

CALIDAD DEL AGUA: ESTADO DE SITUACIÓN NORMATIVO Y COMPARATIVO ARGENTINA – UNIÓN EUROPEA

WATER QUALITY: THE NORMATIVE AND COMPARATIVE SITUATION STATE ARGENTINA - EUROPEAN UNION

Roxana Roller, Gladys Bustos, Osvaldo Barbazan, Mónica Grasetti,
Enrique Noli y Roberto Grimolizzi
Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria - Argentina

Resumen

Es un objetivo mundial garantizar el acceso del agua potable a toda la población, así como la protección de la salud de todos los seres humanos. En este sentido, nuestro país cuenta con el Código Alimentario Argentino que establece los parámetros y los valores paramétricos máximos admisibles para garantizar la calidad del agua destinada al consumo humano. Los frigoríficos que proveen carne como alimento deben regirse por esta norma y, a su vez, utilizar en sus procesos agua potable. Existen análisis que permiten alertar sobre la presencia de contaminantes llamados “emergentes” de los que este ensayo pretende dar una visión global. Así, se comparan los valores establecidos por la normativa nacional con los de la Unión Europea sobre la base de su justificación toxicológica y haciendo mención a la industria cárnica, en la cual aún tenemos algunas diferencias sustanciales.

Palabras clave: agua potable, calidad del agua, valores de referencia, acrilamida, epichelorhidrina.

Abstract

The global objective is ensuring access drinking water to the entire population, as well as protecting the health of all humans. In this sense Argentina is the Argentine Food Code, which establishes the maximum permissible parameters and parameter values to ensure the quality of water intended for human consumption. Slaughterhouses meat as food providers to the population should be governed by this rule, processes must use clean water. There are more sensitive methods of analysis that allow early warning of the presence of other pollutants called emerging globally. This essay is intended to give an overview of the same, the values set by the national legislation in comparison with the European Union on the basis of their toxicological justification in reference to the meat industry in which we still have some substantial differences.

Keywords: drinking water, water quality, values of reference, acrylamide, epichlorohydrin.

INTRODUCCIÓN

El agua constituye un elemento esencial para la vida y es uno de los recursos más importantes en la naturaleza. El acceso al agua es un derecho humano básico, plasmado en las políticas de protección a la salud a nivel mundial como uno de los componentes fundamentales de todos los tratados. La tendencia global va camino a un ajuste con relación a la protección de la salud, para lo cual deben existir guías y normas de actualización periódica respecto de la calidad del agua de consumo humano, habida cuenta de la información toxicológica disponible y de las técnicas analíticas para la detección de peligros.

Son las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) las que proporcionan una base científica de partida y pueden ser usadas por las autoridades nacionales para el desarrollo de normativas sobre el agua. En la Argentina, el Código Alimentario Argentino (CAA) establece los parámetros y los valores máximos admisibles para garantizar la calidad del agua destinada al consumo humano.

El incremento progresivo de las actividades industriales y la propia presencia humana en el planeta han propiciado la emisión de sustancias contaminantes que se han agregado a los distintos ecosistemas y, por lo tanto, a los seres que los habitan, y a la cadena alimentaria. Algunos de estos contaminantes ambientales son acumulativos, es decir, no se degradan ni se eliminan, sino que se acumulan en los organismos a medida que avanza la cadena trófica y causan efectos adversos. El ganado bovino no es una excepción y se considera, por la gran dependencia en su ecosistema, un buen indicador de la salud ambiental.

Según el Instituto de Promoción de Carne Vacuna Argentina (IPCVA), nuestro país presenta el mayor nivel de consumo mundial de carnes por habitante, lo que hace que el 85 % de la producción total sea consumida localmente y el resto se exporte. El consumo *per cápita* de carne vacuna es de 66 kg anuales, lo representa una

fuerte caída con respecto a la década pasada, cuando cada argentino consumía aproximadamente 81 kg.

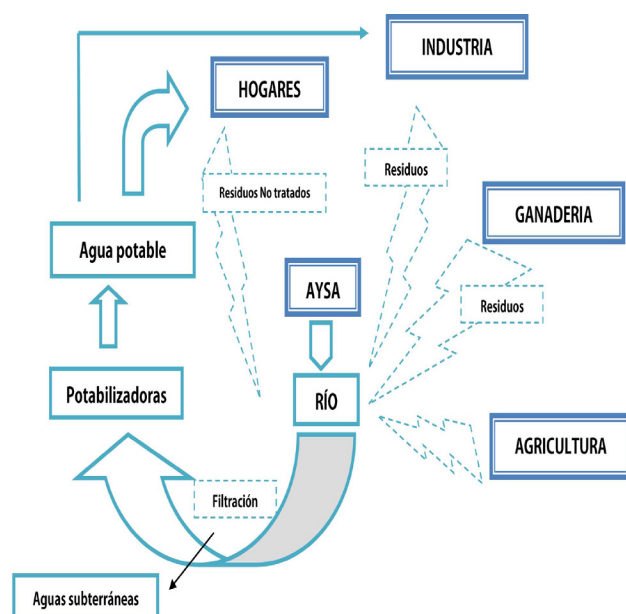
En tal sentido, este trabajo intenta dar una visión de los parámetros y valores fijados en la normativa nacional con respecto a la calidad del agua en frigoríficos considerando la importancia de la carne vacuna en la población y la necesidad de establecer una actualización de algunas medidas para los análisis físico químicos, incorporando analitos (como la acrilamida y la epíclorhidrina) mediante el estudio y la comparación con la directiva europea y su justificación toxicológica.

CALIDAD DEL AGUA

En la industria alimentaria

La aparición de elementos “no deseables” y tóxicos, y la variación en las concentraciones de los constituyentes comunes, tiene su origen en el denominado “ciclo del agua”. En alguna parte de este ciclo, en el cual confluyen distintos compartimentos ambientales y actividades humanas, se produce la contaminación o, mejor dicho, la alteración de su calidad.

Las principales vías de entrada de contaminantes son las aguas residuales, entre las que se incluyen las urbanas, industriales y las de origen agrícola o ganadero. La prevalencia de una u otra depende en gran medida del tipo de contaminación y del nivel de depuración o atenuación natural (si existiera) que experimentan.



Ciclo del agua.
Realizado por Roxana Roller

La calidad el agua refiere a sus características químicas, físicas y biológicas y depende principalmente del uso que se le va a dar. En la mayoría de la industrias alimentarias, el agua se emplea prácticamente en todas las operaciones (producción, formulación, transporte, generación de vapor, servicios [sanitarios, regaderas, riego, etc.], medio de higiene, etc.) por lo que el control de la calidad se vuelve un parámetro crítico para la aptitud de los productos finales (Badui, 2006).

