

SELENIO: NUTRIENTE OBJETIVO PARA MEJORAR LA COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL PESCADO CULTIVADO

Vinchira JE¹, Muñoz-Ramírez AP²

Departamento de Ciencias para la Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia

RESUMEN

El selenio (Se) es un micromineral que se encuentra en forma de compuestos inorgánicos como selenito y seleniato, o compuestos orgánicos en forma de seleno-aminoácidos tales como seleno-cisteína y seleno-metionina. El creciente mercado de los alimentos funcionales incluye al selenio (componente funcional) en el grupo de alimentos con efectos positivos para el ser humano. Este mineral genera beneficios para la salud ya que forma parte importante del glutatión peroxidasa (GSH-Px), enzima encargada de proteger el organismo contra agentes oxidantes. Adicionalmente, se reconoce que el selenio tiene efectos positivos en la función inmune, la actividad de la tiroides y la fertilidad. El selenio podría ser incorporado a los filetes de pescado mediante suplementación en la dieta. Este documento presenta una breve revisión sobre la temática de alimentos funcionales, las principales características del selenio y su utilización en sistemas de alimentación para modificar la composición final de productos de origen animal como el pescado.

Palabras clave: alimento funcional, filete, glutatión peroxidasa, suplementación, requerimiento.

SELENIUM: TARGET NUTRIENT TO IMPROVE NUTRITIONAL COMPOSITION OF CULTURED FISH

ABSTRACT

Selenium is a trace mineral that forms both inorganic compounds like selenite and selenate and organic compounds associated with aminoacids like selenomethionine and selenocysteine. The growing functional foods market includes selenium (functional component) in the group of foods with positive effects for human being. This mineral produces benefits for health since it is an important component of Glutathione Peroxidase (GSH-Px), enzyme which protects the organism against oxidation agents. Furthermore, it is recognized that selenium has positive effects in the immune function, activity of the thyroid and fertility. Selenium could be incorporated into fish fillets by nutritional supplementation in the diet. This document presents a short review of the functional foods concept, the main characteristics of selenium and its use in feeding systems to modify the final composition of animal products like fish.

Key words: Functional food, fillet, glutathione peroxidase, supplementation, requirement.

INTRODUCCIÓN

La industria alimenticia moderna dirige parte de sus esfuerzos a encontrar nuevas metodologías para modificar o promover las propiedades naturales de los productos destinados a la alimentación humana. De esta forma surge parte del concepto “alimento funcional” que, por sus características benéficas para la salud humana, se convierte en una pieza importante de la ciencia de alimentos, con trascendencia en el bienestar de los consumidores y admisión en mercados interesantes.

Generar productos de origen animal con características funcionales podría ser una alternativa para impulsar la agregación de valor a los productos primarios de origen animal. El pescado es un alimento con una composición nutricional de calidad para el humano (1), y podría llegar a ser enriquecido aún más con algunos nutrientes que han sido reconocidos por sus beneficios para la salud humana, como el selenio. Este mineral se presenta como posible candidato en la generación de productos funcionales, especialmente en regiones donde el acceso al nutriente por medio de fuentes alimenticias es limitado.

Este artículo hace una breve exploración sobre la temática de alimentos funcionales, las principales características del selenio y algunas experiencias de suplementación del mineral en dietas para peces, permitiendo examinar la posibilidad de incrementar la concentración de selenio en el filete de pescado con el fin de obtener un producto con

valor agregado y propiedades funcionales para el consumidor final.

ALIMENTO FUNCIONAL

El concepto de “alimento funcional” está en continua discusión y desarrollo, y se pueden encontrar diversas apreciaciones entre países y organizaciones reguladoras de la industria alimenticia (2, 3).

Reuniendo la opinión de diferentes autores (2, 3, 4, 5) se podría considerar alimento funcional a todo producto alimenticio, natural o procesado, el cual ha sido modificado por adición, remoción o cambio en la biodisponibilidad de algún componente, mediante herramientas tecnológicas o biotecnológicas, al que le han sido atribuidas propiedades benéficas para la salud más allá de los efectos generados por una nutrición adecuada, debido a que pueden favorecer funciones fisiológicas, y los sistemas nervioso, inmune o cardiovascular, por ejemplo, o reducen el riesgo de adquirir ciertas enfermedades. Asimismo, el término alimento funcional primordialmente tiene un enfoque comercial (6) asociado a productos alimenticios desarrollados que sugieren un beneficio para la salud; generalmente son alimentos que se encuentran asociados a procesos de innovación tecnológica.

