las clases siguientes(2):
- Contaminación industrial/urbana difusa de arrozales en aguas abajo de grandes zonas de población;
 - El uso de fertilizantes y abonos biológicos contaminados con arsénico¹;
 - Contaminación industrial puntual;
 - Uso de plaguicidas de arsénico; y
 - Contaminación del agua de irrigación.

Sección 3 Sedimentación, transformación y transporte del arsénico

- Visión general de la sedimentación y transformación en el medio ambiente

11. El IPCS resume brevemente la sedimentación y transformación de compuestos de arsénico en el medio ambiente(1).
12. El arsénico es liberado en la atmósfera y subsiste principalmente adsorbido en materia particulada. El viento dispersa estas partículas y las devuelve a la tierra por sedimentación húmeda o seca. Las arsinas que emiten los suelos o sedimentos tras la biosíntesis microbiana experimentan oxidación en el aire, reconvirtiéndose el arsénico en formas no volátiles, que vuelven a depositarse en el suelo. Las formas de arsénico disueltas en la columna de agua comprenden arsenato, arsenito, ácido metilarsónico (NMA) y ácido dimetilarsónico (DMA). En agua y sedimentos bien oxigenados, casi todo el arsénico está presente en el estado pentavalente (arsenato) que es más estable termodinámicamente. Las especies de arsenito y arsenato pueden intercambiar el estado de oxidación en función del potencial (Eh) de reducción-oxidación (redox), el pH y procesos biológicos. Algunas especies de arsénico tienen una afinidad para superficies minerales de arcilla y materia orgánica, y esto puede afectar a su comportamiento medioambiental. Puede haber liberación de arsénico cuando hay fluctuaciones en el Eh, pH, la concentración soluble de arsénico y el contenido orgánico de los sedimentos. Muchos compuestos de arsénico tienen tendencia a ser adsorbidos por suelos, y la lixiviación normalmente da lugar a distribución solamente a cortas distancias en el suelo.
13. Por otra parte, en el caso de las arsinas volátiles se da por sentado que su estabilidad es bastante elevada y su vida atmosférica son horas y no segundos. Por consiguiente, se pueden dispersar ampliamente en la atmósfera (8, 9).
14. Se ha comprobado que en el medio ambiente se producen tres modos principales de biotransformación del arsénico: la transformación redox entre el arsenito y el arsenato, la reducción y metilación del arsénico, y la biosíntesis de otros compuestos de organoarsénico, como arsenozúcares y arsenobetaina. A partir de estos procesos se forman ciclos biogeoquímicos de compuestos (Figura 1).

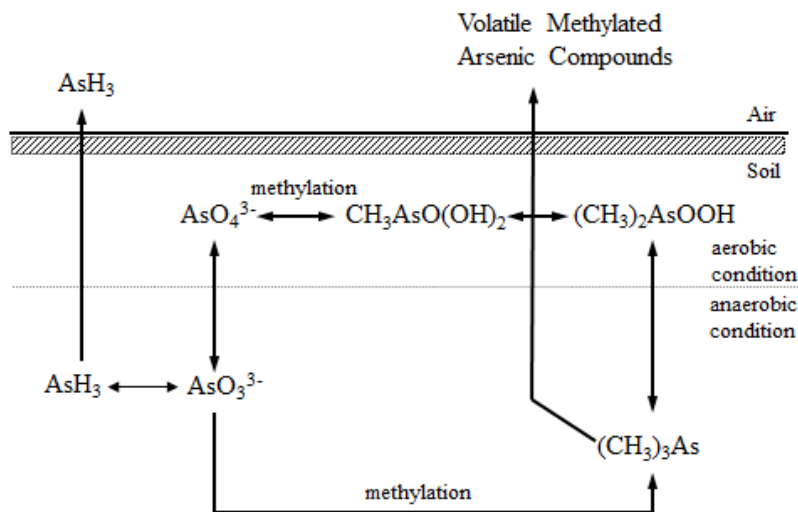


Figura 1: Ciclo biogeoquímico del arsénico en el arrozal (modificado de McBride (10))

Volatile Methylated Arsenic Compounds = compuestos volátiles de arsénico metilado
 Air = aire; soil = suelo; methylation = metilación
 aerobic condition = condición aerobia; anaerobic condition = condición anaerobia

¹ Muchos fertilizantes pueden contener concentraciones ínfimas de arsénico. Contaminado no debe interpretarse como equivalente a niveles ínfimos de arsénico.

- Transformación del arsénico en los arrozales

15. Generalmente el arroz se cultiva bajo condiciones de anegación, si bien puede cultivarse aeróbicamente. La anegación crea condiciones anaerobias y por tanto reduce el potencial redox (Eh) en el suelo del arrozal. Por otra parte, el agua de drenaje en los arrozales genera condiciones aerobias y aumenta el Eh de inmediato. Esta variación del Eh en el suelo del arrozal influye en el estado redox del arsénico así como de otros elementos (Fe, Mn, S, etc.) (Figura 2).

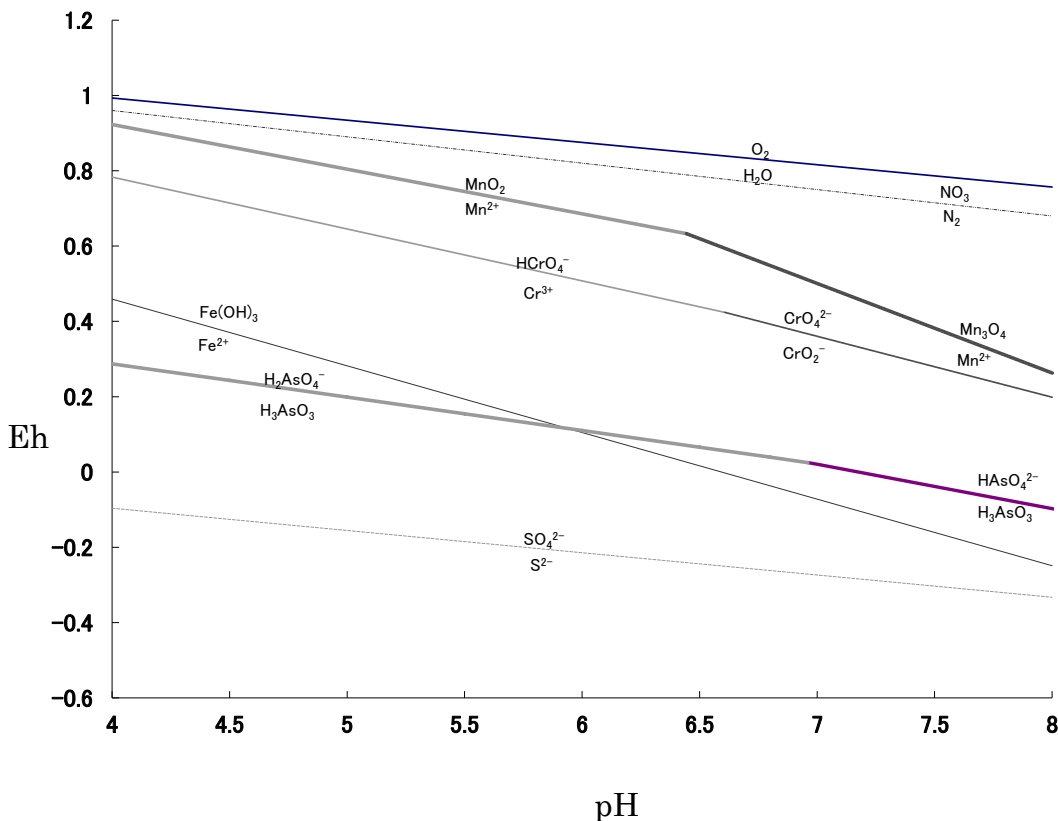


Figura 2: Diagrama del Eh y pH para As, Fe y otros elementos del suelo.

16. En un estudio de campos de arrozales (11), el Eh del agua capilar² (solución del suelo) a profundidades de 0,1-0,2 m (la profundidad de la rizosfera³ de las plantas de arroz) varió profundamente en comparación con el Eh a 1,0 m. Los valores de Eh a 0,1-0,2 m disminuyeron continuamente desde 600 mV aproximadamente hasta menos de 0 mV después de la anegación. Los bajos valores de Eh a las profundidades de 0,1-0,2 m en los campos de arrozales anegados volvieron a altos valores (400-600 mV) inmediatamente después del drenaje y de devolver los campos a una condición no anegada. Estas profundas variaciones del Eh durante el ciclo de anegación afectaron a las concentraciones de Fe, Mn y As disueltas en el agua capilar. El agua capilar sobre profundidades de 1,0 m contenía concentraciones más elevadas de Fe, Mn y As que el agua de irrigación durante el período de anegación. Estos resultados sugieren que estos iones son liberados al agua capilar desde el suelo del arrozal sumergido (11).

17. En una serie de arrozales de Bangladesh y China contaminados con As que se mantuvieron en condiciones de anegación (12), el Eh del agua capilar se redujo por debajo de 200 mV, la concentración de arsénico en el agua capilar aumentó y más del 80% del arsénico movilizado al agua capilar fue en la forma de arsenito. El incremento de arsenito en el suelo del arrozal anegado aumenta la disponibilidad de arsénico para las plantas de arroz. Las concentraciones de arsénico en el agua capilar en los suelos de arrozales de Bangladesh fueron de 2-5 mg/L, mientras que las de los suelos de arrozales en China fueron de 0,5-0,8 mg/L. Estos resultados indican que los suelos de arrozales de Bangladesh que se indican en ese estudio, que estaban contaminados debido a sedimentos holocenos y a la irrigación a largo plazo con agua subterránea de alta concentración de arsénico, tienen mayor labilidad de arsénico que los suelos chinos de este estudio, que estaban contaminados por la minería o por fuentes geológicas naturales.

² El agua capilar es agua que se encuentra en las pequeñas aperturas, espacios y vacíos entre las partículas de suelo no consolidado. El agua se mantiene en la zona del agua vadosa, entre la zona del techo y la capa freática, por atrapamiento, atracción iónica, y fuerzas capilares o adhesivas. Generalmente es conveniente medir la concentración de contaminantes en el agua para estimar los contaminantes biodisponibles. La solución del suelo es agua capilar recogida mediante un dispositivo de muestreo enterrado en el suelo que actúa a presión negativa.

³ La rizosfera es la zona del suelo que rodea inmediatamente las raíces de las plantas, en que las raíces producen reacciones fisicoquímicas y actividad microbológica en el suelo.

18. Para explicar porqué la solubilidad del arsénico aumenta cuando las condiciones en los suelos de arrozales anegados son más anaerobias se ofrecen dos razones principales (2). En primer lugar, algunos óxidos e hidróxidos de hierro adsorbidos en el suelo se reducen y liberan en la fase de solución, un proceso denominado disolución reductiva. Como estos minerales de óxido de hierro son una fase importante de alojamiento del arsénico en el suelo, su disolución libera también el arsénico adsorbido en la fase de solución. Se ha observado muchas veces que la movilización del arsénico en los suelos anegados está acompañada de la movilización paralela de Fe (11, 12). En estudios se ha demostrado que la proporción liberada de As con respecto a Fe puede variar ampliamente entre suelos diferentes, lo cual refleja la cantidad de arsénico adsorbida por óxidos e hidróxidos de hierro reducibles fácilmente (11, 12). El tipo y la propiedad (p.ej., el grado de cristalinidad) de los óxidos e hidróxidos de hierro tienen gran influencia en el porcentaje de disolución reductiva y la movilización de arsénico. En segundo lugar, el arsenato adsorbido en el suelo puede reducirse a arsenito en la fase sólida del suelo durante la anegación y, como el arsenito se adsorbe con menor intensidad en el suelo, tiene mayor tendencia a partición en la fase de solución. En un artículo científico se demostró que As(V) predominaba en la fase sólida del suelo, siendo el As(III) solamente el 15% en dos suelos de arrozales antes de la anegación. Después de la anegación y cuando el Eh se redujo, la proporción de As(III) aumentó al 60-80% en el Eh de -100 mV. En comparación, la especiación del arsénico en la fase de solución estuvo dominada por el As(III), tanto en las condiciones de anegación como sin anegación (13).

19. El arsenito adsorbido en la fase sólida del suelo se deadsorbe con mucha más facilidad en la fase de solución que el arsenato (13-15). El coeficiente de distribución (conc. en la fase de solución/conc. en la fase sólida) del arsenito aumenta rápidamente con el incremento del pH de 5,5 a 7, mientras que para el arsenato, el incremento es aparente sólo a un $\text{pH} > 7$.

20. El bajo Eh asociado con la anegación continua puede provocar también reducción de los iones de sulfato en iones de sulfuro. Los iones de sulfuro pueden reaccionar con el As y precipitarse fuera de la solución del suelo como sulfuro de arsénico en lodos residuales (16), sedimentos (17, 18) y suelos (19). A su vez, la precipitación del sulfuro de arsénico reduce la concentración de As en la solución del suelo y puede reducir también la cantidad de As biodisponible para las plantas de arroz.

21. Asimismo, en un estudio se dieron diferencias considerables en la absorción de especies de arsénico del agua capilar por el arroz. Entre arsenito, arsenato, MMA y DMA, la absorción de especies inorgánicas fue más de diez veces mayor que la absorción de especies orgánicas, y la absorción de arsenito fue mucho más elevada que la absorción de arsenato; p. ej., a concentraciones de 0,053 mmol/L de arsenato en el agua de irrigación, los porcentajes de absorción de arsenito, arsenato, MMA y DMA fueron 147, 126, 12,7 y 5,7 nmol/(g-peso fresco-h), respectivamente (20).

- Mecanismo molecular del transporte de arsénico del suelo al arroz

22. Las raíces del arroz son capaces de absorber cada especie de arsénico del agua capilar. Los mecanismos moleculares en la absorción de arsenato y arsenito por las plantas de arroz son muy diferentes.

23. El arsenato es un sucedáneo químico del fosfato, porque los dos elementos pertenecen al mismo grupo en la Tabla periódica. Debido a ello, el arsenato compite con el fosfato para el transporte de fosfato por transportadores de membrana en la planta. El fosfato suprime eficazmente la absorción de arsenato en los cultivos hidropónicos de arroz, lo cual es atribuible a la competencia entre los dos aniones del mismo transportador (20). Hay 13 genes denominados *OsPht1;1-OsPht1;13* que codifican las proteínas del transportador de alta afinidad putativa de fosfato en el genoma del arroz (21). En las plantas de arroz en que el gen del transportador de fosfato *OsPht1;8* está sobreexpresado, la absorción de arsenato se intensifica mucho más (22) indicando que *OsPht1;8* tiene una elevada afinidad tanto para el fosfato como el arsenato, y probablemente participa en la absorción y el transporte a larga distancia del fosfato y el arsenato en el arroz (22, 23).

24. El arsenato adsorbido por las raíces del arroz se reduce rápidamente en arsenito en las células de la raíz (24, 25), y la especie dominante de arsénico en la raíz del arroz es arsenito (26-28). En el suelo anegado el arsenito es la principal especie de arsénico absorbida por las raíces de arroz, junto con una pequeña cantidad de DMA, y en última instancia las vías de transporte de fosfato y arsenato contribuyen poco a la acumulación de arsénico en el arroz (22).

25. Tal como se ha indicado en "fosfatos" en el párr. 51, la adición de fertilizantes de fosfato aumenta la acumulación de arsénico en el grano de arroz, debido probablemente a la adsorción competitiva de fosfatos en los constituyentes del suelo aglutinantes de arsénico, como óxidos e hidróxidos de hierro (14, 29, 30). Este es uno de los mecanismos importantes que hacen aumentar la biodisponibilidad de arsénico en la planta de arroz.

26. El arsenito es transportado al arroz por un transportador de silicato y los silicatos añadidos reducen el transporte de arsenito en el arroz. El mecanismo de la disminución inducida por Si en la absorción de arsenito fue explicado por Ma et al. (26, 31, 32), que identificaron las proteínas de transporte de Si en el arroz OsNIP2;1 (Lsi1)⁴ y Lsi2⁵. Los procesos de transporte de Si y As desde el medio externo al cilindro central incluyen la efluencia de ácido silícico y arsenito por Lsi1 y seguidamente la circulación de los mismos hacia el cilindro central regulada por Lsi2. Además, la Lsi2 puede tener un papel más importante en el control de la acumulación de As en los brotes y el grano de arroz que la Lsi1. Las disminuciones inducidas por Si en la absorción de As se pueden explicar por la inhibición competitiva entre Si y arsenito. Guo et al. (33, 34) documentaron que la adición de silicato inhibe la acumulación de As en el arroz cuando se utiliza arsenato como la forma de As; con todo, el efecto no es atribuible a una competencia directa entre Si y arsenato porque no comparten los mismos transportadores. Las observaciones se pueden explicar ahora adecuadamente por la implicación de Lsi2 en la absorción y translocación de arsénico. El arsenato absorbido por las raíces de arroz es reducido rápidamente a arsenito en las células de la raíz (24, 25), y transportado hacia el xilema a través del efluente Lsi2 y está sometido a inhibición competitiva del Si (28). Por lo tanto, el tratamiento previo con Si puede inhibir la translocación del As al brote (33, 34). La eficiente vía de absorción de Si en el arroz permite también el paso no advertido de arsenito, explicando por qué el arroz es eficiente en la acumulación de As.

Sección 4 Toxicidad y exposición al arsénico

27. El Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) realizó en la 72ª reunión la evaluación de riesgos del arsénico inorgánico en los alimentos y los resultados fueron publicados en la monografía de 2011 (35).

28. Según la evaluación del JECFA, en estudios epidemiológicos se determinó que el límite más bajo en la dosis de referencia para un incremento de la incidencia de cáncer pulmonar del 0,5% (BMDL_{0,5}) fue 3,0 µg/kg de pc por día de arsénico inorgánico (2 – 7 µg/kg de pc por día basado en el margen de la exposición alimentaria total estimada) utilizando una serie de supuestos para estimar la exposición al arsénico inorgánico del agua potable y los alimentos.