A su vez, el agua, como los alimentos, es un vehículo potencial para la transmisión directa de agentes que causan enfermedades y puede provocar problemas en la inocuidad de los productos, lo que fuerza a las industrias a minimizar riesgos y asegurar la calidad del producto. En las de alimentos el agua puede contaminarse de diversas formas:

- ❖ con microorganismos patógenos, contaminantes químicos y físicos;
- ❖ al momento de ser almacenada;
- ❖ por las tuberías;
- ❖ otras razones.

La calidad del agua en esta clase de industrias varía según el tipo y tamaño de la operación que se realizará, aunque en la mayoría de los casos se requiere el uso de agua potable.

Los análisis que se llevan a cabo para medir su calidad en las industrias de alimentos son los siguientes:

1. Análisis químico básico
 - a. pH
 - b. Nitratos
 - c. Dureza
 - d. Minerales (sulfatos, cloruros, sodio, calcio, magnesio y minerales)
2. Metales tóxicos y pesticidas
 - e. Arsénico
 - f. Flúor
 - g. Herbicidas utilizados
3. Bacteriología
 - h. Coliformes (indican contaminación fecal, no necesariamente causan enfermedades)
 - i. Patógenos (si hay animales, como terneros, en corrales con diarreas y se aíslan *Salmonellas* en el agua podría determinarse como causa (Lagger, 2000)).

Para asegurar la calidad del agua en una industria de alimentos primero se debe de tomar en cuenta si esta entrará en contacto directo con el alimento; además, se deben identificar los receptores de agua y la forma en la que se vinculan con esta (líquido, hielo o vapor). Los receptores del agua pueden ser humanos, animales o cultivos. Luego se debe revisar si se cumple con la normativa de calidad del agua nacional, y considerar los posibles riesgos químicos y microbiológicos (reuso de agua, tratamiento con desinfectantes, reacciones posibles, etc.).

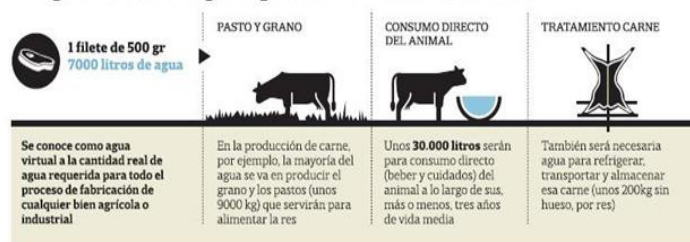
Otro punto importante es establecer si pueden existir etapas en las que el agua actúe como vehículo de posibles contaminantes (un ejemplo de esto es el riego), si habrá procesos que actúen como barrera (térmico o pelado) y por último, deben de determinarse los puntos que serán evaluados para asegurar que el producto final es seguro.

En la industria cárnica en particular

En este tipo de industria, al igual que en la láctea, la calidad del agua es muy importante desde la alimentación del animal, pues se utiliza en la cría y el sacrificio del animal, la limpieza de la canal, en procesos de salazón, la limpieza del equipo y las instalaciones de la planta.

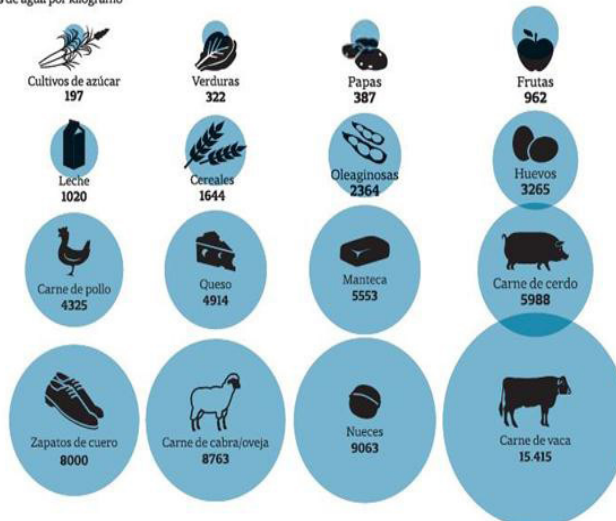
En el caso particular de la alimentación de los animales, si el agua no es tratada, se puede presentar una contaminación parasitaria o bacteriana, que causa problemas en el crecimiento, la lactación o los parámetros reproductivos y, por ello, causa pérdidas económicas al productor. En consecuencia, los ganaderos deben controlar la calidad del agua con el fin de prevenir la entrada de fuentes fecales o entes contaminantes.

El agua necesaria para producir nuestros bienes



ALGUNOS DE LOS PRODUCTOS QUE CONSUMIMOS

Litros de agua por kilogramo



Fuente: <<http://www.lanacion.com.ar/1572574-sos-agua>>

En los rastros de ganado o de pollo se debe de utilizar agua potable para el lavado de los animales y de las canales, así como en la limpieza del lugar. El lavado de los animales, previo al sacrificio, se debe realizar con agua potable para evitar la contaminación y problemas higiénicos. También para el lavado de las carcasas el agua debe ser potable y de mejor calidad, ya que con este proceso se busca reducir el nivel de microorganismos que la contaminen de forma superficial.

En una planta de elaboración de productos cárnicos se requieren dos tipos de agua: agua potable y agua de pozo. La primera se utiliza en la elaboración de hielo, salmueras y derivados, para contacto directo con el producto y para los procesos de limpieza y desinfección. La potabilidad del agua implica la presentación de unos niveles mínimos de desinfectante residual, generalmente cloro, en todos los circuitos y depósitos de almacenamiento, por lo que la cloración se identifica como un tratamiento habitual en las instalaciones.

El agua de pozo necesita de un tratamiento leve y solamente se utiliza para los servicios higiénicos y de limpieza de la planta. Cada uno de estos tipos de agua deberá reunir una serie de características físico-químicas y microbiológicas para garantizar las buenas prácticas de elaboración de embutidos, por ejemplo, evitando así ser causa de contaminaciones bacterianas o provocar, por excesiva dureza, alteraciones en los equipos (Mueller, 2006).

Marco legal nacional

El Código Alimentario Argentino es preparado por la Secretaría de Estado de Salud Pública sobre la base del Reglamento Alimentario aprobado por el Decreto 141/53 además de sus normas modificatorias y complementarias. El CAA fue sancionado en 1971 mediante la Ley 18284 y actualizado permanentemente mediante la incorporación de las resoluciones sobre alimentos del Grupo Mercado Común (GMC) del Mercosur.