En la tabla 1 se presentan algunos ejemplos de alimentos funcionales; los “componentes funcionales” incluidos en la tabla hacen referencia a los compuestos (nutrientes o no) seleccionados para generar un beneficio determinado en la salud del consumidor cuando se elabora y comercializa un alimento funcional.

TABLA 1. Ejemplos de alimentos funcionales y sus beneficios para la salud (7)

Alimento funcional	Componente funcional	Propiedades
Huevos con ácidos grasos ω 3 ^a	Ácidos grasos tipo ω 3	Reducen colesterol total
Productos lácteos fermentados	Probióticos	Mejoran la salud gastrointestinal
Margarinas fortificadas	Ésteres de estanol y esteroleos vegetales	Reducen colesterol total y LDL ^b
Té verde	Catequinas	Reducen el riesgo de algunos tipos de cáncer
Productos de avena	Beta-glucanos	Reducen colesterol total y LDL

a Omega 3.

b Lipoproteínas de baja densidad.

De acuerdo con las propiedades identificadas de los componentes funcionales se pueden establecer clasificaciones generales que permiten agruparlos para su posterior promoción y desarrollo. Por ejemplo, Diplock et ál. (4) presentan una estandarización de acuerdo con las funciones objetivo de algunos componentes reconocidos en Europa de la siguiente manera: productos relacionados con el crecimiento, el desarrollo y la diferenciación, con el sistema cardiovascular, con funciones fisiológicas y de comportamiento, con la fisiología intestinal y que actúan contra el daño oxidativo; en este último grupo incluyen al selenio como componente funcional. En otros campos se reconocen grupos relacionados con la prevención de la osteoporosis y el cáncer (8), entre otros.

Japón es el país con mayor desarrollo en el área de alimentos funcionales, y estableció un sistema de regulación específico para este tipo de productos bajo el esquema Foods for Specified Health Use (Foshu) que permite un control sobre el desarrollo de nuevos productos fun-

cionales y la protección del consumidor (5). En otras naciones son los organismos de la industria alimenticia como el Food and Drug Administration (FDA) en Estados Unidos, el Health Canada en Canadá y la European Community Concerted Action on Functional Food Science (Fufose) en Europa, quienes se encargan de categorizar los alimentos dirigidos a la población humana, sus características y efectos en la salud.

En Colombia no hay una normativa específica que defina y regule la producción, la verificación científica, el desarrollo tecnológico y la comercialización de los alimentos funcionales (9). Existen normas donde se definen temas como: parámetros de fortificación, alimentos infantiles y de uso dietético (resolución 11488 de 1984, Ministerio de Salud); la obligación de enriquecer fuentes alimenticias como la harina de trigo (decreto 1944 de 1996, Ministerio de Salud); los “productos de uso específico” (complementos alimenticios, suplementos dietarios, nutracéuticos) (decreto 3636 de 2005, Ministerio de la Protección So-

cial), y la declaración de propiedades nutricionales de los alimentos (resolución 288 de 2008, Ministerio de la Protección Social). Por su parte, es el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) quien se encarga de controlar y supervisar los productos que se encuentran amparados en estas normas.

Es importante resaltar la diferencia que existe entre los conceptos alimento funcional y “nutracéutico”, término este último empleado en el mundo de la industria alimenticia. Con frecuencia se suelen utilizar indistintamente debido a algunas características que poseen en común, pero esto no quiere decir que sean lo mismo. Un nutracéutico es “un producto aislado o purificado de los alimentos, vendido en presentaciones empleadas comúnmente en medicina como pastillas, jarabes o líquidos” (10); a este producto aislado se le han comprobado beneficios fisiológicos o efectos de protección contra enfermedades crónicas. En Colombia los nutracéuticos son reconocidos mediante el decreto 3636 de 2005 (Ministerio de la Protección Social).