29. El JECFA concluyó que la mayor parte de la exposición a arsénico inorgánico se produce a través de agua subterránea contaminada de forma natural - a través de agua potable, agua utilizada en la preparación de alimentos y agua utilizada en la irrigación de cultivos de alimentos, en particular el arroz. El arroz con cáscara puede contener también niveles de arsénico relativamente altos a niveles de bajo contenido de arsénico en el suelo debido a la alta disponibilidad de arsénico en los suelos anegados. La exposición alimentaria media documentada a arsénico inorgánico en los EE.UU. y varios países europeos y asiáticos fue de 0,1 y 3,0 µg/kg de pc al día. La proporción de la exposición al arsénico inorgánico que se desprende de los alimentos relativa al agua aumenta cuando la concentración de arsénico inorgánico en el agua se reduce. En el extremo más bajo del margen de exposición, los alimentos pueden ser también un gran contribuidor a la exposición a arsénico inorgánico. Algunos estudios epidemiológicos proporcionan evidencia de efectos adversos en ciertas regiones del mundo en que las concentraciones de arsénico inorgánico en el agua potable son superiores a 50-100 µg/l. Hay otras zonas donde las concentraciones de arsénico en el agua son elevadas (p.ej., por encima del valor de referencia de la OMS de 10 µg/l) pero inferiores a 50 µg/l. En estas circunstancias, existe la posibilidad de que se produzcan efectos adversos debido a la exposición a arsénico inorgánico del agua y los alimentos, pero su incidencia sería baja y sería difícil detectarla en estudios epidemiológicos.

30. En un estudio reciente en China se demostró que la ingesta semanal de arsénico inorgánico es aproximadamente de 4,95 µg/kg de pc y aproximadamente el 60% es del arroz (36).

Sección 5 Ámbito de aplicación del desarrollo de un Código de Prácticas para Prevenir y Reducir la Contaminación en el Arroz por el Arsénico

31. En la sección 1.3.1 del preámbulo de la Norma General para los Contaminantes y las Toxinas presentes en los Alimentos y Piensos (NGCTAP) se indica lo siguiente:

- Los niveles de los contaminantes presentes en los alimentos deben ser lo más bajos que razonablemente sea posible a través de buenas prácticas, como buenas prácticas agrícolas (BPA) y buenas prácticas de fabricación (BPF) siguiendo una evaluación apropiada de riesgos;
- Con el fin de asegurar que se tomen las medidas adecuadas para reducir la contaminación de alimentos, se elaborará un Código de prácticas que incluya medidas destinadas a reducir la contaminación en el origen y buenas prácticas de fabricación, así como buenas prácticas agrícolas en relación con el problema específico de la contaminación;
- El efecto obtenido con las medidas adoptadas para reducir la contaminación, se evaluará mediante programas de seguimiento y evaluación y, si fuera necesario, mediante programas de investigación más especializados; y
- Se aplicará un enfoque general, teniendo en cuenta todas las informaciones pertinentes de que se disponga, a fin de hacer recomendaciones y adoptar medidas de control.

⁴ OsNIP2;1 (Lsi1) es un transportador principal de entrada de ácido silícico en el arroz. Se localiza en el lado distal de las membranas de plasma en las células exodermales y endodermales de las raíces de arroz.

⁵ Lsi2 es un transportador de salida de ácido silícico que se localiza en el lado proximal de las membranas de plasma en las mismas células de las raíces del arroz.

32. Por lo tanto, la concentración de arsénico en el arroz debe ser lo más baja que razonablemente sea posible y debe desarrollarse un código de prácticas de acuerdo con la NGCTAP. La 72ª reunión del JECFA indicó en su monografía sobre el arsénico que las estrategias generales para reducir la exposición humana al arsénico a través de los alimentos comprenden reducir la absorción de arsénico en los cultivos de alimentos, aumentar la proporción de formas orgánicas menos tóxicas con respecto al arsénico inorgánico en los cultivos de alimentos y reducir el contenido de arsénico de los alimentos mediante los métodos de procesado, preparación y cocción. A.A. Meharg y F.J. Zhao presentaron estrategias para producir arroz con menos arsénico a fin de minimizar la acumulación de arsénico (2).

33. El ámbito de aplicación del desarrollo de un Código de Prácticas para Prevenir y Reducir la Contaminación en el Arroz por el Arsénico debe aplicarse a las siguientes medidas teniendo en cuenta las estrategias mencionadas y los hechos científicos de las secciones anteriores:

- Medidas aplicables en el origen;
- Prácticas agrícolas (uso de materias agrícolas, control del agua de irrigación y selección de cultivares);
- Procesado y cocción;
- Seguimiento de la efectividad de las medidas.

Sección 6 Medidas de prevención y reducción

Sección 6.1 Medidas aplicables en el origen

34. El objetivo principal del Código de Prácticas sobre Medidas Aplicables en el Origen para Reducir la Contaminación de los Alimentos por Productos Químicos (CAC/RCP 49-2001) es reforzar la sensibilización respecto de las fuentes de contaminación química de los alimentos y piensos, y de las medidas aplicables en el origen para evitar tal contaminación. El código de prácticas exige que las autoridades nacionales de control de los alimentos o piensos deben informar a las autoridades nacionales y organizaciones internacionales pertinentes, acerca de los problemas potenciales o reales de contaminación de los alimentos o piensos y alentarlas a tomar medidas preventivas adecuadas.

35. El código de prácticas recomienda que las autoridades nacionales y organizaciones internacionales pertinentes deben ser informadas sobre problemas potenciales o posibles de contaminación de los alimentos o piensos y deben alentar a tomar medidas para:

- controlar las emisiones de contaminantes de la industria, por ej., industrias químicas, mineras, metalúrgicas y papeleras, y también de la prueba de armas;
- controlar las emisiones ocasionadas por la producción de energía (incluidas las centrales nucleares) y los medios de transporte;
- controlar la evacuación de desechos sólidos y líquidos de origen doméstico e industrial, incluida su sedimentación en la tierra, la evacuación de fangos de alcantarillado y la incineración de desechos municipales;
- controlar la producción, venta, utilización y evacuación de determinadas sustancias tóxicas que persisten en el medio ambiente;
- cuando sea posible, sustituir las sustancias tóxicas que persisten en el medio ambiente con productos más aceptables desde el punto de vista de la salud y del medio ambiente; y
- poner en la lista negra los ámbitos de que se trata, es decir, prohibir la venta de alimentos y piensos derivados de esas zonas contaminadas y aconsejar sobre el consumo de tales alimentos o el uso de tales piensos, donde la tierra agrícola está fuertemente contaminada debido a emisiones locales.

36. En el caso del arsénico, las fuentes comprenden la deposición atmosférica, agua de riego (agua subterránea y agua residual reciclada contaminada con As) y suelo con origen geogénico de arsénico (suelos con cenizas volcánicas). Deben adoptarse medidas si esas fuentes producen un aumento considerable del arsénico en el arroz. Generalmente las medidas anteriores pueden utilizarse como medidas aplicables en el origen para reducir la contaminación del arroz con arsénico. Las medidas aplicables en el origen, incluyendo su aplicabilidad al arsénico, deben someterse a debate en el CCCF con respecto a:

- si las medidas son viables técnica o económicamente;
- si los niveles de arsénico en los arrozales reflejan la contaminación anterior o actual; y
- si deben desarrollarse medidas específicas para el arsénico.

Sección 6.2 Medidas agrícolas

37. El arsénico no sólo es tóxico para el ser humano sino también para las plantas, incluido el arroz. Uno de los ejemplos de la toxicidad del arsénico en las plantas de arroz se conoce como "vaneo fisiológico". Se han investigado varias medidas agrícolas destinadas a reducir el desarrollo de vaneo fisiológico en arrozales contaminados con arsénico y proporcionar información pertinente para reducir casos más sutiles de contaminación del arroz por arsénico.

Efecto del uso de materias agrícolas⁶

38. Las materias agrícolas se aplican a los campos como fuentes de nutrición de las plantas y modificación del suelo. Algunas materias son efectivas en reducir la concentración de arsénico en el arroz, mientras que otras fomentan la absorción de arsénico, dando lugar a elevadas concentraciones de arsénico en el arroz. El tipo de materias agrícolas utilizado para modificar el suelo afecta a la solubilidad del arsénico, la especiación del arsénico en el suelo y la absorción de arsénico por la planta de arroz

* Materias que contienen hierro

39. Se ha documentado ampliamente que las materias suplementarias que contienen hierro suprimen eficazmente la disolución de arsénico de los sólidos del suelo (37). Tres posibles mecanismos para la supresión son la creación de un alto potencial redox en el suelo (38); la adsorción de arsénico en las materias que contienen hierro (39); y la precipitación de compuestos de arsénico de baja solubilidad.

40. Tal como se ha indicado en la Figura 2 (diagrama del Eh y el pH), el potencial redox de las especies de hierro es relativamente alto si se compara con las especies de arsénico. Cuando se aplican al suelo materias que contienen hierro, como óxidos de hierro, la disminución del Eh en condiciones de anegación se retrasa. La adición de materias de hierro puede suprimir la reducción de arsenato a arsenito y la disolución de arsénico de los sólidos del suelo (38).

41. En segundo lugar, en general, la mayoría de los constituyentes minerales del suelo, como varios óxidos e hidróxidos de hierro o aluminio, minerales arcillosos de aluminosilicato y óxidos de manganeso adsorben fuertemente el arsenato, mientras que el arsenito presenta una afinidad limitada para la mayoría de minerales del suelo, a excepción de los óxidos e hidróxidos de hierro (40).

42. Los óxidos e hidróxidos amorfos de hierro adsorben cantidades más grandes de arsenato o arsenito que sus homólogos cristalinos, debido a zonas específicas de la superficie más grandes y sitios de adsorción como grupos hidroxilos de hierro (14). En un ensayo de columna abiótico de varias materias que contienen hierro (41), la adsorción máxima de arsenito y arsenato fue respectivamente de $1,75 \text{ mol kg}^{-1}$ y $1,28 \text{ mol kg}^{-1}$ para ferrihidrito, $0,35 \text{ mol kg}^{-1}$ y $0,24 \text{ mol kg}^{-1}$ para goethita, y $0,11 \text{ mol kg}^{-1}$ y $0,08 \text{ mol kg}^{-1}$ para hematita. En el Cuadro 1 se indica que: 1) se adsorbió mayor cantidad y con mayor intensidad arsenato en ferrihidrito, que es amorfo, que en goethita y hematita, que son cristalinas; 2) se adsorbió más arsenito que arsenato en todos los tipos de óxidos e hidróxidos de hierro, independientemente de si son cristalinos o amorfos; y 3) en todos los casos, pese a ser adsorbido más ampliamente, el arsenito se deadsorbió más fácilmente que el arsenato.

43. En un experimento llevado a cabo en arrozales anegados, se observó que la aplicación de $\text{FeCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (25 mg Fe kg^{-1} suelo) redujo notablemente los niveles de arsénico soluble en el agua del suelo y las concentraciones de arsénico en arroz descascarillado (en un 25% y 9,2%, respectivamente), y las plantas con suplementos de hierro se desarrollaron con más rapidez que las plantas cultivadas en condiciones normales (42).

44. Tal como se ha señalado en el párrafo 18, en ensayos de incubación de suelo en condiciones de anegación (anaerobias), la solubilidad del arsénico aumenta debido a la reducción de los óxidos e hidróxidos de hierro y la reducción de arsenato. Experimentos recientes en tiesto realizados en Japón han revelado que el uso de materia que contiene hierro que tiene azufre puede dar lugar a la formación de orpimento (As_2S_3) y arsenofrine (FeAsS) en condiciones muy reductoras. Como orpimento y arsenofrine son poco solubles, el uso de cambios en el suelo de azufre-hierro para producir compuestos de arsénico insolubles puede reducir la disponibilidad de arsenito soluble en el agua capilar (datos no publicados). En el futuro, las investigaciones sobre el efecto de los cambios en el suelo con combinación de hierro y azufre irán seguidas de experimentos a gran escala en arrozales o en marcos concretos en Japón.

45. En resumen, las materias que contienen hierro son efectivas para reducir la disolución de arsénico de los sólidos del suelo y la absorción de arsénico por las plantas de arroz.

46. En un experimento con plantas de arroz en tiesto y en suelos anegados, la adición de hierro ionizado bivalente (Fe^{2+}) fomentó la formación de placa de óxido de hierro en las superficies de la raíz; redujo el efecto tóxico del arsénico en el cultivo del arroz; dio lugar a una concentración reducida de arsénico en el grano y la paja de arroz; y aumentó el rendimiento en granos (29, 43). La cantidad de placa de hierro extraíble de oxalato de amonio se correspondió negativamente con las concentraciones de arsénico en el grano y la paja de arroz, y positivamente con los rendimientos en granos, si bien al nivel de 0,01 las correspondencias no fueron significativas. Con base en estas observaciones, se ha supuesto que la placa de óxido de hierro adsorbía el arsénico y reducía la contaminación del arroz por arsénico, pero no se llevó a cabo una evaluación cuantitativa de la importancia de este efecto (Cuadro 2) (29).

47. En un experimento en tiesto, utilizando suministro de agua contaminada con arsénico, la adición al suelo de 0,1% y 0,5% de óxidos e hidróxidos amorfos de hierro fomentó la formación de placa de hierro en las superficies de las raíces, aumentó la concentración de arsénico en la superficie de la raíz, mejoró el crecimiento de las plantas y redujo la concentración de arsénico en las plantas de arroz (39).

⁶ En el presente documento "materias agrícolas" significa fertilizantes como N, P, K incluyendo otros elementos y modificaciones del suelo, tales como cal, que incluye abonos compuestos, abonos, etc.

48. Pese a que la mayoría de los artículos científicos publicados indican que la suplementación con hierro elimina la absorción de As en las plantas de arroz, se han publicado pocos artículos científicos que sugieran que la placa de hierro no puede actuar como una barrera para la absorción de arsénico en las plantas de arroz del agua capilar (44, 45) y que la placa de hierro puede ser un receptor de arsénico para la absorción por las plantas de arroz (45, 46).

49. Por añadidura, la mayoría de materias agrícolas que contiene hierro que hay en el comercio contiene impurezas como silicato y fosfato de calcio, y la mayoría de abonos contiene fosfato y hierro. Se necesita investigación para apreciar si la presencia de esas impurezas tiene un impacto en la cinética del arsénico en el suelo, y verificar si en determinadas condiciones las placas de hierro pueden actuar como un depósito de arsénico para la absorción por el arroz. Asimismo, la adición de hierro puede afectar al cumplimiento reglamentario de normas sobre la calidad del agua en algunas zonas, como California (EE.UU.), lo cual puede afectar a la capacidad regional para utilizar suplementos de hierro.

* Fosfatos

50. Los fosfatos reducen considerablemente la adsorción de arsenito y arsenato de los óxidos e hidróxidos de hierro en el suelo. En un estudio sin uso de plantas, la fracción de arsénico ligada a óxido amorfo de hierro se redujo considerablemente en presencia de 100 $\mu\text{mol/L}$ de total de fosfato a un pH de 4,0, es decir, más del 95% a aproximadamente el 80% en el caso de arsenato, y del 75% hasta indetectable en el caso de arsenito (14). Igualmente, a la misma concentración de fosfato, la adsorción de arsenato y arsenito en goethita se redujo entre más del 90% y aproximadamente el 65% y el 15%, respectivamente (14). El efecto del fosfato en la adsorción de arsenato fue mayor a un pH alto que a un pH bajo, mientras que en arsenito se observó la tendencia opuesta (14, 47). Las adiciones de fosfato potenciaron la reducción de arsénico en arsenito bajo condiciones anaerobias, posiblemente debido al aumento de la deadsorción de arsenato, que seguidamente facilitó el proceso de reducción en la solución del suelo (19).

51. En un experimento utilizando plantas de arroz en tiestos con suelo anegado, se comprobó que la adición de fertilizantes de fosfato aumentaba la acumulación de arsénico en el arroz, probablemente debido al aumento de la deadsorción de la fase sólida del suelo. La cantidad de arsénico adsorbido para la placa de óxido de hierro en las raíces de arroz también fue más baja (21% por término medio) en presencia de fosfatos añadidos (0-50 mg-equivalente de fósforo/kg-suelo). Además, el efecto adverso del arsénico en el rendimiento en granos fue agravado por la adición de fosfato. Dosis más elevadas de arsénico (15-30 mg-equivalente de arsénico/kg-suelo) combinadas con fosfato (50 mg-equivalente de fósforo/kg-suelo) dieron lugar a una reducción máxima en el rendimiento en granos, indicando que en este experimento, el fosfato añadido potenció la disponibilidad de arsénico para la planta e inhibió el crecimiento de la planta (véase el Cuadro 2) (29).

52. Se ha supuesto también que un bajo contenido de fosfato puede aumentar la formación de placa de hierro, dando lugar a mayor secuestro del arsenato (48). Es necesario investigar todavía en el campo el efecto total del fosfato (como una diferencia entre la formación de placa de hierro y la deadsorción de arsenato por fosfato) en la acumulación de arsénico en el grano de arroz en suelos con distintos niveles de fosfato.

53. Por otra parte, los fosfatos compiten con arsenato en los transportadores de membrana en las plantas. El porcentaje de absorción de arsenato por las plantas de arroz de una solución de incubación que contenía 0,05 mmol/L de arsenato disminuyó considerablemente ($P < 0,001$) con el aumento de la concentración de fosfato en la solución. Se encontró alta entrada de arsenato de 171,2 nmol/g-peso fresco h) en ausencia de fosfato en la solución, que fue reducido en un 9%, 30%, 53%, 66%, 80% y 88% con la adición de 0,01, 0,025, 0,05, 0,1, 0,25 y 0,5 mmol/L, respectivamente, de fosfato a la solución. En cambio, el porcentaje de absorción de arsenito, bajo las mismas condiciones de ensayo, fue independiente de la concentración de fosfato (20).

54. Al evaluar el impacto total del fosfato en el arsénico en el arroz, debe observarse que en condiciones de anegación es probable que el arsenato se reduzca a arsenito, tal como se describe en el párrafo 15. Una vez el arsenato desplazado por el fosfato de la fase sólida se ha reducido a arsenito en el agua capilar, no cabe esperar supresión competitiva de absorción de arsénico por fosfato porque el arsenito no es absorbido por las raíces a través del transportador de fosfato (2). De hecho, en un estudio reciente se ha demostrado que la vía de transporte del fosfato contribuye poco a la concentración de arsénico en plantas de arroz cultivadas en suelo anegado (22).