El CAA regula las condiciones higiénico-sanitarias, bromatológicas y de identificación comercial de los alimentos para consumo humano en la República Argentina, en concordancia con las normas propuestas por el Codex Alimentarius. Es de aplicación nacional y extensivo a los alimentos importados y de exportación. Sus exigencias deben ser cumplidas por toda persona, empresa, comercio o establecimiento industrial que elabore, fraccione, conserve, transporte, exponga, expendo, importe y exporte alimentos, condimentos, bebidas y materias primas.

El operador de la empresa alimentaria debe cumplir lo relativo a los requisitos de agua de consumo recogidos en el capítulo 12 del CAA. Por su parte, el artículo 982 establece las características físicas, químicas y microbiológicas, sus parámetros y los valores paramétricos máximos admisibles.

□ Decreto 4238/68

El Decreto 4238/68 es reglamentario de la Ley Federal de Carnes 22.375 y contempla el régimen de habilitaciones de los establecimientos donde se faenan, depositan o elaboran productos, subproductos

o derivados de origen animal, y los requisitos higiénico-sanitarios. En el capítulo III, establece los requerimientos de construcción e ingeniería sanitaria de establecimientos faenadores e indica la obligatoriedad de abastecerse con agua potable. En el capítulo IV de Obras Sanitarias, establece las obligaciones de eliminación de efluentes así como algunas condiciones que deben cumplir los establecimientos habilitados por Senasa en cuanto a la calidad del agua y sus circuitos.

□ Circular 2731A (amplía el Decreto 4238/68)

La Circular alcanza a todos los establecimientos habilitados en el marco del Decreto 4238/68 para los faenadores, elaboradores y depósitos de productos y subproductos de origen animal; esto engloba a todos los operadores de industria cárnica habilitados por Senasa (Anexo 1) y tiene como objetivo garantizar el suministro y aptitud del agua en virtud del monitoreo microbiológico y físico-químico.

Asimismo, establece una clasificación y la frecuencia de realización de análisis bacteriológicos, de seis meses para los análisis físico-químicos y la posibilidad de reducir a una muestra anual si durante dos años sucesivos fueran constantes o disminuyeran los resultados en cuanto a los límites establecidos.

Marco legal internacional

Se realizó un breve análisis de cómo se fue incrementando el conocimiento y la preocupación por los compuestos orgánicos en el marco de la legislación actual. A los fines de este ensayo, el planteo toma como referencia la normativa europea y considera ilustrativa la evolución de exigencias en los EE. UU., país con una importante trayectoria en materia legislativa ambiental.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (en inglés, United States Environmental Protection Agency [EPA]) es uno de los principales organismos de referencia en materia ambiental. Hasta el año 1987, el número de parámetros relacionados con compuestos orgánicos era bajo, es en el período comprendido entre 1990 y 1992 cuando se aumenta de forma considerable la reglamentación para lo orgánico.

El listado publicado por la EPA en octubre de 2003 incluye una relación de más de cincuenta compuestos orgánicos que sería interesante medir en aguas de consumo, dos de los cuales están contenidos en la categoría de subproductos de desinfección, y el resto corresponde a pesticidas y otros productos orgánicos de síntesis. También se podrían incluir las posibles cloraminas organizadas en el parámetro cloraminas totales.

Otro organismo internacional que sienta precedente en el establecimiento de estándares de calidad es la

Organización Mundial de la Salud que refleja también una importante preocupación por los contaminantes orgánicos.

La Directiva 98/83/CE surgió en la Unión Europea como respuesta a la necesidad de adaptación al progreso técnico y científico de la Directiva 80/778/CEE, relativa a la calidad de aguas de consumo humano, que reduce a cuarenta y ocho el número de parámetros que los Estados miembros estaban obligados a vigilar, centrados en el cumplimiento de los parámetros esenciales de calidad y salud.

En ella se pone de manifiesto la necesidad de fijar valores individuales para los parámetros de sustancias que son significativas en toda la comunidad, basados en los conocimientos científicos disponibles y en el principio de prevención mediante la evaluación del riesgo para, de esta manera, poder asegurar que el consumo de las aguas por las personas pueda realizarse de manera segura durante toda la vida, con un alto nivel de protección de la salud. En ese sentido, las medidas incluidas en la Directiva poseen un valor paramétrico o una mención acerca de qué debe ser “aceptable para los consumidores” o “sin cambios anómalos”.

Asimismo, la directiva establece que los parámetros seleccionados y los valores establecidos se basan, en general, en las recomendaciones sobre calidad del agua potable de la OMS y en el dictamen del comité científico consultivo de la comisión para el estudio de la toxicidad y de la ecotoxicidad de los compuestos químicos. Sin embargo, en ningún momento se hace referencia de modo específico a la justificación de la selección de cada parámetro sobre la base de su toxicidad ni a los valores establecidos, tampoco se hace alusión de forma concreta a aquellos documentos de los cuales se han tomado dichas referencias. No obstante, Hecq *et al.* afirman que, además de los parámetros justificados en concordancia con la OMS, para algunos de ellos se utilizó una aproximación distinta y para otros, se consultó al comité citado anteriormente. Entre estos últimos se encuentran el plomo, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), los plaguicidas, el cobre y el boro (Quevauviller, 2005)

Este hecho contrasta con la normativa establecida por otros países, como los Estados Unidos, Australia y Canadá en los que para la mayoría de los parámetros seleccionados se detalla la justificación toxicológica del valor establecido, así como las referencias de partida en el caso de existir. Por ejemplo, la diferencia de valores estipulados entre la OMS y países como Australia y Canadá se basa en la distinta consideración del peso medio del individuo, la ingesta de agua diaria y la contribución de esta al consumo de la sustancia química de que se trate.