Mercado

La obtención de alimentos con características funcionales para la salud humana representa un mercado mundial dinámico impulsado en la industria alimenticia, con un crecimiento anual que varía entre 8 y 14% (8). En este mercado existe una relación entre sectores como el académico, industrial, administrativo y de consumo. La interacción entre estos participantes delimita el curso que tomará la producción y promoción de los alimentos funcionales.

Se pueden encontrar variaciones en la concepción de los mercados funcionales

entre Occidente y Oriente. En Occidente los alimentos funcionales se ven como una “revolución” y representan un área de gran crecimiento en la industria de alimentos. Por otro lado, en Oriente, los alimentos funcionales han formado parte de su cultura por muchos años, por lo que existen naciones con gran tradición en este sector de la industria alimenticia como Japón a quien se le atribuye su origen (3, 6).

El creciente interés por el desarrollo del concepto y consumo de alimentos funcionales puede deberse parcialmente al cambio de mentalidad que demuestran los consumidores. Cada vez más el consumidor está interesado en cuidar su salud y mejorar su calidad de vida, lo que ha provocado un cambio en sus criterios de selección al adquirir un producto y lo ha involucrado en la estructuración de una industria alimenticia creciente, principalmente en países desarrollados (8). El cliente ve en el alimento funcional —cuyas ventajas han sido promovidas por el sector que lo desarrolla—, una alternativa para alcanzar el bienestar que está buscando.

De acuerdo con información de Subirade (8), para el año 2007 Japón era el mayor mercado de alimentos funcionales con una cifra de 11,7 billones de dólares por año, seguido por Estados Unidos con 10,5 billones de dólares por año y el mercado Europeo con 7,5 billones de dólares por año. En Suramérica es importante resaltar a Brasil; aunque la industria de alimentos funcionales en este país es relativamente joven, ese sector ha crecido rápidamente estimando ventas para el año 2009 de 1,9 billones de dólares.

En Colombia el mercado de alimentos funcionales es un renglón de la in-

dustria alimenticia que apenas está iniciando y tiene importantes posibilidades de crecimiento (11, 12). De acuerdo con Sarmiento (9), el creciente interés en el país por el tema de los alimentos funcionales ha permitido la conformación de grupos de trabajo en universidades y centros de investigación, una buena señal para la expansión de un importante mercado mundial.

En el país, las iniciativas de promoción y comercialización de alimentos con propiedades benéficas para la salud de los consumidores se han basado principalmente en la fortificación de productos con vitaminas, minerales y la reducción de algunos componentes como colesterol y azúcar (11). Sin embargo, también se pueden identificar productos que incluyen ácidos grasos tipo omega 3, probióticos y fibra dietaria (en huevos, margarinas, bebidas lácteas fermentadas, entre otros) (12).

Reconociendo la dinámica del mercado de alimentos funcionales, su impacto en las economías continentales y en la población que demanda este tipo de productos, sería conveniente que Colombia fortaleciera el desarrollo de este tipo de alimentos como alternativa para el avance de una industria alimenticia con potencial. Para esto es importante tener en cuenta los principales factores que permiten la estabilidad y el éxito de esta industria y que son presentados a continuación (13):

- Aplicación de innovaciones tecnológicas que resulten en desarrollos que conlleven beneficio para la salud humana.
- Explorar el desarrollo de nuevas variedades de alimentos funcionales.
- Establecer regulaciones en la industria.

- Mejorar el conocimiento y entendimiento de los consumidores acerca de alimentos que generan un beneficio para la salud.

Fortalecer esta industria en el país requiere un importante esfuerzo a largo plazo del cual Colombia podría obtener resultados positivos, aprovechando la creciente demanda de alimentos funcionales en el mundo y la variedad de recursos alimenticios con que cuenta el país.

SELENIO, COMPONENTE FUNCIONAL

El selenio es un mineral que al ingerirse en determinadas cantidades genera beneficios para la salud humana (14). A continuación se presentan algunas consideraciones con respecto a este mineral, necesarias para comprender por qué podría ser un nutriente objetivo (componente funcional) para mejorar la composición de productos alimenticios como el pescado.

Generalidades

El selenio es un micromineral que se encuentra distribuido de forma variable en la corteza terrestre, es esencial para los animales y de vital importancia en el metabolismo normal de los humanos (14, 15, 16, 17).