* Silicatos

55. El ácido silícico es un ligando natural en los suelos que puede competir con la adsorción de arsénico, en especial arsenito. En un experimento, el uso de silicatos aumentó la concentración de arsénico en la solución del suelo (49).

56. La presencia de 1 mM de ácido silícico redujo la adsorción de arsenito en goethita en un 40% (50). La adición de gel SiO_2 escasamente soluble a un suelo anegado aumentó considerablemente las concentraciones de arsenito y, en menor medida, de arsenato, en la solución del suelo (49).

57. Por otra parte, tal como se ha descrito en el párrafo 26, el aumento de la disponibilidad de silicatos redujo la acumulación de arsenito en el arroz por la supresión de la absorción de arsenito a través de transportadores de ácido silícico y arsenito.

58. Mediante experimentos hidropónicos (33) se demostró un fuerte efecto supresor de los silicatos en la absorción de arsénico en la planta de arroz. La aplicación de silicatos externos redujo considerablemente las concentraciones de arsénico en los brotes y las raíces de arroz. Además, los silicatos redujeron considerablemente la concentración de fósforo en los brotes y la absorción de fósforo en los brotes (33).

59. En un estudio ulterior se comprobó que la adición de silicatos a la solución de tratamiento previo o absorción redujo considerablemente las concentraciones de arsénico en las raíces y brotes, y las concentraciones de fósforo en los brotes. Tanto los silicatos internos como externos suprimieron la absorción de arsénico y fósforo. La cinética de absorción del arsénico demostró que el efecto de los silicatos en la absorción de arsenito no se debe a competencia directa con arsénico en los transportadores (34). Probablemente se debe al efecto de los silicatos en la translocación de arsenito de la raíz al brote, que es facilitada por la proteína Lsi2.

60. Estos resultados fueron corroborados por experimentos realizados en el suelo en Alemania (51) e Inglaterra (49) con plantas de arroz en tiestos. Utilizando cinco clases de suelo con niveles de As que varían desde 5,0 a 15,1 mg/kg (51), se dio una estrecha relación positiva entre las concentraciones de Fe y As en la solución del suelo, sugiriendo que la mayor parte de As procedía de los óxidos de hierro a través de disolución reductiva. El ácido silícico autóctono en la solución del suelo suprimió la absorción de As (51). Los suelos con altos contenidos de Si disponible en la planta tenían relativamente bajo contenido de As en la planta.

61. En otro experimento con plantas de arroz en tiesto (49), la adición de gel de sílice (20 g de SiO₂/kg de suelo) al suelo redujo las concentraciones totales de arsénico en la paja y el grano en un 78% y 16%, respectivamente. En los mismos experimentos, la adición de Si redujo la concentración de arsénico inorgánico en el grano en aproximadamente el 59% pero la concentración de DMA aumentó en un 33%. A diferencia del arsenito, como la Lsi2 no transporta MMA ni DMA (49), no hay efecto competitivo del ácido silícico en la acumulación de MMA o DMA en los brotes de arroz.

62. Por lo tanto, la aplicación de fertilizantes de Si a los cultivos de arroz puede ser una forma eficaz de reducir el problema de transferencia excesiva de As del suelo del arrozal al grano de arroz. No obstante, se carece todavía de ensayos de campo sobre el efecto de los fertilizantes de Si en la acumulación de As.

*** Materias orgánicas⁷**

63. La materia orgánica disuelta puede competir con el As en los sitios de adsorción en superficies minerales, reduciendo la adsorción de arsenato y arsenito, y potenciando la liberación de arsénico en el agua capilar (5, 52). La aportación de materia orgánica, incluyendo mezcla de biogás y destiladores desecados de grano, aumentó considerablemente la liberación de arsenito en el suelo del arrozal, y potenció la acumulación total de arsénico en las plantas de arroz (53, 54).

64. Por otra parte, las materias orgánicas estables pueden servir también como aglutinantes, reduciendo la movilidad del arsénico. El suelo anegado del arrozal suele contener cantidades significativas de materia orgánica estable, debido a las condiciones anaerobias del suelo que limitan la degradación de la materia orgánica (55). Las sustancias húmicas y otras materias orgánicas estables suelen tener afinidad con el arsénico, debido a reacciones de intercambio de ligandos con COOH y grupos funcionales OH de fenol y catecol. Estudios recientes ofrecen evidencia directa de la capacidad del arsénico para unirse a sustancias húmicas (As-SH) (56, 57).

65. Normalmente las especies de arsénico metilado constituyen el 10%-90% del total de arsénico en el suelo o rizosfera (54, 58). La adición de materia orgánica estimula el crecimiento de distintos microbios autóctonos, incluyendo metiladores de arsénico que facilitan la metilación y volatilización del arsénico del suelo, y la capacidad de volatilización varía con el tipo de materia orgánica (54, 59, 60). La aplicación de mezcla de biogás y destiladores desecados de grano al suelo del arrozal produjo también un aumento de la metilación del arsénico en el suelo del arrozal, y aumentó la acumulación de especies de arsénico metilado en las plantas y granos de arroz (53, 54). Las especies de arsénico metilado eran más susceptibles de transporte desde los brotes y las raíces a los granos que el arsénico inorgánico (54, 61).

66. En resumen, la aplicación de materia orgánica al suelo con contenido elevado de As debe abordarse con prudencia. Por ejemplo, el estadio de floración es crucial, porque la absorción de arsénico en esta fase influye directamente en el transporte de arsénico al grano (61, 62). Se debe evitar la aplicación de materia orgánica en este estadio, porque con la adición de materia orgánica el arsénico adsorbido en la placa de hierro puede ser liberado y se hace disponible para la metilación, absorción y translocación al grano en esta fase esencial del crecimiento por lo que respecta al As en los granos de arroz (46, 61, 62).

67. Además, la aplicación a la tierra de abonos de ganado alimentados con compuestos de arsénico puede contribuir al arsénico en los suelos de los arrozales pese a no tener evidencia directa de contaminación del arrozal por Roxarsone (63, 64).

- Resumen de la aplicación de materias agrícolas

68. Las modificaciones del suelo que contiene hierro, que generalmente son de bajo coste, pueden reducir la concentración de arsénico en el agua capilar debido a su capacidad para adsorber arsénico. Si en el suelo del arrozal no hay suficientes silicatos, el uso de silicatos puede reducir la concentración de arsénico en el arroz debido a la competencia entre silicatos y arsenito.

69. Existen pocos experimentos en los campos de arrozales, por lo que las medidas de control basadas en experimentos de laboratorio deben someterse a prueba en cada región.

⁷ En este documento, el término "materias orgánicas", significa fertilizantes o abonos compuestos derivados de animales, abonos, plantas u otras sustancias como lodos (biosólidos, residuos biosólidos o residuos derivados de biosólidos)

- Efecto del control del agua de irrigación

70. El cultivo "aerobio" del arroz reduce la solubilidad del arsénico y, por consiguiente, reduce la biodisponibilidad de arsénico para las plantas de arroz. Las concentraciones de arsénico en distintos tejidos del arroz son notablemente más bajas en condiciones aerobias que en condiciones anaerobias, y las concentraciones de arsénico en la planta de arroz siguen el orden de paja > cáscara > grano de arroz (65).

71. El porcentaje de arsénico inorgánico en los granos de arroz es diferente en condiciones anaerobias y aerobias. Con base en un estudio, los granos de arroz de condiciones anaerobias tienen un porcentaje más bajo de arsénico inorgánico con respecto al total de arsénico. Pero la concentración de arsénico inorgánico en el arroz cultivado anaerobiamente fue entre 2,6 y 2,9 veces más alto que en el arroz cultivado aeróbicamente (65).

72. El drenaje parcial de los campos, bien periódicamente o durante el cultivo del arroz (42), y el cultivo del arroz en lechos elevados (66) se han utilizado para reducir la toxicidad del arsénico para la planta de arroz y estas prácticas reducen también las concentraciones de arsénico en los granos y paja de arroz (Cuadro 3). En la humidificación y secados alternativos (AWD), que es una especie de drenaje parcial de los campos, el agua de irrigación se aplica para obtener condiciones de anegación después de pasar un determinado número de días tras la desaparición del agua depositada (67). Pese a que el efecto de adoptar AWD en la absorción de arsénico por el arroz no ha sido sometida a prueba en las condiciones de campo, un reciente estudio de campo mostró que la concentración de arsénico en los granos de arroz en arrozales anegados intermitentemente es 41% más baja que en arrozales anegados continuamente (68).

73. El rendimiento del cultivo de arroz en condiciones aerobias tiende a ser menor que el cultivo de arroz en condiciones anegadas, posiblemente debido a daños en las plantas por microorganismos patógenos y nematodos, y la menor biodisponibilidad de nutrientes como fósforo (69). Existe la posibilidad de que el cultivo de arroz en lechos elevados y condiciones aerobias dé lugar en algunas circunstancias agrícolas a menores rendimientos y aumente considerablemente la posibilidad y gravedad de que se produzcan algunas enfermedades en el arroz, especialmente añublo (67, 70, 71).

74. No obstante, es positivo que actualmente se esté trabajando mucho en métodos de producción "aerobia" del arroz porque en algunas regiones de cultivo de arroz la disponibilidad de agua se está volviendo física y económicamente limitada (72). Además, las condiciones aerobias controladas mediante el drenaje parcial de los campos afectan mucho menos al rendimiento del arroz que el cultivo del arroz en suelo muy contaminado con arsénico con prácticas de anegación convencionales (Cuadro 3).

75. El cultivo del arroz en condiciones de drenaje parcial es una buena práctica, vista la reducción de la acumulación de arsénico sin influir en los rendimientos del arroz si el suelo en los campos de arrozales está bastante contaminado con arsénico. La cuestión es cuándo y cuánto tiempo deben mantener los agricultores las "condiciones aerobias" durante el periodo de cultivo del arroz. Artículos recientes ofrecen información sobre prácticas de drenaje parcial (Cuadro 4). En un estudio se ha comprobado que el drenaje después de la floración reduce las concentraciones de arsénico en los granos y las cáscaras de arroz en comparación con la anegación continua, y que la anegación después de la floración aumenta las concentraciones de arsénico en los tejidos del arroz en comparación con el tratamiento aerobio. Esto sugiere que el arsénico en el grano y la cáscara del arroz se deriva tanto de la absorción antes como después de la floración (49). En otro estudio se ha comprobado que manteniendo el suelo del arrozal sumergido durante 3 semanas antes de la despuntación (aparición de la panícula de arroz) hasta 3 semanas después de la misma, reduce el potencial redox (Eh) en el suelo del arrozal, y por consiguiente aumentan notablemente las concentraciones de arsénico en el grano de arroz, mientras que durante el periodo desde la plantación hasta 3 semanas antes de la despuntación, el Eh más bajo en el suelo del arrozal no afecta a la acumulación de arsénico en el grano de arroz (73).

76. El estudio de Arao et al. sugiere que es importante que varias semanas antes de la despuntación o floración hasta varias semanas después de la misma los agricultores mantengan el suelo de los arrozales en condiciones oxidativas⁸ controlando los niveles de agua en el campo. Se debe evitar sumergir el suelo del arrozal después de la despuntación o floración porque si se reduce el Eh en el suelo del arrozal después de la despuntación o floración aumentan las concentraciones de arsénico orgánico en el grano de arroz (Cuadro 4) (73).

77. La mayoría de los artículos publicados (49, 65, 73) sobre el control de la absorción de As mediante el control de la anegación se basan en la absorción de arsénico en plantas de arroz cultivadas en tiestos en invernaderos, a excepción de unos pocos informes (42, 66). Se carece de datos sobre la absorción de arsénico en arroz cultivado en el campo. Actualmente se está realizando en varios sitios en Japón un estudio sobre el cultivo de arroz en campos de arrozales y marcos concretos para evaluar los efectos del control del agua de irrigación durante periodos anteriores y posteriores a la despuntación y la floración. Los datos disponibles indican que controlar los niveles de agua durante el periodo de despuntación y floración en los campos de arrozales es un método de cultivo práctico para controlar el potencial redox (Eh) en el suelo del arrozal.

⁸ La despuntación es el momento en que la panícula empieza a asomar de la gluma. La despuntación puede durar entre 10 y 14 días. Generalmente la floración empieza al asomar la panícula o al día siguiente. Por consiguiente, floración se considera sinónimo de despuntación (74). En el estudio de Arao, los días de despuntación duraron aproximadamente 1 semana, pero su diferencia no tiene ningún impacto en las concentraciones de As y Cd en el arroz. La diferencia entre la despuntación y la floración en el arroz tampoco es problema en la práctica real para controlar el agua de irrigación en los campos de arrozales en Japón.

78. Un posible efecto negativo de utilizar el cultivo aerobio para limitar la absorción de As es un aumento en la absorción de cadmio. La bibliografía científica (73, 75) indica que la anegación de los campos de arrozales es efectiva para reducir las concentraciones de cadmio en el grano de arroz, mientras que las condiciones aerobias en el suelo del arrozal hacen aumentar la movilización del cadmio y el aumento de la absorción de cadmio en el arroz. Si los campos de arrozales se mantienen anegados durante el período de 15 días antes de la despuntación y la floración hasta 25 días después de la despuntación, se reduce la concentración de cadmio en el arroz moreno (76). Estos resultados sugieren que puede ser difícil reducir simultáneamente las concentraciones de arsénico y cadmio en el grano de arroz con medidas de control del agua solamente. En Japón se lanzará pronto un nuevo estudio que investiga si la concentración de arsénico y cadmio en los granos de arroz puede reducirse simultáneamente mediante el control del agua de irrigación y utilizando un cultivar de arroz con baja absorción de cadmio (77), junto con materias agrícolas.

- Efecto de la selección varietal

79. El arsénico en las plantas de arroz está también bajo control genético. En 2008 se documentó por primera vez que varios loci de un carácter cuantitativo (QTL) están relacionados con el arsénico en el arroz (78). En una serie de estudios de campo recientes se ha señalado una variación genética importante en el grano en función de la concentración total de arsénico, así como de la concentración de especies de arsénico (79-86) (Cuadro 5).

80. En experimentos de campo realizados en dos sitios en Bangladesh (Faridpura y Sonargaon) se han encontrado variaciones 4-4,6 veces del total de arsénico en el grano ($0,16\text{--}0,74\text{ mg kg}^{-1}$ en Faridpura, $0,07\text{--}0,28\text{ mg kg}^{-1}$ en Sonargaon) entre 75 cultivares formados por variedades autóctonas de Bangladesh y variedades madre de poblaciones asociadas permanentes. Pese a que los dos campos tenían niveles diferentes de contaminación de arsénico, en los cultivares se detectaron diferencias bastante significativas y se observó una marcada correlación ($r=0,802$) en el arsénico en los granos de 76 cultivares, indicando diferencias genéticas estables en la acumulación de arsénico (80). Si se considera la concentración total de arsénico en muestras de grano integral, las variedades autóctonas locales con salvado rojo tenían niveles más altos de arsénico que las de salvado marrón. Los niveles más altos de arsénico en el salvado rojo de arroz no se debían exclusivamente a la concentración más elevada de As en la capa de salvado, porque durante el pulido de todos los cultivares se eliminó el mismo porcentaje de arsénico en el grano. Además, los resultados de la especiación del arsénico indicaron que había una gran diferencia en el porcentaje de arsénico inorgánico entre los subgrupos de cultivares de arroz y un subgrupo importante por la interacción en el lugar. Se determinó la contribución de la variación genética al porcentaje de arsénico inorgánico en los granos de arroz (80).

81. Recientemente se ha llevado a cabo un estudio durante más de 3 años (2004, 2005 y 2007) sobre la variación genética en 25 cultivares de arroz. El estudio se ha realizado en un campo en Stuttgart, Arkansas (EE.UU.), en un arrozal con concentraciones moderadas de arsénico en condiciones de anegación continua del campo (83). Las concentraciones del total de arsénico y especies de arsénico en el grano variaban ampliamente entre los distintos cultivares. La concentración y especiación del arsénico dependían mayoritariamente del genotipo, que suponía aproximadamente el 70% de la variación en el total de arsénico en el grano. Pero también el genotipo por año (17,1%) tuvo una importante contribución, así como los efectos del año (variación entre años) (3,5%) que posiblemente se vieron afectadas por las diferencias anuales en las condiciones medioambientales, como la temperatura y las características locales del suelo (83).

82. En un estudio de 10 cultivares de arroz en Japón en experimentos en tiesto con suelo con alto contenido de arsénico o en ensayos de campo con suelo con bajo contenido de arsénico, la variabilidad del total de arsénico y arsénico inorgánico en el grano y el ácido de dimetilarsénico entre los cultivares fue significativa estadísticamente, y la variabilidad del arsénico inorgánico fue menor que la del total de arsénico (86). Se investigó la diversidad genética en la acumulación de As y la especiación del As en los granos de arroz utilizando una colección mundial esencial de arroz (WRC) que constaba de 58 muestras cultivadas durante un período de 3 años, y en la concentración de As en el grano se encontró una diferencia de aproximadamente 3 veces aproximadamente entre el cultivar WRC con la concentración más baja y más alta. Las concentraciones del total de AS, As inorgánico y DMA se vieron muy afectadas por efectos de interacción del genotipo, el año y el año del genotipo. Entre las muestras WRC, se señalaron Basmati Local y Tima (tipo indica) como los cultivares que mostraban la concentraciones más bajas estables del total de As y As inorgánico (87). Sin embargo, los cultivares de arroz cultivados en tiestos con suelo con alto contenido de arsénico contenían más arsénico en los granos que los mismos cultivares cultivados en arrozales con suelo de bajo contenido de arsénico.

83. Recientemente, Norton et al. (2012) (82) han informado de un estudio en seis campos (uno en Bangladesh y uno en China, dos en Arkansas (EE.UU.) y dos en Texas (EE.UU.) en que se han comparado tratamientos anegados y sin anegar en 312 cultivares de arroz común genéticamente diferentes. Comprobaron que hay un margen entre 3-34 veces de la contaminación total de arsénico en el grano en cada campo con diferencias importantes en el arsénico en el grano en las cuatro subpoblaciones principales de arroz. Las variaciones genéticas en el arsénico en el grano en los distintos sitios fueron grandes y son comparables con las encontradas en muchos otros estudios (79, 80, 83, 84). Estos estudios indican que podían desarrollarse cultivares por selección con baja concentración de arsénico en el grano, si bien los efectos por año, ubicación y gestión de la anegación también fueron importantes estadísticamente, sugiriendo que las estrategias de selección deben tener en cuenta los factores medioambientales (82).