Qué son los parámetros indicadores

Se engloban en este grupo aquellas sustancias cuya presencia u oscilaciones están relacionadas con la eficacia del tratamiento del agua y su control con la percepción del agua a través de los sentidos (olor, color, sabor, gusto; también llamadas características organolépticas). En el cuadro que se presenta a continuación, se muestran los valores adoptados por distintos países para algunos parámetros indicadores. Como puede apreciarse, los valores paramétricos establecidos en la directiva europea son similares a los establecidos en otros países (Cruz Vera, 2012)

Parámetro	Unidad	UE	USA	Australia	Argentina	Chile
Aluminio	mg/l	0.2	0.05 – 0.2	0.2	0.2	
Amonio	mg/l	0.5	-	0.5	0.2	
Cloruro	mg/l	250	250	250	350	
Color	-	accept	15	15	5	
Hierro	mg/l	0.2	0.3	0.3	0.3	
Manganeso	mg/l	0.05	0.05	0.5	0.1	
Olor	-	accept	-	-	inodora	
pH	unidad	6.5 – 8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5
Sabor	mg/l	-	-	-	-	
Sodio	mg/l	-	-	180	-	
Sulfato	mg/l	250	250	500	400	
Turbidez	UNT	-	-	5	3	

UE: Unión Europea – USA: Estados Unidos. UNT: Unidades nefelométricas de turbidez. (Cruz Vera, 2012)

Parámetros químicos

Los efectos que la contaminación química del agua produce son múltiples; entre los más importantes cabe destacar:

1. Acción tóxica y cancerígena.
2. Incidencia sobre la producción de alimentos.
3. Limitación del uso del agua con fines recreativos.
4. Reducción de las posibilidades de su uso industrial y agropecuario.

Los riesgos que siguen a la contaminación del agua son difíciles de precisar, ya que muchas veces las dosis tóxicas sobre las cuales se trabaja son muy pequeñas, y el problema se complica más por la presencia simultánea de diversos contaminantes.

Parámetros individuales de familias y compuestos orgánicos

Entre las sustancias individuales de familias, pueden mencionarse cuatro hidrocarburos alifáticos de amplio uso industrial y con potencial carácter carcinogénico, y los trihalometanos.

La selección de sustancias individuales dentro de la legislación y la elección hecha por la OMS y la EPA se ha hecho considerando que su presencia en agua sea relativamente frecuente por alguna de estas causas:

1. Porque se formen por reacción entre la materia orgánica existente en las aguas y los agentes desinfectantes u oxidantes empleados en la potabilización; son los llamados Subproductos de Desinfección (DBPs).

2. Porque es fácil que estén presentes en las aguas destinadas a ser potables debido a:

- La derivación de actividades antropogénicas frecuentes como fumigaciones agrícolas.
- Determinadas prácticas industriales.
- La constitución de los materiales con que se construyen.
- El tratamiento de las infraestructuras que están en contacto con el agua.

3. Porque se incorporen al agua durante el proceso de potabilización como agentes necesarios, o como impurezas.

Especies legisladas que pueden incluirse en cada uno de estos grupos

1 -Subproductos de desinfección: los posibles compuestos que pueden originarse en las plantas potabilizadoras durante la etapa de desinfección son muy variados. Su naturaleza y concentración dependen de varios factores entre los que cabría citar:

- La naturaleza y concentración de los compuestos orgánicos presentes en el agua de partida.

- El tipo de agente desinfectante empleado. Lo habitual es utilizar cloro o alguno de sus derivados, pero el comportamiento no es igual para todos ellos. Así, por ejemplo, el dióxido de cloro y las cloraminas generan menos subproductos halogenados que el cloro y sus derivados, ácido hipocloroso e hipocloritos.

- Las etapas de que consta el proceso de potabilización, especialmente la existencia o no de oxidación.

COMPARATIVA DE ANALITOS UE - ARG

Código Alimentario Argentino Vs. Directiva 98/83/CE de la UE.

	CAA	98/83/CE
Acrilamida		0,10 ug/l
Amonio *		0,50 mg/l
Amoníaco	20 ug/l	
Antimonio máx.	10,0 ug/l	5,0 ug/l
Aluminio residual (Al) máx.	200 ug/l	200 ug/l
Arsénico (As) máx.	10 ug/l	10 ug/l
Benceno	10 ug/l	1 ug/l
Boro (B) máx.	0,5 mg/l;	1,0 mg/l
Bromato máx.	10 ug/l	10 ug/l
Cadmio (Cd) máx.	5,0 ug/l	5,0 ug/l
Cianuro (CN-) máx.	100 ug/l	50 ug/l
Cloruro (Cl-) máx.	350 mg/l	0,50 ug/l
Cobre (Cu) máx.	1,00 mg/l	2,0 mg/l
Cromo (Cr) máx.	50 ug/l	50 ug/l
1,2 Dicloro etano	10 ug/l	3 ug/l
Epiclorhidrina		0,10 ug/l
Hierro total (Fe) máx.	300 ug/l	200 ug/l
Mercurio (Hg) máx.	1,0 ug/l	1,0 ug/l
Niquel (Ni) máx.	20 ug/l	20 ug/l
Nitrato (NO ₃ -) máx.	45 mg/l	50 ml/l
Nitrito (NO ₂ -) máx.	0,10 mg/l	0,50 mg/l
Plomo (Pb) máx.	50 ug/l	10 ug/l
Selenio (Se) máx.	10 ug/l	10 ug/l
Sodio		200 mg/l
Sulfatos (SO ₄ =) máx.	400 mg/l	250 mg/l
Plaguicidas		0,50 mg/l



Diferencia en los
parámetros



No están contemplados
en CAA

Elaboración propia.

De esta comparativa, han surgido algunos analitos que en la Argentina no son buscados y otros que han superado el máximo permitido en la norma comunitaria. De acuerdo con los objetivos de este ensayo, vamos a estudiar su importancia toxicológica con la intención de elaborar un documento que proponga la armonización de la normativa en cuanto a la búsqueda en los análisis físico-químicos en los establecimientos elaboradores, así como también la propuesta a la Comisión Nacional de Alimentos (CONAL) para su inclusión en el artículo 982 del CAA. Existen analitos que, si bien no están contemplados en el CAA, son incluidos en sus análisis, por ejemplo el sodio y el fluoruro para industrias que exportan a la Unión Europea.

El Senasa ha firmado un convenio con el Instituto Nacional de Aguas (INA) para realizar los análisis físico-químico y parámetros indicadores de acuerdo con el requerimiento de la Directiva 98/83, con el fin de dar conformidad a esta disposición de la Unión Europea, no obstante el resto de la industria cárnica debe cumplimentar lo establecido en el CAA y puede realizar sus estudios en cualquier laboratorio de la Red Nacional del Senasa.

Sustancias incorporadas al agua durante el proceso de potabilización

La acrilamida y la epíclorhidrina se incorporan al agua porque forman parte, como monómeros, de los compuestos utilizados habitualmente como floculantes en el proceso de potabilización. Ambos compuestos incrementan el potencial carcinógeno del agua, además de producir trastornos en otros sistemas como el nervioso (acrilamida) y estomacal (epíclorhidrina). En Europa, la legislación señala la obligación de aportar documentación sobre la migración máxima de monómeros en contacto con el agua.