Químicamente el selenio es considerado un metaloide. Forma compuestos inorgánicos como selenito y seleniato, o compuestos orgánicos en forma de seleno-aminoácidos tales como selenocisteína y seleno-metionina, entre otros (18, 19).

El selenio se encuentra en todas las células del cuerpo, en una concentración de 10 mg/60 kg de peso corporal (para el humano) (19); se considera que en el

hígado, los riñones, los músculos, los nódulos linfáticos y el bazo las concentraciones son más altas en comparación con el resto de los tejidos (15, 16). Estos niveles del mineral pueden ser afectados por la ingestión del mismo en la dieta.

Una vez ingerido, el principal sitio donde se absorbe el selenio es el duodeno, encontrándose una mayor eficiencia de retención cuando el consumo del mineral es bajo. En cuanto a la fuente del mineral, en general se considera que las formas orgánicas presentan una mayor biodisponibilidad que las inorgánicas (20).

Según Manzanares (21), después del proceso de absorción el selenio plasmático es transportado en un 60-70% en la selenoproteína P (SePP), 30% en la glutatión peroxidasa (GSH-Px) y 10% ligado a la albúmina y lipoproteínas de baja y muy baja densidad; el mineral ingresa a los tejidos en forma de seleno-metionina y seleno-cistina, en el caso de tejidos animales.

Una vez asimilado por el cuerpo, el selenio que no es retenido es excretado en su mayoría por medio de la orina, sin embargo, se puede eliminar también por medio de la respiración en forma metilada (dimetil-selenol) o en las heces (16, 17, 19, 21). Los metabolitos excretados en la orina se presentan en forma mono-metilada y tri-metilada, cuya proporción varía de acuerdo con la cantidad de selenio presente; en bajas cantidades es excretado en forma mono-metilada, mientras que con altas concentraciones se elimina de las dos formas, principalmente la tri-metilada.

Fuentes

Alimentos

De acuerdo con Rayman (22), el ingreso del selenio en la cadena alimentaria se realiza principalmente a través de las plantas que absorben el selenio disponible en el suelo en forma orgánica e inorgánica. Las concentraciones de selenio en los diferentes alimentos varían de acuerdo con factores como la localización geográfica, las características del suelo, los cambios climáticos, el contenido de proteína del alimento y el procesamiento (23). Adicionalmente, prácticas humanas como la agricultura y la utilización de combustibles fósiles sulfurados tienden a disminuir la disponibilidad del mineral (24).

El tipo de suelo y las condiciones climáticas tienen influencia en la absorción de selenio por parte de las plantas. Los suelos de regiones volcánicas, los suelos ácidos y los que presentan alto contenido de hierro o aluminio son pobres en selenio; la acidez del suelo lleva a que el selenio se encuentre en forma de selenito que es menos soluble y disponible para la planta debido a que involucra transporte activo (25), por el contrario, con pH más altos el mineral se encuentra en la forma oxidada seleniato que es aprovechada más fácilmente por las plantas.

Existen regiones del mundo donde los suelos son pobres en selenio y hay deficiencias del mineral. Esta situación se presenta en zonas de China, Nueva Zelanda, Dinamarca, Australia, África y Rusia, encontrándose valores de selenio inferiores a 0,05 ppm. Por el contrario, se pueden encontrar zonas con un manifiesto exceso de selenio (suelos que pueden tener más de 5 ppm) como Canadá, Irlanda, Francia, Alemania, algunas zonas de Estados Unidos y de China, entre otros (23).

En Colombia se han identificado regiones con un marcado exceso de selenio en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Santander (26). Por ejemplo, en los esquistos del piso Villeta (formación geológica) se han encontrado contenidos de selenio entre 0,4 y 63 ppm, y en suelos superficiales se han encontrado valores de 20 ppm en la región de Útica (Cundinamarca) (25, 26).

En las tablas 2 y 3 se presenta la concentración de selenio de algunas fuentes alimenticias. Es importante resaltar que los valores presentados son referenciales ya que para realizar una evaluación de las concentraciones de selenio en grupos alimenticios se debe registrar el origen, las condiciones ambientales y el manejo que tuvo el alimento.