84. Por otra parte, en un estudio diferente de Norton et al. (79), al comparar más cultivares en un contexto medioambiental más amplio en los tres países (dos campos, cada uno en Bangladesh (76 cultivares), la India (89 cultivares) y China (84 cultivares)), la variación genética de la concentración de As en los granos era estable en dos sitios, tanto en Bangladesh como en la India, pero no en los dos sitios en China. La diferencia en la variación genética de la concentración de As en el grano puede deberse a fuentes similares de contaminación de arsénico entre los dos sitios en la India y Bangladesh, pero a fuentes diferentes en los sitios en China.

85. En el mismo estudio se utilizó también un subconjunto de 13 cultivares de los seis campos para evaluar la contribución del genotipo, el medio ambiente y la interacción genotipo \times medio ambiente con respecto al As en el grano. Los resultados indicaron que el factor más grande en la determinación de los niveles de arsénico en el grano era el medio ambiente (campos), seguido de la interacción genotipo \times medio ambiente y el genotipo (79).

86. Considerando el hecho que no sólo la fuente de contaminación de arsénico, sino también las prácticas de gestión del campo y otras propiedades del suelo, como el nivel básico de arsénico, pudieron producir la variación de arsénico en el grano, no es sorprendente que los distintos genotipos se comportaran diferentemente en distintos campos. Al igual que en los resultados de Norton et al. (80), el genotipo tuvo un efecto significativo en el porcentaje de arsénico inorgánico, pero la influencia medioambiental fue mayor (79). Estos resultados hacen hincapié en la importancia del impacto ambiental en el total de arsénico y su especiación en el grano de arroz.

87. Asimismo, Tuli et al. (2010) (84) estudiaron el efecto ambiental en el arsénico en los granos, en ensayos de campo de 90 cultivares en tres ubicaciones en Bengala Occidental (India). Pese a que los niveles totales de arsénico en suelos en tres sitios diferentes eran similares a unos 10 mg/kg, los niveles totales de arsénico del grano en las 90 variedades de arroz variaban de 0,079 a 2,70 mg/kg. El arsénico inorgánico en los granos también variaba ampliamente entre los cultivares. Ahmed et al. (2011) (85) investigaron también el efecto del genotipo, el medio ambiente y la interacción genotipo \times medio ambiente utilizando 38 cultivares de Bangladesh cultivados en diez estaciones científicas en diversas zonas ecológicas en Bangladesh. El medio ambiente supuso el 69% – 80% de la variabilidad observada en la concentración total de arsénico en el grano, mientras que el genotipo y la interacción genotipo \times medio ambiente supusieron sólo el 9% – 10% y el 10% – 21% de la variación, respectivamente.

88. Existe una posible relación entre el momento de la⁹ floración y las concentraciones de As en el grano, pero puede no concordar en todos los campos (y años) (82). Pillai et al. (83) documentaron una correlación positiva importante entre la concentración de DMA en el grano y el número de días para la despuntación⁹. También había una correlación positiva importante entre la concentración de arsénico inorgánico en el grano y los días para la despuntación en una temporada. Para explicar los mecanismos se necesitan otros estudios en que se relacione el momento de la floración y el tiempo para la despuntación con la concentración de arsénico en el grano.

89. Por otra parte, entre un subconjunto de 40 cultivares cultivados en Bangladesh y China, el arsénico inorgánico estaba muy en relación con el total de arsénico (82), lo cual indica que el arsénico inorgánico se puede utilizar como un marcador del total de arsénico en el grano de arroz, si bien la pendiente de regresión puede variar de región a región.

90. En resumen, estos resultados indican que en las concentraciones de As en el grano de arroz hay una gran diversidad genética y que la selección de cultivares que acumulan menos As en el grano es uno de los métodos prometedores para reducir el arsénico. Además de estudios en que se comparan cultivares diferentes, métodos QTL pueden ser apropiados para el desarrollo de nuevos cultivares con baja acumulación de arsénico a través de selección asistida por marcadores. Pero otros factores como el medio ambiente, la ubicación, gestión de la anegación, y la interacción genotipo - medio ambiente pueden influir en gran medida en la acumulación de arsénico en el grano. Por consiguiente, la selección para obtener bajas trazas de arsénico debe tener en cuenta factores medioambientales y los cultivares cultivados deben someterse a prueba ampliamente en condiciones agronómicas diferentes para identificar las condiciones óptimas bajo las cuales puede obtenerse una baja concentración de arsénico en el grano.

Sección 6.3 Medidas de procesado y cocción

- Efecto del procesado

91. Hay varios estudios que indican que el arsénico en el arroz se puede reducir mediante el pulido (molienda) del arroz moreno. Torres-Escribano et al. (88) encontraron una concentración más alta de arsénico en el arroz moreno en comparación con el arroz blanco, lo cual puede indicar que parte del arsénico está unido a los componentes de salvado. Narukawa et al. (89) prepararon harinas de arroz de materias de las series siguientes, 100% de arroz moreno, 90% (90% del grano restante, 10% de las capas exteriores eliminadas), 70% (30% eliminadas) y 50% (50% eliminadas) y analizaron el total de arsénico, el arsénico inorgánico y orgánico en cada harina y el total de arsénico en el salvado (10% de las capas exteriores eliminadas de arroz moreno). Los resultados mostraron que las concentraciones más altas del total de arsénico y arsénico inorgánico fueron encontradas en la harina de arroz moreno sin pulir y las concentraciones del total de arsénico y arsénico inorgánico en las otras tres harinas disminuyeron con el aumento del grado de pulido. La concentración del total de arsénico en el salvado fue mucho más elevada que la de la harina de arroz moreno (Cuadro 6). Sin embargo, las cantidades relativas de cada especie de arsénico en fracciones diferentes no fueron diferentes. Por consiguiente, el pulido del arroz moreno para obtener arroz blanco puede dar lugar a un descenso considerable de la concentración total de arsénico y arsénico inorgánico.

⁹ La despuntación es el momento en que la panícula empieza a asomar de la gluma. La despuntación puede durar entre 10 y 14 días debido a variaciones en los retoños en la misma planta y entre las plantas en el campo. Desde un punto de vista agronómico, la "fecha de despuntación" se define como el momento en que el 50 por ciento de las panículas han asomado al menos parcialmente de la gluma. La floración se refiere a los eventos entre la apertura y cierre de la espícula (flósculo) y dura entre 1 y 2 1/2 horas. Generalmente la floración empieza al aparecer la panícula o al día siguiente y por consiguiente se considera sinónimo de despuntación (74).

92. El laboratorio CFSA de China (Cuadro 7) documentó resultados similares (90). El contenido total de arsénico en un conjunto de muestras de arroz no pulido de regiones diferentes oscilaba entre 83-739 ng g⁻¹ (media = 255 ng g⁻¹), mientras que el contenido total de arsénico de un conjunto de muestras de arroz pulido oscilaba entre 33-437 ng g⁻¹ (media = 143 ng g⁻¹). La concentración de arsénico inorgánico de muestras de arroz no pulido oscilaba entre 71-567 ng g⁻¹ (media = 209 ng g⁻¹), mientras que la concentración de arsénico inorgánico de muestras de arroz pulido oscilaba entre 28-217 ng g⁻¹ (media = 108 ng g⁻¹). DMA variaba por debajo del límite de detección a 156 ng g⁻¹ en arroz sin pulir y por debajo del límite de detección a 128 ng g⁻¹ en arroz pulido. Todas las muestras tenían MMA por debajo del límite de detección excepto una muestra de arroz pulido de Jiangxi (China), con una concentración de MMA de 17 ng g⁻¹.

93. La reducción en el total de arsénico en el arroz pulido en comparación con el arroz sin pulir se debe principalmente a una reducción del arsénico inorgánico. El porcentaje de arsénico inorgánico fue más alto en el arroz sin pulir que en el arroz pulido, que fue similar al que documentaron Meharg et al. (91). El porcentaje de DMA fue más elevado en arroz pulido que en arroz sin pulir cuando la recuperación de arroz sin pulir y arroz pulido eran similares entre sí. La caída en arsénico inorgánico con el pulido fue generalmente mayor que la de arsénico orgánico.

- Efecto de la cocción

94. Hay una serie de estudios que se centran en cómo la cocción del arroz en agua contaminada afecta al contenido de arsénico en el arroz cocido. En un estudio (88), el proceso de cocción simuló uno de los procesos que se aplican normalmente en los hogares españoles: hervido en agua con una proporción inicial de arroz y agua de 1:4, hasta que se evapore todo el líquido. El agua de cocción fue adicionada con varias concentraciones de arsenato, entre 0,1 y 1 mg/L para imitar las concentraciones de arsénico que pueden encontrarse en el agua en zonas endémicas de arsénico. Tras la cocción, la concentración de arsénico inorgánico en las muestras analizadas de arroz variaba entre 0,428 µg g⁻¹dw (0,1 µg L⁻¹ en el agua de cocción) y 3,89 µg g⁻¹dw (1,0 µg mL⁻¹ en el agua de cocción) con una retención media en el arroz de 89±13% de arsénico del agua de cocción. Resultados comparables fueron documentados también por Ackerman et al. (92), que encontraron 89-105% de retención de arsénico del agua de cocción que se utilizó a una proporción de arroz y agua de 1:1 a 1:4. Se ha comprobado que cuando el agua de cocción estaba contaminada con arsénico, en el arroz cocido aumentaba la concentración del total de arsénico y arsénico inorgánico (93). Asimismo se ha comprobado que la cocción del arroz con agua contaminada con arsénico puede aumentar la concentración de arsénico de 0,14 mg/kg a 0,37 mg/kg (94, 95). Si bien los citados estudios se concentraron principalmente en la retención de arsénico por el arroz del agua contaminada, otras investigaciones han analizado los efectos de la cocción del arroz en agua sin contaminar. Sengupta et al. (2006) (96) analizaron los tres procedimientos principales de cocción del arroz que se siguen mundialmente. Utilizando agua con bajo contenido de arsénico (arsénico <0,003 mg/L), el método tradicional del subcontinente indio (lavar hasta aclarar; cocción en una proporción de arroz y agua de 1:6, eliminar el exceso de agua) eliminó hasta el 57% del arsénico del arroz sin cocer que contenía arsénico a 0,20-0,54 mg/kg. Aproximadamente la mitad del arsénico que se eliminó estaba asociada con el agua de lavado y la mitad se encontró en el agua eliminada. Con agua de bajo contenido en arsénico, el método actual de cocción del arroz sin lavar a una proporción de arroz y agua de 1:1,5-2,0 hasta que no quede agua no modificó el contenido de arsénico. El lavado preliminar hasta aclarar eliminó el 28% del arsénico en el arroz. Los resultados no fueron influidos por la fuente del agua (pozo entubado, pozo excavado, de estanque o lluvia), recipiente de cocción (aluminio, acero, vidrio o alfarería) o el peso absoluto del arroz o volumen de agua.

95. Raab et al. (97) investigaron sistemáticamente el total de arsénico y arsénico inorgánico en distintos tipos de arroz, como dos variedades de basmati, una integral y otra pulido de origen indio, que habían sido sometidas a varias formas de cocción en agua no contaminada. Se investigaron los efectos de la cocción aclarada, con bajo volumen de agua (porcentaje de arroz y agua 1:2,5) y con alto contenido de agua (porcentaje de arroz y agua 1:6), así como cocción al vapor. El aclarado fue efectivo para eliminar un 10% del total de arsénico y arsénico inorgánico del arroz basmati, pero menos efectivo en los otros tipos de arroz. La cocción del arroz en una gran cantidad de agua (agua: arroz 6:1) tuvo el mayor efecto en cuanto a la reducción de los niveles de arsénico en el arroz cocinado. En concreto, redujo en mayor medida el contenido de arsénico inorgánico en el 45% del arroz sin elaborar, cuando se combinó con lavado. Este estudio indica que el lavado y un alto volumen de agua de cocción no contaminada son efectivos para reducir el contenido de arsénico del arroz cocinado, especialmente el componente inorgánico. No obstante, es importante señalar que en algunos países el arroz es enriquecido, y que el lavado puede eliminar los nutrientes del enriquecimiento.

96. En resumen, los métodos de cocción y preparación pueden reducir los niveles de arsénico en los alimentos. Es importante utilizar agua que tenga bajos niveles de arsénico para cocinar y lavar el arroz (o preparar los alimentos en general). Lavar y utilizar un alto volumen de agua de cocción de bajo contenido en arsénico son efectivos para reducir el contenido de arsénico en el arroz cocinado, si se elimina el agua excesiva. Si el agua de cocción está contaminada con arsénico, puede producirse adsorción por el alimento, dando lugar a elevados niveles de arsénico. La cocción del arroz con agua contaminada con arsénico puede contribuir realmente incluso más a la exposición alimentaria total al arsénico del arroz que del arsénico presente en el arroz en sí. Puede ser necesario realizar más investigación para determinar si los diferentes procedimientos de cocción afectan al total de arsénico y especies de arsénico en el arroz, y cómo afectan.

Sección 7 Seguimiento de la efectividad de las medidas

97. Las medidas para reducir el arsénico en el arroz no deben seleccionarse solamente basándose en pruebas científicas que tienen en cuenta otros factores legítimos¹⁰ sino someterse también a un seguimiento a través de formas apropiadas para examinar su efectividad. Hay varias formas para realizar el seguimiento de la efectividad en función de las características de las medidas. Como las medidas examinadas en este documento de debate están clasificadas en tres tipos, es decir medidas aplicables en el origen, medidas agrícolas, y medidas de procesado y cocción, las formas para realizar el seguimiento de la efectividad se caracterizan como se indica a continuación.

- Para medidas aplicables en el origen

98. Tal como se ha señalado en el párrafo 34, las autoridades nacionales de control de los alimentos o piensos deben informar a las autoridades nacionales pertinentes, acerca de los problemas potenciales o reales de contaminación de los alimentos y alentarlas a tomar medidas preventivas adecuadas, en especial medidas con respecto a las fuentes antropogénicas. Como las medidas aplicables en el origen harán que a largo plazo los niveles de contaminación se reduzcan, las autoridades de control de alimentos o piensos deben vigilar continuamente las medidas, como el establecimiento de límites para restringir la emisión de arsénico en el medio ambiente y los resultados de supervisar los niveles de arsénico en el medio ambiente.

99. Si la contaminación de la tierra agrícola se limita a zonas pequeñas debido a la contaminación industrial, puede ser viable aplicar contramedidas como mejorar o sustituir el suelo¹¹. En ese caso, puede ser una buena práctica someter a seguimiento la concentración de arsénico en el suelo antes y después de adoptar las contramedidas. Por otra parte, si la tierra agrícola o las aguas subterráneas están ampliamente contaminadas por una fuente natural, fuente difusa o actividades anteriores, es necesario someter a amplio seguimiento las concentraciones de arsénico en el suelo o el agua de irrigación.

- Para las medidas agrícolas

100. Generalmente es más práctico y viable introducir medidas agrícolas para reducir la contaminación en el arroz por arsénico, especialmente en zonas contaminadas por fuentes naturales. Se debe examinar la efectividad de las medidas agrícolas en los campos de arrozales en las mismas regiones. Por lo general, los agricultores de arroz tardan mucho tiempo en adoptar ampliamente nuevos métodos agrícolas. Es importante formar a los agricultores indicando la necesidad de adoptar medidas para reducir el arsénico en el arroz y la efectividad de las medidas recomendadas.

101. Se espera que el nivel de arsénico en el arroz se reduzca una vez los agricultores hayan adoptado ampliamente medidas agrícolas. La efectividad de las medidas agrícolas debe ser sometida a seguimiento mediante datos de la presencia de arsénico en los granos de arroz.

102. Para examinar la capacidad de cada medida agrícola para reducir la contaminación de arsénico en el arroz, el cambio de las condiciones experimentales en los ensayos de campo puede proporcionar información conveniente para determinar si una medida se debe adoptar como una buena práctica agrícola. No obstante, hay muchas incertidumbres sobre la medida en que los agricultores pueden implementar las medidas.

- Para las medidas de procesado y cocción

103. Estudios que investiguen los niveles de As en el arroz después de llevar a la práctica medidas de procesado y cocción pueden proporcionar información conveniente sobre la efectividad de las medidas para reducir las concentraciones de As en el arroz. No obstante, tales estudios son insuficientes por sí mismos para estimar la efectividad de esas medidas en reducir las exposiciones alimentarias al arsénico.

Resumen y recomendaciones

-Resumen

104. A continuación se resume el debate sobre las medidas de reducción del arsénico en el arroz y someter a seguimiento su efectividad basándose en los artículos científicos de la sección 6 y 7:

Medidas aplicables en el origen

- (a) El Código de Prácticas sobre Medidas Aplicables en el Origen para Reducir la Contaminación de los Alimentos por Productos Químicos (CAC/RCP 49-2001) se puede utilizar en general como medidas aplicables en el origen para el arsénico en el arroz.
- (b) Se debe evitar el uso de suelo y agua de irrigación contaminados con niveles inusualmente altos de arsénico, si bien en los países en que la contaminación de arsénico en el suelo o el agua es obicua puede ser difícil. Si los suelos están altamente contaminados, puede no ser posible cultivar arroz con niveles de As inocuos.

¹⁰ Declaración de principios referente a la función que desempeña la ciencia en el proceso decisorio del Codex y la medida en que se tienen en cuenta otros factores (Apéndice al Manual de procedimiento de la Comisión del Codex Alimentarius).

¹¹ También se han realizado estudios con éxito en ensayos en tiestos de la capacidad de los helechos para fitorremediar el suelo contaminado con arsénico (98, 99).

- (c) Si deben desarrollarse medidas aplicables en el origen, se deben tener en cuenta las posibilidades técnicas o económicas, y el alcance específico de la contaminación del suelo y el agua por arsénico en cada región.
- (d) Desde un punto de vista de la seguridad alimentaria, puede haber dificultades para introducir medidas aplicables en el origen cuando la contaminación del suelo por arsénico es obicua en el país. Con todo, deben aplicarse todavía medidas aplicables en el origen siempre que sea posible, p.ej., evitando el uso de suelo y agua de irrigación muy contaminados con As.