En el proceso de tratamiento del agua y con objeto de conseguir una óptima y mejor formación del floculo que, a su vez, lleve a un mayor rendimiento en las etapas de decantación y filtración y, en definitiva, la mejor calidad posible del agua tratada, se utilizan frecuentemente ayudantes de floculación, productos conocidos como “polimeros” o con más precisión “poliacrilamidas”. Estos polimeros de alto peso molecular pueden presentar propiedades aniónicas, catiónicas o no iónicas según su fabricación y usos para los que se apliquen. Su empleo es importante en circunstancias y épocas en las que la floculación presenta más dificultades, como pueden ser los cambios de calidad del agua a tratar y las bajas temperaturas.

□ Acrilamida

La acrilamida fue vendida durante muchos años para uso industrial. Recién en 2002, a través de una publicación del Departamento de Química Medioambiental de la Universidad de Estocolmo (17), se toma conciencia de su peligrosidad. Como consecuencia de estos hallazgos, la FAO y la OMS promovieron una reunión con expertos para analizar y comprender el riesgo al que se enfrentan las personas y sus consecuencias para la salud.

Origen

La acrilamida es un intermediario químico usado en la síntesis de poliacrilamidas. Este monómero, también conocido como etilcarboxamida, vinilamida o 2-propanamida, se presenta en una forma blanca cristalina y fluida. Su peso molecular es 71,09 y su número de registro CAS es 79-0601. Es soluble en agua, etanol, metanol, dimetileter y acetona e insoluble en heptano y benceno (19). Su fórmula molecular es $\text{CH}_2\text{CHCONH}_2$.

La acrilamida tiene un largo número de aplicaciones industriales. Sus principales usos son como floculante en la clarificación de aguas y en la fabricación de papel. En el proceso de tratamiento del agua, una muy pequeña fracción del polímero poliacrilamida, conocida como archilamida residual o monomero libre

de archilamida, no pasa a formar parte del flóculo, es muy soluble en agua y permanece disuelto en ella, es decir que pasa a ser un contaminante del agua tratada. La archilamida polimerizada no es tóxica, pero el monómero puede causar problemas diversos para la salud. Por este motivo, las distintas reglamentaciones obligan a los fabricantes de estos polímeros a limitar el contenido de archilamida libre.

También es utilizado para eliminar sólidos de aguas residuales industriales, para la elaboración de pegamentos y colas, como estabilizante de suelos, como aditivo en cosméticos y en preparaciones de muestras en laboratorios biotecnológicos. Se encuentra, a su vez, en el humo del tabaco y en los gases vertidos por los tubos de escape de los coches.

Vías de ingreso

Los humanos pueden estar expuestos a la acrilamida por ingestión de comida o bebida, por fumar, por contacto de la piel o por exposición a vapores o partículas en el trabajo. Los datos disponibles para caracterizar estas rutas son muy limitados. El consumo relativo de acrilamida de diferentes fuentes se puede estimar midiendo los compuestos que se forman en la hemoglobina (se suelen usar como biomarcadores).

Niveles de consumo diario:

- La FDA ha estimado un consumo de 0.43 µg/ peso corporal/día. Este dato es muy parecido al señalado por la Comisión europea, 0.5 µg/kg peso/día.
- Basado en el recuento de compuestos en la hemoglobina, se estima que el consumo diario de un fumador de veinte cigarros diarios es de 0.85 µg/kg peso/día.
- El consumo diario estimado por agua de bebida (ya que se suele usar la poliacrilamida para eliminar partículas en suspensión) es de 0.01 µg/kg peso/día en dos litros de agua.

Toxicidad

Neurotoxicidad: la naturaleza hidrofílica de la acrilamida sugiere la posibilidad de la formación de aductos neurotóxicos con grupos nucleofílicos, como los que posee la guanina o los grupos sulfidrilos. Además esta formación de aductos con grupos tioles puede ser la responsable de los efectos carcinogénicos y reproductivos de la acrilamida.

En animales expuestos a dosis repetidas de acrilamida, se ha observado como principal efecto el daño en

los nervios periféricos (neuropatía periférica). El mecanismo mediante el cual ejercería sus efectos neurotóxicos es la inhibición del transporte quinésico axonal rápido por fusión de las membranas afectadas y, por lo tanto, la inhibición de la neurotransmisión por acción directa sobre el nervio terminal.

Toxicidad en la reproducción: a dosis elevadas se detecta daño en los testículos (atrofia), y afecta la fertilidad. En pruebas llevadas a cabo en ratas y ratones, se confirmó que la acrilamida es un tóxico que afecta el desarrollo. El estudio se realizó con hembras en estado de gestación nutridas, con alimentos ricos en acrilamida, y con animales tratados a lo largo del embarazo y del periodo de lactancia.

Se ha comprobado que la acrilamida es carcinogénica en ratas de laboratorio. Se observaron tumores en tiroides, testículos, glándulas adrenales y mamas tras exposición a dosis relativamente bajas (2 mg/kg administrada en agua potable). También puede producir tumores en cerebro, medula espinal y otros tejidos.

Estudios epidemiológicos con trabajadores expuestos a la acrilamida no han demostrado la existencia de riesgos excesivos de cáncer estadísticamente significativos, con la única excepción de cáncer de páncreas para el cual se halló una duplicación del riesgo en los trabajadores más expuestos. Además es genotóxica *in vivo* en las células somáticas y en las células germinales y tiene potencial para inducir daño hereditario a nivel genético y cromosómico.

Toxicocinética: los estudios llevados a cabo con animales han demostrado que la acrilamida se absorbe por todas las vías de exposición y es la vía oral la más rápida y completa en todas las especies. Debido a su elevada solubilidad en agua, tanto la acrilamida como su metabolito se distribuyen ampliamente por todos los tejidos corporales. También afectan a la leche y la placenta.

El metabolito de la acrilamida, la glicidamida, es un epóxido que puede ser más crítico por sus propiedades carcinogénicas y genotóxicas que el compuesto madre. El potencial neurotóxico, sin embargo, se debe principalmente a la acrilamida y a los aductos formados con la hemoglobina.

La vida media de eliminación de ambos compuestos es extremadamente corta, aunque siempre queda un pequeño porcentaje que permanece en los tejidos durante algunas semanas. En ratas se ha calculado un tiempo de vida media aproximadamente de dos horas.