TABLA 2. Contenido de selenio de algunos alimentos

Alimento/ Grupo alimentos	Contenido de selenio ^a	Fuente
Cereales	0,01-0,55	18
Carne, pescado, huevos	0,02-0,5	23
Leche, productos	0,01-0,17	27
Vegetales, frutas	<0,001-0,02	18
Cebolla	0,12	23
Brócoli	0,001-0,46	18
Ajo	0,05	27
Langosta	0,08-4,43	18
Nueces del Brasil	0,85-53	18

^a µg/g, base húmeda.

TABLA 3. Contenido de selenio de algunos pescados de interés comercial

Pescado	Contenido de selenio ^a	Fuente
Salmón	0,27-0,37	23
Sardinias	0,45-0,57	27
Bacalao	0,29	27
Tilapia	0,03	1
Atún enlatado (en aceite)	0,81	23

^a µg/g, base húmeda.

Los niveles de selenio encontrados en los alimentos generalmente están en un rango de 0,01 a 0,8 µg/g, aunque se pueden encontrar algunos recursos

alimenticios con niveles elevados de este mineral como las nueces del Brasil (*Bertholletia excelsa*) (53 µg/g, incluso superior), demostrando la habilidad de

ciertas plantas para acumular selenio que toman del suelo sin presentar síntomas de toxicidad (18, 27, 28). Dentro de los vegetales que pueden concentrar selenio, es decir, “acumuladores”, se encuentran los géneros *Astragalus*, *Brassica*, *Stanleya*, *Allium*, *Xylorhiza* y *Oonopsis*, entre otros (26, 28); los vegetales del género *Allium* (ajo, cebolla) y *Brassica* (brócoli) son los que se emplean en la alimentación humana (tabla 2) y su contenido de selenio puede incrementarse drásticamente (valores mas allá de 27 µg/g en base húmeda) cuando se cultivan en suelos enriquecidos con el mineral (28).

Las carnes, junto con los cereales, representan los grupos de alimentos con mayor concentración del micromineral. De acuerdo con Iqbal et ál. (27) los alimentos ricos en proteína representan las fuentes con mayor concentración de selenio en comparación con otros productos alimenticios.

Por otro lado, se encuentran las frutas y los vegetales cuyas concentraciones de selenio, en general, son bajas. Esto se podría explicar por el bajo contenido de proteína y mayor cantidad de agua que tiene este grupo de alimentos. El contenido de proteína del alimento tiene influencia en la concentración de selenio ya que el mineral puede reemplazar la fracción azufrada de aminoácidos en forma de seleno-metionina, seleno-cisteína y seleno-cistationina, debido a su similitud fisicoquímica (23).

Sintéticos

El selenio presente en los alimentos no es la única vía para acceder al mineral. Se pueden encontrar fuentes sintéticas aisladas como selenito de sodio, seleniato de sodio, seleno-metionina y seleno-levaduras; el selenio obtenido a través de

las levaduras, generalmente *Saccharomyces cerevisiae*, se logra cultivando a los microorganismos en medios enriquecidos con el mineral (28, 29).

De acuerdo con Schrauzer (29), de las formas sintéticas del selenio, el selenito de sodio y seleniato de sodio (fuentes inorgánicas) han sido utilizadas en premezclas vitamínicas, mezclas proteicas, productos para perder de peso y alimentos para animales. La seleno-metionina (fuente orgánica) se ha manejado en otro número importante de suplementos debido a que esta forma es la más abundante en los alimentos.

Existen fuentes sintéticas de selenio adicionales a las mencionadas como el *p*-metoxi-bencilo selenocianato y 1,4 – fenileno bis (metileno) selenocianato (30) y las nanopartículas de selenio (31), por ejemplo. La preparación de estos compuestos busca obtener fuentes alternativas del mineral.

Es importante mencionar que la utilización de las diferentes fuentes sintéticas de selenio en el mundo se encuentra determinada por las normas que establezcan las instituciones reguladoras mundiales o locales de la industria alimenticia. En Colombia, las “Normas farmacológicas” expedidas por el INVIMA en el año 2006 aceptan el selenito de sodio, seleno-levadura, quelato de selenio, ácido selenioso, selenato de potasio, como fuentes permitidas del oligoelemento en alimentación humana.