- Uso de materias agrícolas

- (a) La mayoría de materias que contienen hierro reducen efectivamente los niveles de arsénico en el arroz y son relativamente económicas. Por tanto, pueden utilizarse con regularidad. Pero algunos resultados sugieren que las placas de hierro pueden actuar realmente como un depósito de arsénico. Este es un ámbito que requiere mayor investigación.
- (b) Los fosfatos reducen significativamente la adsorción de arsenito y arsenato en los óxidos e hidróxidos de hierro en el suelo, y pueden aumentar los niveles de arsénico en el agua capilar en los arrozales. La capacidad de los fosfatos para competir con la absorción de arsenato no es un factor importante que afecte a los niveles de arsénico en el arroz, porque el arsenito es la forma primaria de arsénico absorbida por las plantas de arroz. Los países pueden necesitar sopesar las ventajas de utilizar fertilizantes de fosfato frente a cualquier riesgo por el aumento de los niveles de arsénico en el arroz.
- (c) Si en el suelo del arrozal hay insuficiencia de silicatos, el uso de silicatos puede reducir las concentraciones de arsénico en el arroz evitando la absorción y el transporte de arsenito. Sin embargo, se necesita más investigación para averiguar el posible uso de utilizar silicatos en condiciones diferentes en el campo.
- (d) La materia orgánica puede aumentar la liberación de arsénico de la fase sólida del suelo al agua capilar en el suelo del arrozal. La materia orgánica puede estimular también la metilación del arsénico inducida por microbios, llevando potencialmente a un aumento de las especies de arsénico metilado en las plantas de arroz. Este es un ámbito que requiere mayor investigación.
- (e) Se debe evitar la fertilización orgánica inmediatamente después de la floración, porque puede ser liberada gran parte del As adsorbido en la placa de hierro tras la aplicación de materia orgánica y dar lugar a absorción y transporte de As al grano.
- (f) Existen pocos experimentos en los campos de arrozales, por lo que las medidas de control basadas en experimentos de laboratorio deben someterse a prueba en los campos de cada región para garantizar la validez de los resultados.

Control del agua de irrigación

- (a) Si es posible, el suelo del arrozal debe mantenerse en condiciones oxidativas (no anegado) a partir de varias semanas antes y varias semanas después de la despuntación o la floración del arroz para reducir las concentraciones de arsénico en el grano del arroz.
- (b) Se debe evitar especialmente sumergir el suelo del arrozal después de la despuntación o floración de las espigas de arroz porque si en el suelo del arrozal se reduce el Eh después de la despuntación o floración se provoca el aumento de las concentraciones de arsénico inorgánico en el grano de arroz.
- (c) Puede ser necesario modificar los controles de la anegación cuando el cadmio sea también un contaminante con el arsénico. Es importante observar que las condiciones anaerobias (es decir anegación) favorecen la absorción de arsénico, mientras que las condiciones aerobias (drenaje) favorecen la absorción de cadmio. Por tanto, cuando un arrozal está contaminado con arsénico y cadmio, puede ser necesario combinar el control del agua de irrigación con el uso de materias agrícolas y las selecciones varietales.
- (d) El control de la anegación del agua de irrigación también tiene un impacto en la presión de enfermedades y plagas, así como en el rendimiento del cultivo en algunas circunstancias agrícolas. Por consiguiente, la viabilidad de controlar el agua de irrigación como un medio para reducir la absorción de arsénico variará en cada país.

Selección de cultivares

- (a) Se pueden seleccionar cultivares de bajo contenido en arsénico, si las condiciones de cultivo lo permiten porque la diversidad genética en la acumulación de arsénico en el grano de arroz es considerable. Es muy importante combinar alto rendimiento bajo producción aerobia manteniendo la calidad y la baja acumulación inherente de arsénico en los mismos cultivares.
- (b) La selección adecuada de cultivares de bajo contenido de arsénico debe incluir consideración detenida de las condiciones medioambientales, como la variación por año, ubicación y gestión de la anegación e interacciones entre genotipo y medio ambiente.
- (c) La selección para obtener bajas trazas de arsénico debe tener en cuenta factores medioambientales y los cultivares seleccionados deben someterse a prueba en condiciones agronómicas diferentes para identificar las condiciones óptimas bajo las cuales puede obtenerse una baja concentración de arsénico en el grano.

- Procesado y cocción

- (a) El arroz blanco tiene concentraciones más bajas de arsénico que el arroz moreno. Las autoridades nacionales podrían considerar aconsejar a los consumidores que elijan arroz blanco para reducir la exposición alimentaria al arsénico. El grano integral es una fuente de nutrientes, como hierro, magnesio, selenio, vitaminas B y fibra alimentaria, y la ingesta de grano integral puede reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, sobrepeso, y diabetes tipo 2 (USDA/HHS, 2010); por tanto cada país debe sopesar el riesgo y beneficio de aconsejar el consumo de grano integral frente a arroz blanco.
- (b) Los métodos de cocción y preparación pueden reducir los niveles de arsénico en los alimentos. Para cocinar y lavar el arroz es importante utilizar agua que tenga bajos niveles de arsénico.
- (c) El lavado y la utilización de un alto volumen de agua no contaminada para la cocción seguido de la eliminación del exceso de agua de cocción son efectivos para reducir el contenido de arsénico del arroz cocinado. No obstante, en algunos países el arroz es enriquecido con nutrientes y el lavado puede reducir el enriquecimiento de nutrientes, por lo que las ventajas del lavado deben sopesarse frente a las ventajas del enriquecimiento.

Seguimiento de la efectividad de las medidas

- (a) La concentración de arsénico en los arrozales contaminados, y el arroz y sus productos deben someterse a seguimiento antes y después de poner en prácticas contramedidas. Si la tierra agrícola o las aguas subterráneas están ampliamente contaminadas por fuentes naturales, fuentes difusas o actividades anteriores, es necesario someter a seguimiento las concentraciones de arsénico en el suelo o el agua de irrigación.
- (b) La efectividad de las medidas agrícolas debe ser sometida a seguimiento mediante datos de la presencia de arsénico en los granos de arroz.
- (c) Ensayos de campo pueden proporcionar información conveniente sobre la efectividad de las prácticas agrícolas para reducir el arsénico. No obstante, hay grandes incertidumbres sobre la medida en que los agricultores pueden implementar las medidas. Por tanto, una importante medida a abordar es la formación de los agricultores.

- Recomendaciones

105. Con base en el resumen, el GTe recomienda que:

- (a) El CCCF decida si se debe desarrollar o no un CdP para prevenir y reducir el arsénico en el arroz, teniendo en cuenta su necesidad, lagunas de datos, etc.
- (b) Si el CCCF decide desarrollar un CoP,
 - i. El Comité debe convenir lo siguiente:
 - El CdP debe basarse en evidencia científica y la información disponible, incluyendo datos de experimentos de campo; y
 - Se deben considerar la viabilidad y las diferencias regionales en la producción agrícola.
 - ii. El comité debe someter a debate las cuestiones siguientes a fin de establecer su ámbito de aplicación y contenido:
 - Medidas aplicables en el origen para la contaminación de arsénico
 - si las medidas aplicables en el origen existentes aprobadas por el Codex son aplicables al arsénico desde el punto de vista de la viabilidad técnica y económica, incluyendo la seguridad alimentaria;
 - si procede, someter también a debate si es necesario incluir cuestiones específicas para la aplicación de estas medidas al arsénico (por ejemplo, diferencias regionales en las fuentes naturales o antropogénicas de la contaminación del suelo, el agua y el aire por arsénico, etc.); y
 - si hay medidas específicas para el arsénico.
 - Prácticas agrícolas
 - si es viable incluir prácticas agrícolas en un CdP y cómo (p.ej., como una nota explicativa).
 - Prácticas de procesado y cocción
 - si es conveniente incluir prácticas de procesado y cocción en un CdP;
 - si es conveniente, si el efecto negativo de reducir la nutrición también debe tenerse en cuenta; o
 - si no es conveniente, si hay otros modos, como orientación para los consumidores.

- (c) Si el CCCF decide no desarrollar un CdP,
- i. El Comité debe someter a debate si puede desarrollar “[principios / política / otro título apropiado que se proponga]¹² para desarrollar un CdP* como alternativa. Su objeto y contenido son los siguientes:
- La intención es animar a los miembros a realizar investigación y estudios para reducir el contenido de arsénico en el arroz a fin de obtener la necesidad, información científica para desarrollar un CdP en el Codex y en los territorios de los miembros; y
 - Los [principios / política / otro título apropiado que se proponga] contendrán políticas y consideraciones necesarias sobre las posibles medidas para reducir la contaminación de arsénico en el arroz e incluirán una lista de la investigación y estudios necesarios. Puede contener medidas, cuando se disponga de suficiente información para corroborar su efectividad en la reducción del arsénico en el arroz, y las medidas aplicables en el origen como las que evitan la contaminación del suelo, el agua y el aire por arsénico.
- (d) Se anima a los miembros del CCCF a que lleven a cabo investigación y estudios sobre lo siguiente:
- Presencia en la principales regiones productoras de arroz;
 - Efectividad de las medidas agrícolas en las condiciones de campo;
 - La función de la placa de hierro en las raíces para la adsorción de arsénico y liberación subsiguiente durante la producción de raíces y la cosecha;
 - La función de los silicatos en el transporte de arsénico a las raíces;
 - El impacto de las impurezas de las materias agrícolas en la solubilidad del arsénico y disolución en el suelo;
 - Translocación del arsénico absorbido a los brotes y granos;
 - Desarrollo de cultivares de arroz con grano de bajo contenido de arsénico, y proporcionalmente más arsénico orgánico mediante el uso de análisis QTL y selección asistida por marcadores.
 - Concentración y proporción de arsénico orgánico e inorgánico;
 - Condiciones medioambientales y de cultivo que afectan a las concentraciones y proporciones de arsénico orgánico e inorgánico;
 - Efecto de prácticas de producción sin anegación y con anegación parcial en el arsénico inorgánico y el cadmio en el grano de arroz.

¹² En el debate en el CCCF debe determinarse un título apropiado.

Cuadro 1: análisis químico de ferrihidrito, goethita, hematita con columna de arena comparando condiciones al inicio y término del experimento (41)

Tipo de (hidr)óxido de hierro	Especies de arsénico	Área de la superficie [m ² g ⁻¹]	Contenido de hierro [mmol kg ⁻¹ arena]	Carga [mmol-As kg ⁻¹ arena]	Arsénico inicial [μmol]	Arsénico deadsorbido [μmol]	Arsénico en efluente 1 día después [μmol L ⁻¹]	Arsénico en efluente 2 días después [μmol L ⁻¹]	Arsénico en efluente 10 días después [μmol L ⁻¹]
Ferrihidrito	Arsenito	2,60	92,2	3,01	60,3	0,9	2	4	2
		2,60	92,2	14,99	299,9	193,4	470	610	240
	Arsenato	3,26	114,6	4,91	98,2	5,8	8	28	4
		3,26	114,6	5,92	118,4	15,3	28	74	8
Goethita	Arsenito	1,06	132,5	1,23	24,6	10,2	29	35	11
		1,06	132,5	3,02	60,2	37,8	530	360	20
	Arsenato	1,06	132,5	1,46	29,1	3,3	15	15	5
		1,06	132,5	2,12	42,4	14,4	180	80	10
Hematita	Arsenito	0,37	137,0	0,20	3,9	2,9	10,4	12,4	3,2
		0,37	137,0	0,57	11,1	8,8	220	80	5
	Arsenato	0,37	137,0	0,33	6,8	4,3	70	25	5
		0,37	137,0	0,47	8,9	7,6	285	30	5

Las cifras han sido tomadas de los gráficos de la Figura 1 del documento.

Todos los tipos de arena recubierta con hidróxido de hierro

Cuadro 2: efectos de materias que contienen hierro y fosfato en la absorción de arsénico en el grano y paja de arroz (29)

(a) resultados del estudio

Cantidad de aditivo (mg/kg)	Arsénico ($\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0	0	0	0	15	15	15	15	30	30	30	30
	Hierro ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50
	Fosfato (KH_2PO_4)	0	0	50	50	0	0	50	50	0	0	50	50
Conc. total de arsénico en el grano (mg/kg)		0,197 e	0,194 e	0,208 e	0,215 e	0,564 c	0,371 d	0,619 bc	0,611 bc	0,636 b	0,615 bc	0,708 a	n.a.*
Conc. total de arsénico en la paja (mg/kg)		0,301 e	0,295 e	0,304 e	0,313 e	3,24 d	3,75 d	4,70 c	5,29 b	5,77 b	5,47 b	6,21 a	6,14 a
Rendimiento del grano (g/tiesto)		46,8 b	47,8 ab	48,9 a	47,8 ab	31,1 c	41,7 b	20,9 e	41,7 b	9,1 f	9,7 f	3,1 g	0
Hierro extraíble con oxalato de amonio de placa de óxido de hierro de raíces de arroz (mg/kg)		5690 bc	6310 a	4810 de	5130 d	5120 d	5390 cd	4790 de	4970 de	4980 de	6060 ab	4520 e	5130 d
Arsénico extraíble con oxalato de amonio de placa de óxido de hierro de raíces de arroz (mg/kg)		18,9 h	15,2 h	18,7 h	18,6 h	269 e	185 g	226 f	185 fg	639 a	503 b	427 c	339 d

Los valores medios de un renglón que tienen la misma letra no difieren significativamente en el nivel de 5% en la prueba de rangos múltiples de Duncan.

*n.a. significa "no analizado"

(b) condición del estudio

Características del suelo	Textura del suelo – SiL, pH - 6,5, C/N = 9,3, total As - 4,1 mg/kg, total óxido de hierro suelo – 7300 mg Fe/kg
Gestión del agua	Los tiestos se regaron con regularidad para mantener 3-4 cm de agua en cada tiesto.

Cuadro 3: efecto del cultivo del arroz en condiciones de anegación y aerobias en las concentraciones de arsénico en el grano y la paja de arroz

Estudio	Concentración total de arsénico				Rendimiento del grano (unidad)		
	Suelo (mg/kg base seca)	Grano (mg/kg)		Paja (mg/kg)		Anegación	Aerobia
		Anegación	Aerobia	Anegación	Aerobia		
Duxbury & Panauallah (2007)(66) Estudio de campo; Tasa de arsénico en campos de agricultores de Bangladesh de 20 años de uso de agua de irrigación de pozos entubados poco profundos "Aerobia" significa que el arroz se cultivó en lechos elevados.						(kg/ha)	
	11,6	0,54	0,26	7,3	1,1	8920	7770
	26,3	0,53	0,28	9,7	1,2	8110	8240
	39,5	0,38	0,34	9,9	3,2	6230	6970
	57,6	0,34	0,36	11,5	3,9	2990	5210
Xu et al. (2008)(65) Experimento de tiesto en invernadero; Arsénico (arsenito y arsenato) añadido. "Aerobio" significa 70% de la capacidad de mantenimiento de agua del suelo	Control 15,1	1,0	0,09	13	1	(g/tiesto)	
	+As ^{III} 15,1+10	2,5	0,18	26	3	8,0	9,2
	+As ^V 15,1+10	2,2	0,15	30	2	6,0	8,0
						6,2	10,2
Xie & Huang (1998)(42) sitio contaminado con arsénico; "Aerobio" significa manteniendo condiciones de humedad después de unos días de anegación, Eh~260 mV.	Control 68	0,65	0,49	48 (hoja panicular)	18 (hoja panicular)	(kg/ha)	
						5500	6600

Cuadro 4: efectos del control del agua de irrigación entre la condición de anegación y drenaje en la concentración de arsénico en el grano y paja de arsénico

(a) Resultados del estudio			Conc. de As en condiciones diferentes de agua de irrigación							
T. Arao et al (2009)(73)	Conc. de As en el suelo	Muestra/analito	F1 (mg/kg)	F2 (mg/kg)	PF1 (mg/kg)	PF2 (mg/kg)	PF3 (mg/kg)	Ae1 (mg/kg)	Ae2 (mg/kg)	
	Suelo A 25 mg/kg (peso seco)	Grano, As inorgánico	0,45	0,42	0,22	0,32	0,49	0,11	0,12	
		Grano, total As	0,95	0,92	0,30	0,36	0,55	0,11	0,10	
		Porcentaje de As inorgánico/total As	0,47	0,46	0,73	0,89	0,89	1,0	1,2	
		Paja, total As	27,3	29,5	15,9	11,7	18,4	1,8	1,1	
	Suelo B 48 mg/kg (peso seco)	Grano, As inorgánico	0,35	0,30	0,15	0,36	0,39	0,11	0,10	
		Grano, total As	1,7	1,7	0,59	0,60	1,26	0,17	0,14	
		Porcentaje de As inorgánico/total As	0,21	0,18	0,25	0,60	0,31	0,64	0,71	
		Paja, total As	26,2	26,7	17,0	18,1	23,2	5,0	0,9	
	R. Y. Li et al (2009)(49)	Conc. de As en el suelo	Muestra/analito	F (mg/kg)		PF1 (mg/kg)	PF2 (mg/kg)	Ae (mg/kg)		
		11,6 mg/kg (peso seco)	Grano, As inorgánico	0,58		0,42	0,3	0,1		
			Grano, total As	1,3		0,63	0,28	0,07		
Porcentaje de As inorgánico/total As			0,45		0,67	1,1	1,4			
Paja, total As			23		13	4,8	0,5			

Las cifras han sido tomadas de los gráficos de barras en la Figura 2 del documento.