Los datos farmacocinéticos en humanos son escasos. En un estudio realizado con voluntarios, el 34 % de la dosis oral administrada apareció en la orina durante las primeras 24 horas. Por su parte, en un trabajo realizado en once hombres y mujeres sanos expuestos

a la acrilamida, a través de la dieta, se observó que la vida media es variable (2 – 2,7 horas). Las cantidades variables de acrilamida detectadas se atribuyeron a la variabilidad entre los sujetos en cuanto a la biodisponibilidad y metabolismo de la acrilamida. También se observó que entre el 10 % y el 50 % de la acrilamida que una embarazada ingiere con la dieta pasa al feto a través de la barrera placentaria.

La exposición a altos niveles de este tóxico causa daño en el sistema nervioso, por eso ha sido clasificado como “probable carcinógeno para los humanos” (clase 2A) por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) y como cancerígeno en la categoría 2 de la Unión Europea (sustancia que debe ser tratada como si fuera carcinógena en humanos). También se clasifica como mutágeno en la categoría 2 y tóxico para la reproducción en la categoría 3 de la Unión Europea.

En 1985, la OMS estableció un valor de ingesta diaria tolerable (IDT) de 12 µg/kg de peso corporal/día. En 1996, estipuló el límite de acrilamida en agua potable en 0,5 µg/L. Mientras que el nivel sin efecto adverso observable (NOAEL) para neuropatía se fijó en 0,5 mg/Kg peso corporal/día, el NOAEL para cambios en la fertilidad es cuatro veces más elevado (2 mg/kg) (Read, 2011).

Métodos de análisis

La acrilamida monomérica es difícil de determinar debido a que es un compuesto altamente polar y muy soluble en agua, de bajo peso molecular, volátil y su molécula es muy reactiva. (Read, 2001)

En la actualidad existen dos técnicas principales para su determinación en alimentos basadas en cromatografía de gases con espectrometría de masas (GC/MS) o en cromatografía líquida con espectrometría de masas. En el último caso, se emplean diferentes sistemas analizadores de masas de tipo tandem o de trampa iónica (HPLC-MS/MS).

Los análisis de acrilamida se realizaron primeramente con GC/MS seguida de bromación a 2,3-ibromoamida (22). Aunque este método es muy sensible, la derivatización –o transformación de un compuesto químico en uno de estructura química similar, pero con propiedades químicas diferentes– es laboriosa y presenta altos tiempos de estudio. Recientemente, se han desarrollado métodos que omiten la derivatización y permiten cuantificar la acrilamida directamente después de una etapa de extracción y *clean-up* mediante GC-MS o HPLC-MS/MS. El método de HPLC tiene la ventaja de simplificar la etapa de extracción.

A pesar de todo ello, los últimos trabajos aparecidos parecen confirmar la validez de las dos técnicas mencionadas, lo que posibilita garantizar las

determinaciones de acrilamida con límites de cuantificación de 30 µg/kg mediante HPLC-MS-MS y 5 µg/kg con GC-MS-MS, con empleo de metodologías de extracción líquido-líquido.

□ Epiclorihidrina (cas106.89-8)

Las normas internacionales para el agua potable de la OMS de 1958, 1963 y 1971, y la primera edición de las *Guías para la calidad del agua potable*, publicada en 1984, no hicieron referencia a la epiclorhidrina. Las guías de 1993 propusieron un valor de referencia provisional basado en efectos sobre la salud de 0,0004 mg/l para la epiclorhidrina. El valor se consideró provisional porque se calculó aplicando un factor de incertidumbre de 10 000. Se señaló que el límite de cuantificación práctico para la epiclorhidrina es del orden de 0,03 mg/l, pero las concentraciones en el agua de consumo pueden controlarse a través de la especificación del contenido de epiclorhidrina de los productos que entran en contacto con ella. Es en el 2003, cuando se realiza la primera evaluación de riesgo, y la OMS incorpora la *Epichlorohydrin in drinking-water*, documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable (Ginebra, Suiza, Organización Mundial de la Salud, WHO/SDE/WSH/03.04/94).

Origen

Epiclorhidrina (ECH abreviado) es un compuesto organoclorado y un epóxido. A pesar de tener ese nombre, no es una clorhidrina, sino un líquido incoloro con un olor similar al ajo picante, moderadamente soluble en agua, pero miscible con la mayoría de los polares orgánicos disolventes. Es un compuesto altamente reactivo y se utiliza en la producción de glicerol, plásticos, pegamentos epoxi y resinas y elastómeros. Se usa también en la fabricación de elastómeros, esteres de glicidilo, almidón alimenticio de doble enlace, agentes tensoactivos, colorantes, productos farmacéuticos, emulsificantes de aceites, lubricantes y adhesivos, así como solvente para resinas, gomas, celulosa, esteres, pinturas y lacas, y como estabilizador de sustancias que contengan cloro (tales como hule), formulaciones de plaguicidas y solventes. En contacto con el agua la epiclorhidrina se hidroliza para 3-MCPD, un carcinógeno encontrado en los alimentos.

Vías de ingreso

Se libera epiclorhidrina en el ambiente como resultado de su manufactura, uso y eliminación. La exposición al ser humano ocurre, sobre todo, en el lugar de trabajo por inhalación y por contacto cutáneo. Puede encontrarse cierta presencia de epiclorhidrina en

alimentos y agua potable, resultado de la migración que se origina en los envases y en los materiales de entubado.

En la atmósfera se degrada, probablemente bajo la influencia de la luz solar. Se considera que el compuesto desaparece del agua con rapidez en razón de su degradación química y de su evaporación, es biodegradable.

Toxicidad

La epiclorhidrina se absorbe rápidamente y en gran cantidad tras la exposición oral, cutánea o por inhalación y se une con facilidad a los componentes celulares. Los principales efectos tóxicos son irritación local y daños en el sistema nervioso central. Su inhalación produce carcinomas epidermoides en las fosas nasales y su ingestión provoca la aparición de tumores en el estómago anterior. Se ha demostrado que es genotóxico *in vitro* e *in vivo*. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha clasificado la epiclorhidrina en el Grupo 2A (probablemente cancerígeno para el ser humano).

Las mayores concentraciones en los tejidos de roedores se encontraron en la nariz después de la inhalación y en el estómago tras la ingestión. En las ratas, independientemente de la vía de exposición, la mayor parte absorbida de las sustancias se metaboliza con rapidez, y es excretada en parte como dióxido de carbono por la vía pulmonar y en parte por la orina en forma de compuestos solubles en agua.