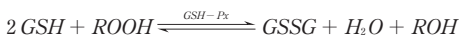
Requerimientos y beneficios para el humano

El selenio es un nutriente esencial para el humano e interviene en diferentes procesos metabólicos en asociación con proteínas. Los requerimientos diarios del mineral son de 55 µg al día para hom-

bres y mujeres (14). Este valor de requerimiento diario está representado en la cantidad de selenio necesaria para maximizar la actividad de la GSH-Px, enzima de gran importancia para la protección celular (32); el grado de actividad de esta enzima en diferentes tejidos también ha sido usado como parámetro para evaluar el estatus de selenio en animales (33). Sin embargo, la GSH-Px no es el único marcador del estatus nutricional de selenio ya que también se puede emplear la SePP (21).

Una de las funciones más ampliamente reconocidas del selenio es que actúa como cofactor de la enzima GSH-Px (presente en forma de seleno-cisteína), hallazgo realizado a principios de los años setenta (34). De esta proteína se pueden encontrar las isoenzimas GSH-Px1, GSH-Px2, GSH-Px3, GSH-Px4, que se localizan en eritrocitos, tracto gastrointestinal, de forma extracelular e intracelular, respectivamente (23).

La función de la GSH-Px es proteger contra el daño oxidativo celular y subcelular componentes lipídicos y membranas por parte de agentes oxidantes como los hidroperóxidos (35, 36). Por ejemplo, los peróxidos son eliminados por la GSH-Px utilizando glutatión (GSH) como agente reductor, de la siguiente manera:



El glutatión, en su forma oxidada (GSSG), es reducido nuevamente mediante la glutatión reductasa, una flavoproteína que utiliza NADPH como donador de electrones (32). Finalmente, peróxidos y un amplio rango de hidroperóxidos orgánicos son transformados en agua y sus correspondientes alcoholes, respectivamente.

La acción antioxidante no es la única propiedad benéfica del selenio ya que se han encontrado efectos positivos del mineral en la respuesta antiinflamatoria, actividad de la tiroides y la fertilidad (15,34), así como en el mejoramiento de la respuesta inmune y efectos anticancerígenos utilizando niveles por encima del requerimiento (100 y 200 µg al día, respectivamente) (14, 15, 22, 29). Adicionalmente, este mineral tiene participación en diferentes actividades fisiológicas en forma de seleno-proteínas, de las cuales se han identificado más de 30 (18, 20). De esta forma se puede reconocer al selenio como un mineral de gran importancia para la salud humana, con propiedades que lo destacan como candidato al momento de pensar en desarrollar un alimento funcional.

Se reconocen dos reservas corporales de selenio presentes en humanos y animales, estas son: el selenio presente en forma de seleno-metionina y el que se encuentra en forma de GSH-Px1 hepática (14). Sin embargo, cuando la ingesta del mineral es insuficiente se puede presentar deficiencia.

Debido a su intervención en diferentes rutas metabólicas del organismo, la deficiencia del mineral está asociada con efectos negativos para la salud de las personas. Algunos son: envejecimiento, artritis, cáncer, enfermedades cardiovasculares, enfermedades de Keshan y Kashin-Beck, inmunodeficiencia, diabetes o distrofia muscular, entre otros (18).

Toxicidad para el humano

El selenio es un mineral que trae beneficios para la salud humana, pero tanto su deficiencia como su exceso provocan problemas importantes. La intoxicación crónica con este mineral se conoce como

“seleniosis”, afección caracterizada por pérdida del cabello, cambios en la morfología de las uñas, trastornos gastrointestinales, salpullido, aliento con olor a ajo, funcionamiento anormal del sistema nervioso y alteraciones endocrinas, síntomas que se manifiestan de acuerdo con el grado de intoxicación (14, 20). Estas alteraciones se pueden encontrar en personas con consumos de selenio superiores a los 850 µg por día (14).

Aunque el análisis de toxicidad por selenio tiene un grado de complejidad importante debido a que la intoxicación depende de factores como la fuente de selenio, el método de administración, la especie, el tiempo de exposición, el estatus fisiológico y la interacción con otros metales, entre otros (23), se han establecido límites de ingestión diaria que sugieren “no representar un riesgo para la salud de los individuos”. El límite de ingestión propuesto por la Food and Nutrition Board (14), evaluando incidencias de intoxicación en personas expuestas, es de 400 µg por día para adultos.