(b) Condiciones del estudio	Control del agua de irrigación en los experimentos
<p>T. Arao et al (2009)</p> <p>Experimentos de tiesto en invernadero;</p> <p>Condiciones del suelo:</p> <p>Suelo A, 25 mg/kg total As, 0,56 mg/kg total Cd, 1,6% total C, 0,15% total N, pH 5,6;</p> <p>Suelo A, 48 mg/kg total As, 0,66 mg/kg total Cd, 3,4% total C, 0,32% total N, pH 5,5;</p> <p>Medición del Eh, agua del suelo tomada mediante una sonda para agua subterránea a una profundidad de 0,1 m en cada tiesto.</p> <p>Registros de cultivo de arroz:</p> <p>Trasplante a tiesto (14 de mayo),</p> <p>Despuntación del arroz (1-6 de agosto),</p>	<p>7 controles del agua de irrigación (el día de despuntación es el comienzo del último día de despuntación en cada tiesto.)</p> <p><u>[Condiciones de anegación]</u></p> <p><u>F1</u>: anegación durante todo el período de cultivo.</p> <p><u>F2</u>: anegación durante el trasplante hasta 3 semanas después de la despuntación.</p> <p><u>[Condiciones de anegación parcial]</u></p> <p><u>PF1</u>: anegación desde el trasplante hasta la despuntación.</p> <p><u>PF2</u>: anegación desde el trasplante hasta 3 semanas antes de la despuntación y desde la despuntación hasta 3 semanas después de la despuntación.</p> <p><u>PF3</u>: anegación desde el trasplante durante 2 semanas y desde 3 semanas antes de la despuntación hasta 3 semanas después de la despuntación.</p> <p><u>[Condiciones aerobias]</u></p> <p><u>Ae1</u>: anegación desde el trasplante hasta 3 semanas antes de la despuntación.</p> <p><u>Ae2</u>: anegación desde el trasplante durante 2 semanas.</p>
<p>R. Y. Li et al (2009)</p> <p>Experimentos en tiesto;</p> <p>Condición del suelo, 11,6 mg/kg total As, 1,42% total C, 0,13% total N, pH 5,2, arcilloso limoso;</p> <p>Medición del Eh, insertando el electrodo a aproximadamente 0,01 m por debajo de la superficie del suelo.</p>	<p>4 controles del agua de irrigación:</p> <p><u>[Condiciones de anegación]</u></p> <p><u>E</u>: anegación durante todo el período de cultivo del arroz.</p> <p><u>[Condiciones de anegación parcial]</u></p> <p><u>PF1</u>: anegación desde el trasplante hasta la floración;</p> <p><u>PF2</u>: anegación después de la floración; y</p> <p><u>[Condiciones aerobias]</u></p> <p><u>Ae</u>: anegación durante todo el período de cultivo del arroz.</p>

Cuadro 5: diferencias varietales de la contaminación de arsénico en el arroz

(a) Resultados del estudio

N.º	Conc. de arsénico en el suelo o solución del suelo		Cultivar		Contaminación de arsénico en el arroz									
			Característica genética (Japonica o Indica)	número de cultivares analizados	analito (Total As o As inorgánico)	conc. en grano			conc. en paja					
						muestra	mín (mg/kg)	media (mg/kg)	máx. (mg/kg)	mín (mg/kg)	media (mg/kg)	máx. (mg/kg)		
1	total As 6,44±0,24 mg/kg en el suelo con adición de arsenito sódico en algún nivel	Control		5	total-As	marrón	0,24	0,28	0,31	5,8	7,0	7,8		
		pulido				0,14	0,18	0,23						
		con 10 mg-As/kg				5	total-As	marrón	0,31	0,51	0,53	19	20	21
								pulido	0,28	0,33	0,42			
		con 20 mg-As/kg				5	total-As	marrón	0,38	0,61	0,67	25	27	30
								pulido	0,32	0,49	0,58			
		con 30 mg-As/kg				5	total-As	marrón	0,47	0,59	0,75	49	61	72
								pulido	0,43	0,54	0,65			
2-1	As inorgánico 3,0 µg/L en solución de suelo	Japonica		10*	total-As	marrón	0,11	0,14	0,17					
					As inorgánico		0,08	0,11	0,13					
2-2	As inorgánico 63,7 µg/L y DMA 20,5 µg/L en solución del suelo	Japonica		10*	total-As	marrón	1,9	2,5	3,1					
					As inorgánico		0,14	0,20	0,24					
3-1	29,6±7,2 mg/kg en suelo y 198±31 µg/L en agua de pozo entubado			72	total-As	marrón	0,16	0,39	0,74					
3-2	10,3±2,2 mg/kg en suelo y 331±13 µg/L en agua de pozo entubado			76	total-As	marrón	0,07	0,17	0,28					

3-3	17,9±4,0 mg/kg en suelo y 131±8,8 µg/L en agua de pozo entubado		80	total-As	marrón	0,11	0,36	0,84			
3-4	6,3±1,3 mg/kg en suelo y 14,9±4,1 µg/L en agua de pozo entubado		79	total-As	marrón	0,05	0,27	0,73			
3-5	65,6±2,5 mg/kg en suelo y 602±314 µg/L en agua de pozo entubado		80	total-As	marrón	0,27	0,41	0,75			
3-6	64,6±4,7 mg/kg en suelo y 218±86 µg/L en agua de pozo entubado		77	total-As	marrón	0,37	0,57	0,85			
4	Total-As 13,8 mg/kg en suelo con 5 veces 600 ml de una solución de 0,4 mg-As L ⁻¹ (Na ₃ AsO ₄ · 12H ₂ O)		6	As inorgánico	marrón	0,15	0,22	0,35			
				total-As	marrón	0,32	0,35	0,69	11,3	19,2	14,2
5-1	Total As 18,3±1,2 µg en suelo	Japonica Indica	3	total-As	marrón	0,28**	0,40**	0,56**			
5-2	Total As 18,3±1,2 µg en suelo	Japonica Indica	3	total-As	marrón	0,46**	1,32**	1,48**			
5-3	Total As 5,0±0,3 µg en suelo	Japonica Indica	3	total-As	marrón	0,10**	0,16**	0,18**			
5-4	Total As 5,0±0,3 µg en suelo	Japonica Indica	3	total-As	marrón	0,36**	0,44**	0,54**			
6	Total As 1,4 mg/kg en suelo (extraído con 1M-HCl)	Japonica Indica	58	total-As	marrón						
				2009		0,08	0,19	0,33			
				2008		0,03	0,10	0,18			
				2007		0,08	0,18	0,30			
				As inorgánico	marrón						
				2009		0,06	0,15	0,27			
2008		0,01	0,05	0,16							
2007		0,05	0,11	0,24							

7		Japonica Indica	8	total-As	pulido	0,24	0,48	0,55			
8-1	As 5,9 mg/kg en suelo	Japonica(8) Indica(13)	21	total-As 2005 2004	pulido	0,27 0,19	0,48 0,42	1,83 0,86			
8-2	As 5,9 mg/kg en suelo	Japonica(3) Indica(7)	10	total-As 2007 2004	pulido	0,27 0,27	0,38 0,46	0,63 0,60			
				As inorgánico 2007 2004	pulido	0,09 0,09	0,13 0,12	0,15 0,15			
9-1	As 14±0,3 mg/kg	Japonica Indica	312		marrón	0,19	0,44	0,90			
9-2	As 65±2 mg/kg	Japonica Indica	295		marrón	0,36	0,66	1,27			
9-3	As 5±1 mg/kg (2007) 4±2 mg/kg (2006)	Japonica Indica	352 346	2007 2006	marrón	0,03 0,10	0,21 0,36	1,04 0,99			
9-4	As 3±1 mg/kg	Japonica Indica	377		marrón	0,17	0,62	1,68			
9-5	As 2±0,2 mg/kg	Japonica Indica	374		marrón	0,01	0,04	0,13			

* 9 cultivares no glutinosos y 1 cultivar glutinoso

** Las cifras han sido tomadas de los gráficos de barras en la Figura 1 del documento.

(b) Condiciones del estudio

N.º	Lugar de ensayo		Características del suelo					Gestión del agua (Variaciones del Eh en períodos de despuntación o floración)	Autor, años
	País o región	tiesto o campo	tipos de suelo	textura del suelo*	pH	C/N	Otros		
1	Bangladesh	Tiesto (invernadero)		SiCL	7,4			En todo el período de cultivo se mantuvieron 3-4 cm de agua en el suelo.	• M. Azizur Rahman et al. (2007) (100)
2-1	Japón	Campo	Fluvisoles		5,9	12		Se aplicó irrigación completa hasta la cosecha del grano tras drenaje a mitad de temporada.	• M. Kuramata et al. (2011) (86)
2-2	Japón	Tiesto (invernadero)	Fluvisoles		6,5	10		Se aplicó irrigación completa hasta la cosecha del grano.	
3-1	Faridpur (Bangladesh)	Campo		SiL	8,1	14		condición de anegación continua	• G. J. Norton et al. (2009) (79, 80)
3-2	Sonargaon (Bangladesh)	Campo		SiCL	7,1	10		ciclos húmedos-secos alternativos	
3-3	De Ganga (India)	Campo						condición de anegación continua	
3-4	Nonaghata (India)	Campo						condición de anegación continua	
3-5	Chenzhou (China)	Campo							
3-6	Qiyang (China)	Campo							
4	China	Tiesto (invernadero)		Marga	6,49			condición de anegación (una capa de agua de unos 2-3 cm sobre la superficie del suelo)	• W. J. Liu et al. (2006) (101)
5-1	EE.UU.	Campo	lodo arcilloso Dewitt	SiCL				condición saturada (mantenimiento de la humedad del suelo en la capacidad del campo o sobre su capacidad)	• B. Hua et al. (2011) (102)

5-2	EE.UU.	Campo	lodo arcilloso Dewitt	SiCL				condición de anegación desde la quinta etapa aproximadamente hasta la madurez completa	
5-3	EE.UU.	Campo	lodo arcilloso Dewitt	SiCL	5,9			Condición saturada (mantenimiento de la humedad del suelo en la capacidad del campo o sobre su capacidad)	
5-4	EE.UU.	Campo	lodo arcilloso Dewitt	SiCL	5,9			Condición de anegación desde la quinta etapa aproximadamente hasta la madurez completa	
6	Japón	Campo	Suelo gris en tierras bajas		5,9	12		Condición de anegación excepto drenaje a mediados de verano a principios de julio	• Kuramata et al. (2013) (87)
7	China	Campo							• X-L. Ren et al. (2006) (103)
8-1	EE.UU.	Campo	lodo arcilloso Dewitt		5,9			Condición de anegación hasta 1 semana antes de la cosecha	• T. R. Pillai et al. (2010) (83)
8-2	EE.UU.	Campo	lodo arcilloso Dewitt		5,9			Condición de anegación hasta 1 semana antes de la cosecha	
9-1	Bangladesh	Campo			8,2			Condición de anegación hasta que una mayoría de los cultivos floreciera y secado del campo hasta la cosecha.	• G. J. Norton et al. (2012) (82)
9-2	China	Campo			6,3			Condición de anegación hasta que una mayoría de los cultivos floreciera y secado del campo hasta la cosecha.	
9-3	Arkansas (EE.UU.)	Campo	lodo arcilloso Dewitt		5,5 (2007)			Se aplicó una anegación en la quinta fase y drenaje 15-20 días después de que florecieran todos los cultivos. Seguidamente secado del campo hasta la cosecha.	
9-4	Texas (EE.UU.)	Campo	arcilla League		5,5			Riego por desbordamiento hasta que las plantas alcanzaran una altura media de 18 cm y después condición de anegación.	
9-5	Texas (EE.UU.)	Campo	arcilla League		5,5			Se prosiguió riego por desbordamiento para mantener la humedad de la raíz pero no saturada.	

* Las abreviaturas significan lo siguiente: "SiCL", arcilloso limoso; "SiL" lodo arcilloso.

Cuadro 6: concentraciones del total de A y especies de As en el arroz con distintos grados de pulido^a (89)

DP%	Concentraciones (mg/Kg)						ext. ratio%
	As(III)	As(V)	i-As	DMAA	sum	Total As	
100	0,145	0,011	0,156	0,006	0,161	0,173	93,3
90	0,089	0,003	0,092	0,005	0,097	0,107	90,0
70	0,064	0,002	0,066	0,005	0,071	0,079	89,5
50	0,051	0,001	0,052	0,001	0,056	0,063	89,6
salvado						0,725	

^a DP%, grado de pulido; 100, salvado de arroz (no pulido); 90, molienda 10% de las capas externas del arroz moreno (10% pulido); 70, 30% pulido; 50, 50% pulido; salvado, 10% de las capas externas molidas del arroz moreno; i-As, suma de As(III) y As(V); sum, suma de todas las especies de As; ext. ratio, porcentaje de extracción (suma/total As * 100)

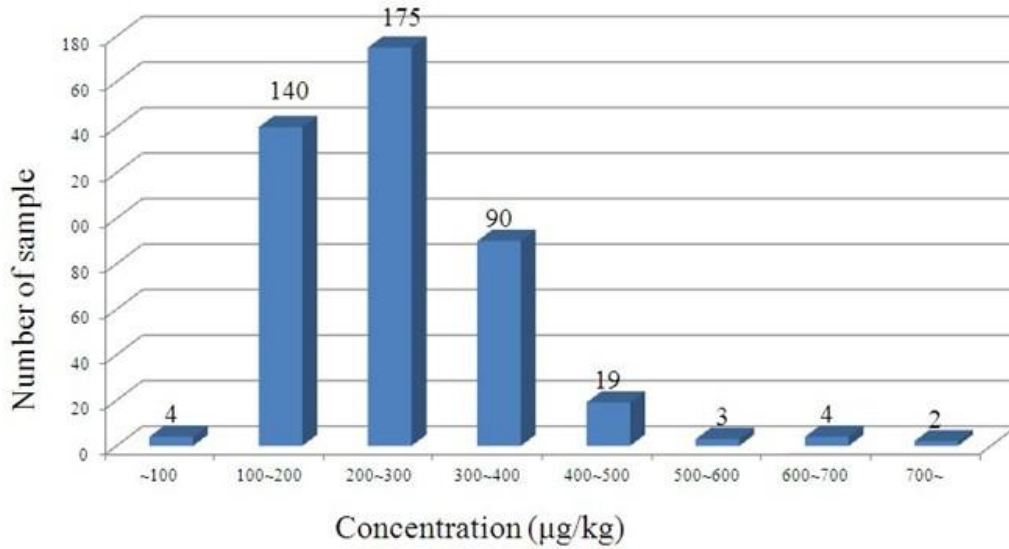
Cuadro 7: concentraciones del total de As y especies de As en arroz sin pulir y pulido de distintas provincias de China

fuelle del arroz	fracción del grano	DMA (µg/kg)	MMA (µg/kg)	Arsenito+ arsenato (µg/kg)	suma de especies (µg/kg)	total compilación As (µg/kg)	% As orgánico	% As inorgánico	% eficiencia de extracción
Fujian	arroz sin pulir	16	-	120	136	147	11	82	93
	arroz pulido	13	-	108	122	142	9	76	85
Chongqing	arroz sin pulir	26	-	133	158	184	14	72	86
	arroz pulido	22	2	131	155	171	14	77	91
Guangdong	arroz sin pulir	19	-	169	188	202	9	84	93
	arroz pulido	16	-	131	147	161	10	81	91
Henan	arroz sin pulir	51	-	153	204	216	24	71	94
	arroz pulido	23	-	121	145	185	12	65	78
Zhejiang	arroz sin pulir	59	-	195	255	277	21	70	92
	arroz pulido	32	-	120	153	190	17	63	81
Liaoning	arroz sin pulir	30	-	154	187	199	15	77	94
	arroz pulido	17	-	109	128	173	10	63	74
Jiangxi	arroz sin pulir	42	-	247	290	309	14	80	94
	arroz pulido	24	-	135	160	175	14	77	91
Jiangsu	arroz sin pulir	23	-	155	178	187	12	83	95
	arroz pulido	19	-	66	85	90	21	73	94
Sichuan	arroz sin pulir	22	-	183	206	218	10	84	94
	arroz pulido	15	-	82	97	103	15	80	94
Hunan	arroz sin pulir	23	-	265	288	308	7	86	94
	arroz pulido	17	-	107	24	142	12	75	87

Hubei	arroz sin pulir	32	-	203	235	246	13	83	96
	arroz pulido	25	-	106	131	137	18	77	96
Guangxi	arroz sin pulir	28	-	260	289	302	9	86	96
	arroz pulido	26	-	118	144	151	17	78	95
Yunnan	arroz sin pulir	20	-	175	195	200	10	88	98
	arroz pulido	15	-	65	81	85	18	76	95
Anhui	arroz sin pulir	30	-	225	255	263	11	86	97
	arroz pulido	26	-	140	166	178	14	78	93
Jilin	arroz sin pulir	50	-	288	377	426	12	68	88
	arroz pulido	28	-	115	143	152	18	75	94

“fuente del arroz”: muestra la ubicación original de las muestras de arroz recogidas. “% eficiencia de extracción”: muestra la concentración total de arsénico en la solución de extracción de la muestra de arroz como el porcentaje de la concentración total de arsénico de la muestra de arroz.