En animales, en caso de exposiciones únicas de epiclorhidrina, es moderadamente tóxica como consecuencia de la exposición oral, poco tóxica en exposición oral y poco tóxica también en exposición por inhalación. Las dosis orales de 206 mg/kg de peso corporal (LD50) y la exposición por inhalación a concentraciones de vapores de 2400mg/m3 durante cuatro horas, o de 1360 mg/m3 durante seis horas (LC50) han demostrado ser letales para la mitad del número de ratas expuestas.

Asimismo, se ha demostrado que las concentraciones de epiclorhidrina de entre 18 y 36 mg/litro de agua son letales para la mitad de los peces (LC50) expuestos durante dos a cuatro días. La exposición a epiclorhidrina indujo esterilidad en roedores machos, y no se obtuvieron pruebas de efectos embriotóxicos, fetotóxicos o teratógenos en animales. La epiclorhidrina es un agente alquilante, pero se desconoce el grado de sus reacciones en el ácido nucleico y las proteínas. En una diversidad de pruebas el compuesto ha demostrado ser mutágeno.

Podemos decir entonces que la epiclorhidrina es carcinógena cuando se administra por inhalación, por

vía oral o por inyección subcutánea. Los tumores se presentan en el lugar de la administración, es decir, el epitelio nasal después de inhalación, el epitelio de la cavidad estomacal después de la cebadura y administración de agua para beber y en el lugar de la aplicación.

En humanos, los vapores de la epíclorhidrina son muy irritantes para los ojos y para el tracto respiratorio, y el contacto cutáneo provoca extensas quemaduras y vesículas cutáneas, aunque dichos efectos pueden no ser aparentes hasta cierto tiempo después de la exposición. La epíclorhidrina puede sensibilizar la piel de los seres humanos. Sobre la base de observaciones posteriores a exposiciones de corto plazo por inhalación de epíclorhidrina es de esperarse que los seres humanos empiecen a experimentar irritación de los ojos y del tracto respiratorio superior a concentraciones de aproximadamente 76 mg/m³.

Estudios con humanos y animales han demostrado efectos adversos en el sistema nervioso central, la nariz, la garganta, los pulmones, el hígado, la sangre, los ojos y la piel. Hasta ahora no se han encontrado efectos degenerativos en los riñones de los seres humanos que han sido claramente observados en los de roedores.

Un número limitado de estudios epidemiológicos no han revelado efectos en la fertilidad de los trabajadores varones expuestos a la epíclorhidrina.

Se obtuvieron resultados contradictorios cuando se examinaron los linfocitos de los trabajadores expuestos ocupacionalmente en concentraciones inferiores a 19 mg/m³ cuando se investigaron aberraciones cromosómicas.

Los datos recopilados por la OMS no han aportado pruebas de carcinogenicidad debida a la epíclorhidrina en los seres humanos. Debe notarse que los estudios se han limitado a pocos sujetos, fue escaso el seguimiento y no se consideraron en forma adecuada los factores de confusión, por lo que no pueden establecerse conclusiones definitivas.

Según lo expuesto puede afirmarse que la epíclorhidrina es mutagénica para animales experimentales, causa esterilidad en roedores machos y podría ser carcinogénica para los seres humanos.

Métodos de análisis

En la página del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), se describe el método Drinking water treatment Chemical Health effects (NSF Standard number 60-Method L-Appendix B; págs. B15, B25 y B24) correspondiente a resinas para tratamiento de aguas y el método CIBA-GEIGY 20/8/78 correspondiente a resinas, como la epíclorhidrina, en contacto con alimentos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis de lo expuesto, se concluye que existe un nivel de concientización y toma de medidas acerca de la contaminación en el agua y una clara evidencia sobre la toxicidad de numerosos compuestos orgánicos que forman parte de nuestra vida. La legislación argentina actual es bastante coherente con las normas mundiales, aunque faltan muchos compuestos por incorporar. De hecho, por ejemplo, de los más de cincuenta compuestos orgánicos para los que la EPA establece estándares en el Reglamento Nacional Primario de Agua Potable, apenas once están contemplados.

En nuestro país, la legislación relativa a la calidad del agua está en muchos aspectos alineada con los parámetros establecidos a nivel mundial y las actualizaciones se vienen gestando por la necesidad de los establecimientos de exportar productos inocuos hacia mercados más exigentes. Sin embargo, se ha podido comprobar una gran falencia en cuanto la exigencia de control en el consumo interno, por ello se recomienda, con el fin de armonizar la legislación, lo siguiente:

- a. El Código Alimentario Argentino debería incluir analitos relativos a los contaminantes desarrollados en este trabajo y que se ha podido demostrar de acuerdo con la literatura científica su relación con el medio ambiente así como su toxicidad.
- b. La Circular 2731A establece los requisitos para garantizar el suministro y la aptitud del agua en virtud del monitoreo microbiológico y físico-químico; sin embargo, no establece qué analitos se deben buscar, ni parámetros ni límites máximos de sustancias. Solo hace mención al Artículo 982 del CAA para establecer el valor de cloro libre. Por lo expuesto, se debería realizar una actualización que incluya los contaminantes o sustancias que deben ser buscados en los análisis de agua que deben efectuar los establecimientos frigoríficos, o en su defecto debería referenciar la legislación vigente relativa a el agua potable (CAA Art. 982).
- c. El Anexo de la Circular 2761A no establece acciones de acuerdo con el hallazgo sino que habla de una circunstancia general y no particular.

En líneas generales, hay que seguir trabajando para poder adecuar el control sanitario dentro de los frigoríficos en la obligatoriedad de los análisis y en la contingencia de los resultados.

En los últimos años, el tema de los factores determinantes de la salud de las poblaciones se ha instalado con fuerza en los organismos sanitarios de la mayoría de los países y de los organismos internacionales.