Sin embargo, Kaprara y Crasas (37) sugirieron que podrían existir efectos adversos en la síntesis de hormonas tiroideas, de crecimiento e insulina con consumos diarios cercanos a 300 µg. Stranges et ál. (38) indican que una suplementación a largo plazo (7 años) con 200 µg por día de selenio podría incrementar el riesgo de adquirir diabetes tipo 2; por el contrario, Schrauzer (29) afirma que existe un amplio rango de seguridad con consumos extra-dietarios de 200 µg por día de selenio, incluso por periodos prolongados de tiempo, en coherencia con los valores referenciales de la Food and Nutrition Board (14).

En Colombia se acepta el valor referencial de 400 µg de selenio por día

(máximo consumo tolerable), como se señala en el decreto 3863 de 2008 (Ministerio de la Protección Social) que establece los requisitos para la fabricación y comercialización de suplementos dietarios, tomando como referencia los lineamientos propuestos por entidades internacionales como la FDA y la (EFSA).

SUPLEMENTACIÓN CON SELENIO EN DIETAS PARA PECES

De acuerdo con Pedrero y Madrid (20) y Rayman (22), tanto las propiedades del selenio a favor de la salud humana como la evidente escasez del mineral en algunas regiones del mundo han permitido que sea incorporado y tenga un impacto importante en la industria alimenticia actual. De esta forma se han buscado alternativas para distribuir el mineral en la población, una de ellas consiste en la suplementación de las dietas de animales de consumo humano; se han realizado experiencias de suplementación para enriquecer productos de origen animal como la leche (39, 40), los huevos (41, 42), la carne de cordero (43, 44) y el pescado (45, 46), entre otros.

El selenio es un nutriente esencial para los peces y participa en importantes procesos metabólicos del animal; su deficiencia puede generar retraso en el crecimiento, distrofia muscular, pérdida del apetito y mortalidad, entre otros (47, 48). En general, el requerimiento nutricional de selenio en los peces se encuentra en un rango de 0,15-0,5 mg Se/kg de dieta en materia seca (48), con los alimentos y el agua (captura por medio de branquias) como las principales fuentes del mineral. Trabajos realizados por Hilton et ál. (49) y Gatlin et ál. (50) han establecido que los requerimientos dietarios de selenio para trucha arco iris

y pez gato americano son de 0,25 y 0,38 mg/kg, respectivamente; estos hallazgos han servido como base para posteriores estudios con otras especies de peces de consumo.

Reconociendo la importancia del selenio para los peces se han evaluado diferentes fuentes dietarias orgánicas e inorgánicas del mineral. Wang y Lowell (51) evaluaron la biodisponibilidad de selenito de sodio, seleno-metionina y seleno-levadura (unas de las fuentes de selenio más empleadas en alimentación animal) en pez gato americano (*Ictalurus punctatus*). Los autores encontraron que la biodisponibilidad para crecimiento de las fuentes orgánicas, seleno-metionina y seleno-levadura, fue mayor con respecto a la fuente inorgánica (selenito de sodio) con valores de biodisponibilidad relativa de 363 y 269%, respectivamente. Estos hallazgos fueron similares a los obtenidos por Jaramillo et ál. (52) con lubina estriada (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*), quienes observaron una mayor biodisponibilidad de la seleno-metionina estimada como selenio corporal en relación con el selenito de sodio, con un valor relativo de 330%.

Al suplementar selenio en dietas para peces con valores totales de inclusión cercanos al requerimiento o superiores, empleando fuentes orgánicas e inorgánicas del mineral, se han encontrado mejoras en variables productivas como ganancia de peso, conversión alimenticia, consumo de alimento y mortalidad en carpa dorada salvaje (46), pez gato americano (51), lubina estriada (52) y trucha arco iris (53). Adicionalmente, se ha identificado un efecto positivo al suplementar selenio en las dietas de peces para mitigar los efectos negativos del cultivo en altas densidades —como el estrés oxidati-

vo— con trucha arco iris (53), así como un mejor comportamiento del pez gato africano (*Clarias gariepinus*, B.) frente a la toxicidad por cobre (54).