Sample number of each total As concentration range in brown rice



Sample number of each total As concentration range in white rice

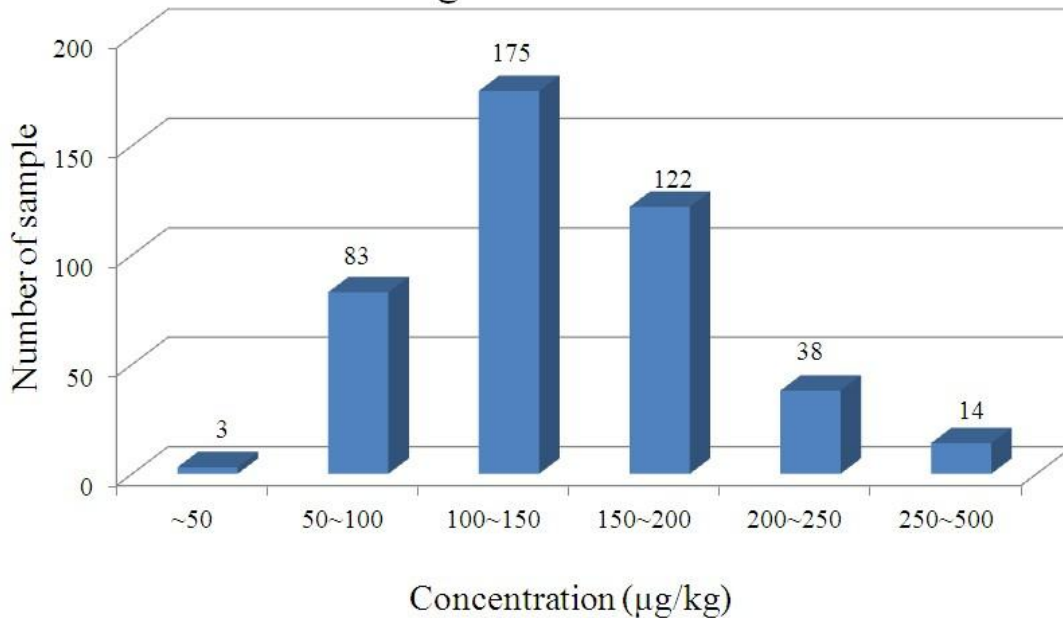


Figura 3: La distribución del número de muestras de cada concentración en arroz moreno y arroz blanco

Sample number of each total As concentration range in brown rice = Número de muestras de cada una de las gama de concentraciones del total de As en arroz moreno

Sample number of each total As concentration range in white rice = Número de muestras de cada una de las gamas de concentraciones del total de As en arroz blanco

Number of sample = número de muestras

Concentration = concentración

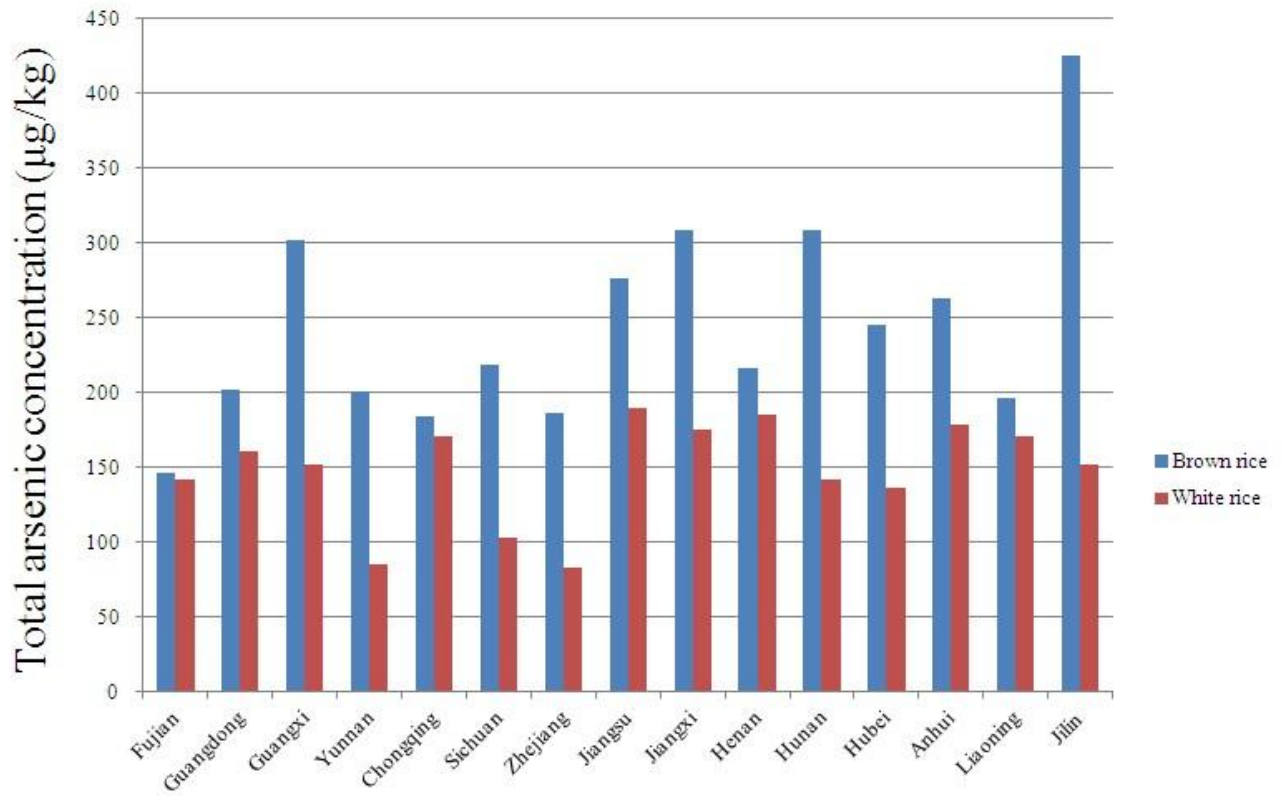


Figura 4: La concentración del total de arsénico en el arroz sin pulir y el arroz pulido en distintas provincias de China

Total arsenic concentration = concentración del total de arsénico

Brown rice = arroz moreno

White rice = arroz blanco

Referencias

1. *Arsenic and arsenic compounds*. 2nd ed. Environmental health criteria. Vol. 224. 2001: World Health Organization.
2. Meharg, A.A. and Zhao, F.J., *Arsenic & rice*. 2012: Springer.
3. Lu, Y., et al., *Baseline soil variation is a major factor in arsenic accumulation in Bengal Delta paddy rice*. Environmental Science & Technology, 2009. **43**(6): p. 1724-1729.
4. Smedley, P. and Kinniburgh, D., *A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters*. Applied Geochemistry, 2002. **17**(5): p. 517-568.
5. Williams, P.N., et al., *Organic Matter - Solid Phase Interactions Are Critical for Predicting Arsenic Release and Plant Uptake in Bangladesh Paddy Soils*. Environmental Science & Technology, 2011. **45**(14): p. 6080-6087.
6. Andreae, M.O., *Arsenic in rain and the atmospheric mass balance of arsenic*. Journal of Geophysical Research, 1980. **85**(C8): p. 4512-4518.
7. Shoty, W., et al., *Two thousand years of atmospheric arsenic, antimony, and lead deposition recorded in an ombrotrophic peat bog profile, Jura Mountains, Switzerland*. Earth and Planetary Science Letters, 1996. **145**(1): p. E1-E7.
8. Mestrot, A., et al., *Atmospheric Stability of Arsine and Methylarsines*. Environmental Science & Technology, 2011. **45**(9): p. 4010-4015.
9. Jakob, R., et al., *Atmospheric stability of arsines and the determination of their oxidative products in atmospheric aerosols (PM10): evidence of the widespread phenomena of biovolatilization of arsenic*. Journal of Environmental Monitoring, 2010. **12**(2): p. 409-416.
10. McBride, M.B., *Environmental chemistry of soils*. 1994: Oxford university press.
11. Takahashi, Y., et al., *Arsenic behavior in paddy fields during the cycle of flooded and non-flooded periods*. Environmental Science & Technology, 2004. **38**(4): p. 1038-1044.
12. Stroud, J.L., et al., *Assessing the labile arsenic pool in contaminated paddy soils by isotopic dilution techniques and simple extractions*. Environmental Science & Technology, 2011. **45**(10): p. 4262-4269.
13. Yamaguchi, N., et al., *Arsenic release from flooded paddy soils is influenced by speciation, Eh, pH, and iron dissolution*. Chemosphere, 2011. **83**(7): p. 925-932.
14. Dixit, S. and Hering, J.G., *Comparison of arsenic(V) and arsenic(III) sorption onto iron oxide minerals: Implications for arsenic mobility*. Environmental Science & Technology, 2003. **37**(18): p. 4182-4189.
15. Jain, A., Raven, K.P., and Loeppert, R.H., *Arsenite and Arsenate Adsorption on Ferrihydrite: Surface Charge Reduction and Net OH-Release Stoichiometry*. Environmental Science & Technology, 1999. **33**(8): p. 1179-1184.
16. Carbonell-Barrachina, A., et al., *Arsenic chemistry in municipal sewage sludge as affected by redox potential and pH*. Water Research, 2000. **34**(1): p. 216-224.
17. La Force, M.J., Hansel, C.M., and Fendorf, S., *Arsenic Speciation, Seasonal Transformations, and Co-distribution with Iron in a Mine Waste-Influenced Palustrine Emergent Wetland*. Environmental Science & Technology, 2000. **34**(18): p. 3937-3943.
18. O'day, P.A., et al., *The influence of sulfur and iron on dissolved arsenic concentrations in the shallow subsurface under changing redox conditions*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004. **101**(38): p. 13703-13708.
19. Reynolds, J.G., Naylor, D.V., and Fendorf, S.E., *Arsenic sorption in phosphate-amended soils during flooding and subsequent aeration*. Soil Science Society of America Journal, 1999. **63**(5): p. 1149-1156.
20. Abedin, M.J., Feldmann, J., and Meharg, A.A., *Uptake kinetics of arsenic species in rice plants*. Plant Physiology, 2002. **128**(3): p. 1120-1128.
21. Paszkowski, U., et al., *Rice phosphate transporters include an evolutionarily divergent gene specifically activated in arbuscular mycorrhizal symbiosis*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2002. **99**(20): p. 13324-13329.
22. Wu, Z.C., et al., *Investigating the Contribution of the Phosphate Transport Pathway to Arsenic Accumulation in Rice*. Plant Physiology, 2011. **157**(1): p. 498-508.
23. Jia, H., et al., *The Phosphate Transporter Gene OsPht1;8 Is Involved in Phosphate Homeostasis in Rice*. Plant Physiology, 2011. **156**(3): p. 1164-1175.
24. Duan, G.-L., et al., *A CDC25 homologue from rice functions as an arsenate reductase*. New Phytologist, 2007. **174**(2): p. 311-321.
25. Xu, X.Y., Mcgrath, S.P., and Zhao, F.J., *Rapid reduction of arsenate in the medium mediated by plant roots*. New Phytologist, 2007. **176**(3): p. 590-599.
26. Ma, J.F., et al., *Transporters of arsenite in rice and their role in arsenic accumulation in rice grain*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2008. **105**(29): p. 9931-9935.
27. Su, Y.-H., Mcgrath, S., and Zhao, F.-J., *Rice is more efficient in arsenite uptake and translocation than wheat and barley*. Plant and Soil, 2010. **328**(1): p. 27-34.
28. Zhao, F.J., et al., *Arsenic uptake and metabolism in plants*. New Phytologist, 2009. **181**(4): p. 777-794.

29. Hossain, M.B., et al., *The effects of iron plaque and phosphorus on yield and arsenic accumulation in rice*. Plant and Soil, 2009. **317**(1-2): p. 167-176.
30. Zhang, H. and Selim, H.M., *Reaction and Transport of Arsenic in Soils: Equilibrium and Kinetic Modeling*, in *Advances in Agronomy*, L.S. Donald, Editor. 2008, Academic Press. p. 45-115.
31. Ma, J.F., et al., *A silicon transporter in rice*. Nature, 2006. **440**(7084): p. 688-691.
32. Ma, J.F., et al., *An efflux transporter of silicon in rice*. Nature, 2007. **448**(7150): p. 209-212.
33. Guo, W., et al., *Effect of silicate on the growth and arsenate uptake by rice (&i&t;Oryza sativa L.) seedlings in solution culture*. Plant and Soil, 2005. **272**(1): p. 173-181.
34. Guo, W., et al., *Is the effect of silicon on rice uptake of arsenate (AsV) related to internal silicon concentrations, iron plaque and phosphate nutrition?* Environmental Pollution, 2007. **148**(1): p. 251-257.
35. WHO FOOD ADDITIVES SERIES: 63, FAO JECFA MONOGRAPHS 8
36. Li, G., et al., *Inorganic arsenic in Chinese food and its cancer risk*. Environment International, 2011. **37**(7): p. 1219-1225.
37. Vodyanitskii, Y., *The role of iron in the fixation of heavy metals and metalloids in soils: a review of publications*. Eurasian Soil Science, 2010. **43**(5): p. 519-532.
38. Yoshida, M., et al., *Methane production and control in submerged soil applied with Mn⁴⁺, Fe³⁺ and SO₄²⁻-rich materials*. Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 1996. **67**: p. 362-370.
39. Ultra, V.U., Jr., et al., *Potential for the alleviation of arsenic toxicity in paddy rice using amorphous iron-(hydr)oxide amendments*. Soil Science and Plant Nutrition, 2009. **55**(1): p. 160-169.
40. Fendorf, S., et al., *Biogeochemical processes controlling the cycling of arsenic in soils and sediments*. Biophysico-Chemical Processes of Heavy Metals and Metalloids in Soil Environments. A. Violante, PM Huang, and G. Gadd (eds.). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, 2008: p. 313-338.
41. Tufano, K.J., et al., *Reductive Processes Controlling Arsenic Retention: Revealing the Relative Importance of Iron and Arsenic Reduction*. Environmental Science & Technology, 2008. **42**(22): p. 8283-8289.
42. Xie, Z.M. and Huang, C.Y., *Control of arsenic toxicity in rice plants grown on an arsenic-polluted paddy soil*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1998. **29**(15-16): p. 2471-2477.
43. Deng, D., et al., *Effects of root anatomy and Fe plaque on arsenic uptake by rice seedlings grown in solution culture*. Environmental Pollution, 2010. **158**(8): p. 2589-2595.
44. Chen, Z., et al., *Direct evidence showing the effect of root surface iron plaque on arsenite and arsenate uptake into rice (Oryza sativa) roots*. New Phytologist, 2005. **165**(1): p. 91-97.
45. Liu, W.J., Zhu, Y.G., and Smith, F.A., *Effects of iron and manganese plaques on arsenic uptake by rice seedlings (Oryza sativa L.) grown in solution culture supplied with arsenate and arsenite*. Plant and Soil, 2005. **277**(1): p. 127-138.
46. Huang, H., et al., *Arsenic mobilization and speciation during iron plaque decomposition in a paddy soil*. Journal of Soils and Sediments, 2012. **12**(3): p. 402-410.
47. Jain, A. and Loeppert, R.H., *Effect of competing anions on the adsorption of arsenate and arsenite by ferrihydrite*. Journal of Environmental Quality, 2000. **29**(5): p. 1422-1430.
48. Liu, W.J., et al., *Do phosphorus nutrition and iron plaque alter arsenate (As) uptake by rice seedlings in hydroponic culture?* New Phytologist, 2004. **162**(2): p. 481-488.
49. Li, R.Y., et al., *Mitigation of Arsenic Accumulation in Rice with Water Management and Silicon Fertilization*. Environmental Science & Technology, 2009. **43**(10): p. 3778-3783.
50. Waltham, C.A. and Eick, M.J., *Kinetics Of Arsenic Adsorption On Goethite In The Presence Of Sorbed Silicic Acid*. Soil Science Society of America Journal, 2002. **66**(3): p. 818-825.
51. Bogdan, K. and Schenk, M.K., *Arsenic in Rice (Oryza sativa L.) Related to Dynamics of Arsenic and Silicic Acid in Paddy Soils*. Environmental Science & Technology, 2008. **42**(21): p. 7885-7890.
52. Liu, G., Fernandez, A., and Cai, Y., *Complexation of Arsenite with Humic Acid in the Presence of Ferric Iron*. Environmental Science & Technology, 2011. **45**(8): p. 3210-3216.
53. Jia, Y., et al., *Biogas slurry application elevated arsenic accumulation in rice plant through increased arsenic release and methylation in paddy soil*. Plant and Soil, 2012: p. 1-10.
54. Jia, Y., et al., *Pathways and Relative Contributions to Arsenic Volatilization from Rice Plants and Paddy Soil*. Environmental Science & Technology, 2012. **46**(15): p. 8090-8096.
55. Kögel-Knabner, I., et al., *Biogeochemistry of paddy soils*. Geoderma, 2010. **157**(1-2): p. 1-14.
56. Langner, P., Mikutta, C., and Kretzschmar, R., *Arsenic sequestration by organic sulphur in peat*. Nature Geosci, 2012. **5**(1): p. 66-73.
57. Mikutta, C. and Kretzschmar, R., *Spectroscopic Evidence for Ternary Complex Formation between Arsenate and Ferric Iron Complexes of Humic Substances*. Environmental Science & Technology, 2011. **45**(22): p. 9550-9557.

58. Arao, T., et al., *Effects of Arsenic Compound Amendment on Arsenic Speciation in Rice Grain*. Environmental Science & Technology, 2011. **45**(4): p. 1291-1297.
59. Huang, H., et al., *Arsenic Speciation and Volatilization from Flooded Paddy Soils Amended with Different Organic Matters*. Environmental Science & Technology, 2012. **46**(4): p. 2163-2168.
60. Mestrot, A., et al., *Field Fluxes and Speciation of Arsines Emanating from Soils*. Environmental Science & Technology, 2011. **45**(5): p. 1798-1804.
61. Zheng, M.-Z., et al., *Differential toxicity and accumulation of inorganic and methylated arsenic in rice*. Plant and Soil, 2012: p. 1-12.
62. Zheng, M.-Z., et al., *Spatial distribution of arsenic and temporal variation of its concentration in rice*. New Phytologist, 2011. **189**(1): p. 200-209.
63. Liu, C.-W., et al., *Arsenic accumulation by rice grown in soil treated with roxarsone*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2009. **172**(4): p. 550-556.
64. Wang, F.-M., et al., *Arsenic Uptake and Accumulation in Rice (Oryza sativa L.) at Different Growth Stages following Soil Incorporation of Roxarsone and Arsanilic Acid*. Plant and Soil, 2006. **285**(1-2): p. 359-367.
65. Xu, X.Y., et al., *Growing rice aerobically markedly decreases arsenic accumulation*. Environmental Science & Technology, 2008. **42**(15): p. 5574-5579.
66. Duxbury, J. and Panaullah, G., *Remediation of Arsenic for agriculture sustainability, food security and health in Bangladesh (Working paper)*. Cornell University and Bangladesh joint publication, FAOWater, FAO, Rome, 2007.
67. Bouman, B., Lampayan, R., and Tuong, T., *Water management in irrigated rice: coping with water scarcity*. 2007: Int. Rice Res. Inst.
68. Stroud, J.L., et al., *The dynamics of arsenic in four paddy fields in the Bengal delta*. Environmental Pollution, 2011. **159**(4): p. 947-953.
69. Ventura, W., et al., *INVOLVEMENT OF NEMATODES IN THE SOIL SICKNESS OF A DRYLAND RICE-BASED CROPPING SYSTEM*. Soil Science and Plant Nutrition, 1981. **27**(3): p. 305-315.
70. Kim, C.H., *Effect of Water-management on the Etiology and Epidemiology of Rice Blast Caused by Pyricularia Oryzae Cav*, 1986, Louisiana State University, Baton Rouge.
71. Bonman, J.M. Compendium of rice diseases, ed. R.K. Webster and P.S. Gunnell. 1992: American Phytopathological Society. 14-17.
72. Tuong, T.P. and Bouman, B.A.M., *Rice production in water-scarce environments*. Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement, 2003. **1**: p. 53-67.
73. Arao, T., et al., *Effects of Water Management on Cadmium and Arsenic Accumulation and Dimethylarsinic Acid Concentrations in Japanese Rice*. Environmental Science & Technology, 2009. **43**(24): p. 9361-9367.
74. Moldenhauer, K. and Slaton, N., *1-Rice Growth and Development*. 2001.
75. Koyama, T., *Arsenic in Soil-Plant System*. Soil Science and Plant Nutrition, 1975. **46**(11): p. 491-502.
76. Inahara, M., Ogawa, Y., and Azuma, H., *Effect of Alkalinity Application on Cadmium Uptake by Lowland Rice under Different Water Managements*. Soil Science and Plant Nutrition, 2007. **78**(3): p. 253-260.
77. Ishikawa, S., et al., *Ion-beam irradiation, gene identification, and marker-assisted breeding in the development of low-cadmium rice*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2012. **109**(47): p. 19166-19171.
78. Zhang, J., et al., *Mapping quantitative trait loci associated with arsenic accumulation in rice (Oryza sativa)*. New Phytologist, 2008. **177**(2): p. 350-355.
79. Norton, G.J., et al., *Environmental and Genetic Control of Arsenic Accumulation and Speciation in Rice Grain: Comparing a Range of Common Cultivars Grown in Contaminated Sites Across Bangladesh, China, and India*. Environmental Science & Technology, 2009. **43**(21): p. 8381-8386.
80. Norton, G.J., et al., *Identification of Low Inorganic and Total Grain Arsenic Rice Cultivars from Bangladesh*. Environmental Science & Technology, 2009. **43**(15): p. 6070-6075.
81. Norton, G.J., et al., *Arsenic Influence on Genetic Variation in Grain Trace-Element Nutrient Content in Bengal Delta Grown Rice*. Environmental Science & Technology, 2010. **44**(21): p. 8284-8288.
82. Norton, G.J., et al., *Variation in grain arsenic assessed in a diverse panel of rice (Oryza sativa) grown in multiple sites*. New Phytologist, 2012. **193**(3): p. 650-664.
83. Pillai, T.R., et al., *Total grain-arsenic and arsenic-species concentrations in diverse rice cultivars under flooded conditions*. Crop Science, 2010. **50**(5): p. 2065-2075.
84. Tuli, R., et al., *Recent advances in arsenic accumulation and metabolism in rice*. Molecular Breeding, 2010. **26**(2): p. 307-323.
85. Ahmed, Z.U., et al., *Genotype and environment effects on rice (Oryza sativa L.) grain arsenic concentration in Bangladesh*. Plant and Soil, 2011. **338**(1-2): p. 367-382.
86. Kuramata, M., et al., *Arsenic accumulation and speciation in Japanese paddy rice cultivars*. Soil Science and Plant Nutrition, 2011. **57**(2): p. 248-258.