Sin lugar a dudas, la salud humana depende del conocimiento, la información, la voluntad y la capacidad de la sociedad y de las políticas públicas

para mejorar la interacción entre la actividad humana y el ambiente químico, físico y biológico. Esto debe hacerse de manera que promueva la salud y prevenga la enfermedad, protegiendo así el equilibrio y la integridad de los ecosistemas y evitando, a su vez, comprometer el bienestar de las futuras generaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Australian government (2004), *National Water Quality Management Strategy. Australian drinking water guidelines* 6, Melbourne, Biotext Pty Ltd.
- Badui Degal, S. (2006), *Química de los alimentos*, 4ta. edición, México, Pearson Educación.
- Barceló, D. y M. J. López de Alda (¿año?), "Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes", Barcelona [en línea]. Disponible en: <<http://www.unizar.es/fnca/varios/panel/15.pdf>>.
- Beltrán F. J.; González, M. y J.F. García-Arraya (1991), "Formación de THMs en la cloración de sustancias húmicas. Efectos del ozono y del dióxido de cloro", *Ingeniería Química*, enero, pp. 217-223.
- Biedermann, M.; Biedermann-Brem, S.; Noti, A.; Grob, K.; Egli, P. y H. Mändli (2002), "Two GC-MS methods for the analysis of acrylamide in foods", *Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene* 93 (6), pp. 638-652.
- Castle, L. (1993), "Determination of acrylamide monomer in mushrooms grown on polyacrylamide gel", *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 41, pp. 1261-1263.
- Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL) (2001-2006), "Prevención para la contaminación en la industria cárnica en la región mediterránea", España [en línea]. Disponible en: <file:///C:/Users/Natalia.Mangariello/Downloads/25167_Prevencion_Industria_Carnica_ES.pdf>.
- Cruz Vera, M. *et al.* (2012), "Análisis de la directiva europea 98/83/CE: paradigma de la justificación y establecimiento de los valores paramétricos: el caso concreto de los plaguicidas", *Rev. Esp. Salud Pública* vol. 86, n.º 1, pp. 21-35.
- Decreto 4238. Reglamento de Inspección de Productos, Subproductos y Derivados de Origen Animal [en línea]. Disponible en: <http://www.senasa.gov.ar/Archivos/File/File753-decreto4238_68_2.pdf>.
- Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water of the Federal-Provincial-Territorial Committee on Health and the Environment. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. Health Canada 2010.
- Food Standards Agency (2002), Study of Acrylamide in Food. Background Information & Research Findings [en línea]. Disponible en: <http://www.food.gov.uk/safereating/acrylamide_branch/>.
- Guibert Read, J. (2011), ACRILAMIDA - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad de Belgrano.
- Hoenicke, K.; Gattermann, R.; Harder, W. y L. Hartig (2004), "Analysis of acrylamide indifferent foodstuffs using liquid chromatography–tandem mass spectrometry and gaschromatography–tandem mass spectrometry", *Analytica Chimica Acta* 520, pp.207-215.
- IARC. Monographs Database on Carcinogenic Risks to Human Volumes 1-102. Disponible en: <<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>>.
- International Life Sciences Institute (ILSI Europe), ILSI Europe Concise Monograph Series. Functional Foods. From Science to Health and claims. Multiple Pathways to Health Outcomes [en línea]. Disponible en: <<http://www.ilsi.org/europe/Pages/HomePage.aspx>>.
- John Wiley and Sons Ltd. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA 815-F-00-007) [en línea]. Disponible en: <<http://water.epa.gov/drink/contaminants/index.cfm>>.
- Lagger J. R. *et al.* (2000), "Evolución de la calidad del agua en establecimientos de la cuenca lechera de La Pampa", *Ciencia Veterinaria*, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de La Pampa [en línea]. Disponible en: <<http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/revet/n02a08lagger.pdf>>.
- Mineral commodity summaries (2011), *US Geological Survey* [en línea]. Disponible en: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2011/mcs2011.pdf>>.
- Mueller, T. C.; Main, M.; Thompson, A. y L. E. Steckel (2006), "Glyphosate salts (isopropylamine, diammonium, and potassium) and calcium and magnesium concentrations on the control of various weeds", *Weed Technology* 20, pp. 164-171.
- Naciones Unidas (2005), *Proyecto del Milenio. Invirtiendo en el desarrollo: Un plan practico para conseguir los Objetivos de Desarrollo del Milenio*, Nueva York [en línea]. Disponible

en: < <http://www.unmillenniumproject.org/documents/overviewSpanLowRes.pdf>>.

pp. 880-882.

Office of water U.S. Environmental Protection Agency. Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories; Washington; Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), Disponible en: < http://water.epa.gov/action/advisories/drinking/drinking_index.cfm >

“Sodio y agua: mecanismos de reacción, impacto ambiental y efectos en la salud” [en línea]. Disponible en: <<http://www.lenntech.es/sodio-y-agua.htm#ixzz3J20BDj4J>>.

Onodera, S.; Yamada, K.; Yamagi, Y. y S. Ishikura (1984) “Chemical changes of organic compounds in chlorinated water IX. Formation of polychlorinated phenoxyphenols during the reaction of phenol with hypochlorite in dilute aqueous solution”, *J. Chromatograph* vol. 288, pp. 91-100.

Swedish National Food Administration. 24 Apr 2002. Acrylamide is formed during the preparation of food and occurs in many foodstuffs. <<http://foodandnutritionresearch.net/index.php/fnr/article/viewFile/1456/1324> >

Organización Mundial de la Salud (1993), *Guía para la salud y la seguridad, guía para la salud y la seguridad* PISSQ programa internacional de seguridad de las sustancias químicas, México [en línea]. Disponible en: <<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/eco/004863.pdf>>.

US Department of Health and Human Services. NTP-CERHR: National Toxicology Program – Center for the evaluation of risks to human reproduction (2004), Expert Report on the reproductive and Developmental Toxicity of Acrylamide [en línea]. Disponible en: <http://cerhr.niehs.nih.gov/news/acrylamide/final_report.pdf>.

Organización Mundial de la Salud (2006), *Guía para la calidad del agua potable* [en línea]. Disponible en: <http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf>.

Organización Mundial de la Salud (2011), *Guidelines for drinking-water quality*, 4ta. edición [en línea]. Disponible en: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf>.

Organización Panamericana de la salud, Biblioteca virtual [en línea]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/cd-gdwq/docs_quimicos/Epiclorhidrina.pdf>.

Quevauviller, P. y K.C. Thompson (2005), *Analytical methods for drinking water: advances in sampling and analysis*, Chapter 1: “Drinking water regulations. Water quality measurements series”. Chichester,

Química net web [en línea]. Disponible en: <<http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/10sodio.pdf>>.

Rook, J. J. (1977), “Chlorination reactions of fulvic acids in natural waters”, *J. Environmental Science and Technology* vol. 11 (5), pp. 478-482.

Rosén, J. y K.E. Hellenäs (2002), “Analysis of acrylamide in cooked foods by liquid chromatography tandem mass spectrometry”, *Analyst* 127 (7),