87. Kuramata, M., et al., *Genetic diversity of arsenic accumulation in rice and QTL analysis of methylated arsenic in rice grains*. *Rice*, 2013. **6**(1): p. 3.
88. Torres-Escribano, S., et al., *Total and Inorganic Arsenic Concentrations in Rice Sold in Spain, Effect of Cooking, and Risk Assessments*. *Environmental Science & Technology*, 2008. **42**(10): p. 3867-3872.
89. Narukawa, T., Hioki, A., and Chiba, K., *Speciation and Monitoring Test for Inorganic Arsenic in White Rice Flour*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011. **60**(4): p. 1122-1127.
90. Xie, K., et al., *Arsenic and arsenic speciation and exposure assessment for rice from China's major producing areas by HPLC-ICP-MS*. *Environmental Science & Technology*, 2013. **in press**.
91. Meharg, A.A., et al., *Speciation and localization of arsenic in white and brown rice grains*. *Environmental Science & Technology*, 2008. **42**(4): p. 1051-1057.
92. Ackerman, A.H., et al., *Comparison of a Chemical and Enzymatic Extraction of Arsenic from Rice and an Assessment of the Arsenic Absorption from Contaminated Water by Cooked Rice*. *Environmental Science & Technology*, 2005. **39**(14): p. 5241-5246.
93. M. Smith, N., et al., *Inorganic arsenic in cooked rice and vegetables from Bangladeshi households*. *Science of the Total Environment*, 2006. **370**(2-3): p. 294-301.
94. Duxbury, J.M., et al., *Food Chain Aspects of Arsenic Contamination in Bangladesh: Effects on Quality and Productivity of Rice*. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 2003. **38**(1): p. 61-69.
95. Das, H.K., et al., *Arsenic concentrations in rice, vegetables, and fish in Bangladesh: a preliminary study*. *Environment International*, 2004. **30**(3): p. 383-387.
96. Sengupta, M.K., et al., *Arsenic burden of cooked rice: Traditional and modern methods*. *Food and Chemical Toxicology*, 2006. **44**(11): p. 1823-1829.
97. Raab, A., et al., *Cooking rice in a high water to rice ratio reduces inorganic arsenic content*. *Journal of Environmental Monitoring*, 2009. **11**(1): p. 41-44.
98. Mandal, A., et al., *PHYTOREMEDIATION OF ARSENIC CONTAMINATED SOIL BY PTERIS VITTATA L. I. INFLUENCE OF PHOSPHATIC FERTILIZERS AND REPEATED HARVESTS*. *International Journal of Phytoremediation*, 2012. **14**(10): p. 978-995.
99. Mandal, A., et al., *Phytoremediation of Arsenic Contaminated Soil by Pteris Vittata L. II. Effect on Arsenic Uptake and Rice Yield*. *International Journal of Phytoremediation*, 2011. **14**(6): p. 621-628.
100. Rahman, M.A., et al., *Arsenic accumulation in rice (Oryza sativa L.) varieties of Bangladesh: A glass house study*. *Water Air and Soil Pollution*, 2007. **185**(1-4): p. 53-61.
101. Liu, W.J., et al., *Arsenic sequestration in iron plaque, its accumulation and speciation in mature rice plants (Oryza sativa L.)*. *Environmental Science & Technology*, 2006. **40**(18): p. 5730-5736.
102. Hua, B., et al., *Arsenic Accumulation in Rice Grains: Effects of Cultivars and Water Management Practices*. *Environmental Engineering Science*, 2011. **28**(8): p. 591-596.
103. Ren, X.L., et al., *Variations in concentration and distribution of health-related elements affected by environmental and genotypic differences in rice grains*. *Rice Sci*, 2006. **13**(170): p. 178.

Anexo: lista de participantes**Presidencia
China**

WU Yongning, M.D., Ph D
 Chief Scientist and Professor
 Director of Key Lab of Food Safety Risk Assessment, Ministry of Health; and
 China National Center for Food Safety Risk Assessment (CFSA)
 Panjiayuan Nanli 7, Changyang District
 Beijing 100021, PR China
 Tel: 86-10-67779118 or 52165589,
 Fax 86-10-67791253 or 52165489
 E-mail: wuyongning@cfsa.net.cn, china_cdc@yahoo.cn

ZHU Yongguan, Ph D
 Professor of Environmental Biology and Biogeochemistry
 Director General
 Institute of Urban Environment
 Chinese Academy of Sciences
 1799 Jimei Road,
 Xiamen 361021, P R China
 Tel: +86 10 592 6190997
 Fax: +86 10 592 6190977
 E-mail: ygzhu@iue.ac.cn, ygzhu@rcees.ac.cn

**Copresidencia
Japón**

Mr. Kenji Asakura
 Director
 Plant Products Safety Division
 Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries
 1-2-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8950, Japan
 E-mail: jppsdcccf@nm.maff.go.jp

Miembros participantes**Argentina**

Punto Focal - Contact Point
 Codex Alimentarius - ARGENTINA
 Dirección de Relaciones Agroalimentarias Internacionales
 Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca
 Paseo Colón 922 Planta Baja Oficina 29 - Buenos Aires (C1063ACW)
 Tel: (+54 11) 4349-2549/2747
 E-mail: codex@minagri.gov.ar

Australia

Ms Leigh Henderson
 Section Manager
 Food Standards Australia New Zealand
 E-mail: leigh.henderson@foodstandards.govt.nz,
 codex.contact@daff.gov.au

Mr Tonderai Kaitano
 Food Standards Australia New Zealand
 E-mail: tonde.kaitano@foodstandards.govt.nz
 codex.contact@daff.gov.au

Brasil

Lígia Lindner Schreiner
 E-mail: ligia.schreiner@anvisa.gov.br

Canadá

Robin Churchill
 Chemical Health Hazard Assessment Division
 Bureau of Chemical Safety, Food Directorate
 Health Products and Food Branch
 Health Canada
 E-mail: robin.churchill@hc-sc.gc.ca

China

Dr LI Xiaowei
 Associate Professor
 Key Lab of Food Safety Risk Assessment, Ministry of Health
 China National Center for Food Safety Risk Assessment (CFSA)
 Panjiayuan Nanli 7, Changyang District
 Beijing 100021, PR China
 Tel: 86-10-67791259
 E-mail: lixw@cfsa.net.cn, eveline73@vip.sina.com

Ms SHAO Yi
 Associate Researcher
 Food Safety National Standard Secretary
 China National Center for Food Safety Risk Assessment (CFSA)
 Building 2, Guangqulu 37, Changyang District
 Beijing 100017, PR China
 Tel: 86-10-52165421
 E-mail: shaoy@cfsa.net.cn, sy1982bb@yahoo.com.cn

Mr ZHU Zhiguang
 Director of Standard Section
 Center for Quality and Standard of Grain and Edible Oil
 State Administration of Grain, PR China
 A11, Guohong Building(C), Muxidi Beili, Xicheng District, Beijing
 100038, PR China
 Tel: +86 10 58523389
 E-mail: lybzzzg@163.com

Colombia

Jesús Alejandro Estévez García.
 Profesional Especializado
 Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos - INVIMA
 Cra. 68 D No. 17-11 Bogotá, Colombia.
 Tel: 0571-2948700 Ext. 3844-3901.
 E-mail: jestevezg@invima.gov.co; jaestevezg@unal.edu.co

Cristian Camilo Diaz Merchan
 Profesional Especializado
 Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos - INVIMA
 Cra. 68 D No. 17-11 Bogotá, Colombia.
 Tel: 0571-2948700 Ext. 3844-3901.
 E-mail: jestevezg@invima.gov.co; jaestevezg@unal.edu.co

Cuba

Miguel Garcia Roché,
 President
 Cuba National Technical Committee on Additives and Contaminants in
 the Foods
 E-mail: miguelgarcia@infomed.sld.cu

República Dominicana

Dra. Matilde Vásquez
 Nutrición
 The Contact Point of the Dominican Republic (PCC-Dominican
 Republic),
 Ministerio de Salud Pública (MSP)
 República Dominicana.
 Tel: Direct: + 809-541-0382. Other Tel: +809-541-3121, ext. 2382
 Fax 809-547-2946
 E-mail: codexsespas@yahoo.com

UE

Mr Frank Swartenbroux,
 European Union Codex Contact Point
 European Commission DG Health and Consumers Directorate-General
 E-mail: frank.swartenbroux@ec.europa.eu, codex@ec.europa.eu

Ghana

Dr. Firibu Kwasi Saalia
 Lecturer
 Nutrition and Food Science Department, University of Ghana
 Accra
 Ghana
 Tel: +233 243 125 566
 E-mail: fsaalia@ug.edu.gh / fsaalia@yahoo.com

India

Vinod Kotwal
 Director
 National Codex Contact Point
 Food Safety and Standards Authority of India
 Ministry of Health and Family Welfare
 FDA Bhawan, Kotla Road,
 New Delhi -110002
 INDIA
 Tel: +91-11-23237439
 E-mail: vinod.kotwal@nic.in

Indonesia

Tetty H Sihombing (Mrs)
 Director of Food Products Standardization
 National Agency of Drug and Food Control
 Indonesia
 E-mail: tettyhelfery@yahoo.com; codexbpom@yahoo.com

Japón

Mr. Naofumi HAMATANI
 Associate Director

Plant Products Safety Division
 Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries
 1-2-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8950, Japan
 E-mail: jppsdccef@nm.maff.go.jp

Dr. Takashi SUZUKI
 Deputy Director
 Standards and Evaluation Division
 Department of Food Safety
 Ministry of Health, Labour and Welfare
 1-2-2 Kasumigaseki, Chiyoda-ku Tokyo 100-8916, Japan
 E-mail: codexj@mhlw.go.jp

Mr. Wataru IIZUKA
 Assistant Director
 Standards and Evaluation Division
 Department of Food Safety
 Ministry of Health, Labour and Welfare
 1-2-2 Kasumigaseki, Chiyoda-ku Tokyo 100-8916, Japan
 E-mail: codexj@mhlw.go.jp

Mr. Ryo IWASE
 Section Chief
 Standards and Evaluation Division
 Department of Food Safety
 Ministry of Health, Labour and Welfare
 1-2-2 Kasumigaseki, Chiyoda-ku Tokyo 100-8916, Japan
 E-mail: codexj@mhlw.go.jp

Mr. Nobuyuki HAMASUNA
 Section Chief
 Plant Products Safety Division
 Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries
 1-2-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8950, Japan
 E-mail: jppsdccef@nm.maff.go.jp, codex_maff@nm.maff.go.jp

Dr. Takahiro WATANABE
 Section Chief
 Division of Foods
 National Institute of Health Sciences
 1-18-1, Kamiyoga, Setagaya-ku, Tokyo 158-8501, Japan
 E-mail: tawata@nihs.go.jp

Corea, República de

Hayun Bong
 Codex Resercher,
 Korea Food and Drug Administration (KFDA)
 Korea
 E-mail: codexkorea@korea.kr

Won-II Kim, PhD
 Senior Researcher
 National Academy of Agricultural Science
 Department of Agro-Food Safety
 Korea
 E-mail: wikim721@korea.kr

Ji-Young Kim
 Researcher
 National Academy of Agricultural Science
 Department of Agro-Food Safety
 Korea
 E-mail: jkim98@korea.kr

Mauritania

Dr Soumeya Mint Moustapha,
Toxicologue,
Institut National de Recherches en Santé Publique (INRSP),
Nouakchott - Mauritanie
E-mail: soumeyemoustafa@yahoo.com

Nigeria

Dr Abimbola O. ADEGBOYE
E-mail: adegboye.a@nafdac.gov.ng & bimbostica@yahoo.com
copied to CCP Nigeria at codexng@sononline.org &
bob_king_george@yahoo.com

Filipinas

Edith San Juan
Supervising Research Specialist/ OIC-Quality Evaluation Division
National Food Authority - Food Development Center Department of
Agriculture – Philippines
FTI Complex, Taguig City, Phillippines
Tel: +6328384448
Fax: +6328384016
E-mail: sanjuanedith@yahoo.com

Mary Grace Gabayoyo
Food-Drug Regulation Officer III
Laboratory Services Division, Food and Drug Administration,
Department of Health, Phillippines
Civic Drive, Filinvest Corporate City, Alabang, Muntinlupa City,
Phillippines
Tel: +6328571900 local 8201
Fax: +6328070751
E-mail: mggabayoyo@yahoo.com

Tailandia

Mrs. Chutiwan Jatupornpong
Standards officer, Office of Standard Development,
National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards,
50 Phaholyothin Road, Ladyao, Chatuchak,
Bangkok 10900 Thailand
Tel: (+662) 561 2277
Fax: (+662) 561 3357, (+662) 561 3373
E-mail: codex@acfs.go.th; chutiwan9@hotmail.com

Reino Unido

Paul Jenkins
Higher Scientific Officer
Food Standards Agency
Environmental & Process Contaminants Branch
Chemical Safety Division
3rd Floor Zone B, Aviation House, 125 Kingsway
London, WC2B 6NH, United Kingdom
Tel: +44 (0)20 7276 8768
E-mail: paul.jenkins@foodstandards.gsi.gov.uk

Uruguay

Raquel Huertas
Head of Atomic Spectrometry Department
Technological Laboratory of Uruguay
E-mail: rhuertas@latu.org.uy
Uruguay Codex Contact Point : codex@latu.org.uy

USA

Henry Kim
U.S. Food and Drug Administration
Center for Food Safety and Applied Nutrition
5100 Paint Branch Parkway
College Park, MD 20740
E-mail: henry.kim@fda.hhs.gov

Lauren Posnick Robin
U.S. Food and Drug Administration
Center for Food Safety and Applied Nutrition
5100 Paint Branch Parkway
College Park, MD 20740
E-mail: lauren.robin@fda.hhs.gov

Consumers International

Dr Michael Hansen
Senior scientist, Consumer Reports
E-mail: mhansen@consumer.org

Red Europea de Asociaciones del Parto (ENCA)

Maryse Arendt
Chargée de direction
Initiativ Liewensufank
20 rue de Contern
L-5955 Itzig
Luxembourg
Phone 00 352 36 05 97-13
Fax: 00 352 36 61 34
E-mail: maryse.arendt@liewensufank.lu

FoodDrinkEurope

Beate Kettlitz
Director
Food Policy, Science and R&D
Food Drink Europe
Avenue des Arts, 43, 1040 Brussels, Belgium
Tel: +32 2 500 87 52
E-mail: b.kettlitz@fooddrinkeurope.eu

Institute of Food Technologists®

James R. Coughlin, Ph.D.
President, Coughlin & Associates: Consultants in
Food/Nutritional/Chemical Toxicology and Safety
8 Camillo
Aliso Viejo, CA 92656 USA
E-mail: jrcoughlin@cox.net
Phone: 949-916-6217

Alianza Internacional de Asociaciones de Suplementos Alimenticios y Dietéticos (IADSA)

Ms Cashmer Dirampaten
Rue de l'Association, 50 / 1000 Brussels / Belgium
Tel: +32 2209 1155
E-mail: cashmerdirampaten@iadsa.org

Mr David Pineda Ereño
Rue de l'Association, 50 / 1000 Brussels / Belgium
Tel: +32 2209 1155
E-mail: davidpineda@iadsa.org

Consejo Internacional de Asociaciones de Fabricantes de Comestibles (ICGMA)

Maia M. Jack, Ph.D.
ICGMA Head Delegate to CCCF
Director, Science Policy - Chemical Safety
1350 I Street, NW, Suite 300
Washington, D.C., 20005
Tel: 202-639-5922 (Office)
Tel: 202-285-6056 (Cel)|
Fax: 202-639-5991
E-mail: mjack@gmaonline.org