Desde luego, se han registrado algunos límites de inclusión al suplementar selenio en las dietas para peces debido a problemas de toxicidad que se manifiestan cuando se emplean concentraciones superiores a 10 mg de selenio/kg de dieta, como se reporta en especies como trucha arco iris (49), pez gato americano (50), esturión blanco (*Acipenser transmontanus*) (55) y lubina estriada (52); Hilton, Hodson y Slinger (49) además propusieron que consumos prolongados con 3 mg de selenio/kg de dieta también pueden tener efectos negativos en la trucha arco iris.

Los efectos tóxicos provocados por los niveles elevados de selenio se pueden manifestar como reducción en el crecimiento, eficiencia alimenticia e incremento en la mortalidad de los peces, situación que puede ser acentuada por las características del agua teniendo en cuenta que estos animales pueden absorber selenio por medio de las branquias (48).

Fuentes de selenio diferentes a selenito de sodio, seleno-metionina y seleno-levadura también se han estudiado en la alimentación de peces. Schram et ál. (56) utilizaron ajo con baja y alta concentración de selenio (1,5 y 853 mg/kg selenio en materia seca, respectivamente) en diferentes niveles de inclusión como fuente alternativa del mineral en dietas para pez gato africano. Con un total de 1,2% de inclusión de ajo en las dietas suministradas, en este estudio se observaron mejoras en parámetros productivos como crecimiento y conversión alimenticia con cantidades de selenio superiores

al requerimiento ($>0,38$ mg/kg de dieta), sin generar efectos negativos sobre los animales. Por otro lado, Zhou et ál. (57) evaluaron el efecto de nanopartículas de selenio (selenio elemental) y una fuente convencional (seleno-metionina) en dietas para carpa dorada salvaje (*Carassius auratus gibelio*). Los autores demostraron que las nanopartículas de selenio sirven como fuente alternativa de selenio para suplementar dietas de carpa dorada salvaje y generan respuestas positivas de crecimiento similares a las alcanzadas con seleno-metionina. Sin embargo, registraron un mayor contenido de selenio en músculo al final del experimento con nanopartículas en comparación con seleno-metionina (16,42 y 13,52 μg de selenio/g de materia seca, respectivamente) sugiriendo una mayor eficiencia de utilización de las nanopartículas.

La deposición de selenio dietario en músculo es un aspecto que se ha tenido en cuenta al suplementar el mineral en dietas para peces, y representa un punto fundamental para determinar la posibilidad de incluir al selenio en el pescado como un componente funcional para el humano, reconociendo que la administración de selenio dietario no tiene efectos negativos sobre los peces si no se exceden determinadas dosificaciones (>10 mg Se/kg), como se mencionó. En la tabla 4 se presenta la concentración de selenio en músculo alcanzada al suplementar el mineral en dietas para diferentes especies de peces. Estos estudios no reportan efectos negativos de la suplementación en el comportamiento productivo de los animales con las dosis utilizadas en las dietas, cuyo valor más alto fue el manejado por Schram et ál. (56) con 8,5 mg Se/kg de dieta en pez gato africano; dosis de selenio superiores

se han empleado en estudios para evaluar el requerimiento o los niveles tóxicos del mineral (49, 50, 55).

Los hallazgos de suplementación presentados anteriormente demuestran que es posible cambiar la concentración de selenio en el músculo de los peces cuando se modifica su nivel de inclusión en la dieta, incrementándose a medida que la cantidad del mineral en el alimento es mayor, como ocurre con otras especies animales (16). Las concentraciones de selenio en los filetes alcanzadas después de un periodo de suplementación pueden contener valores de selenio superiores a las encontradas naturalmente en pescados de consumo (ver tabla 3) y que permiten acercarse o sobrepasar ampliamente el valor de requerimiento nutricional para el humano (55 μg de selenio/día) (14). Teniendo en cuenta que en los estudios mencionados la concentración de selenio en músculo más baja fue de 0,54 $\mu\text{g/g}$ (51), un consumo diario de 100 g de este filete (materia seca) suministraría alrededor de 54 μg de selenio. Conociendo los valores de absorción (88%) y retención (85%) del mineral en humanos cuando el selenio proviene de una fuente alimenticia como el pescado (59), se estima que el total ingerido correspondería a 40,4 μg de selenio/día; para que el filete de 100 g alcanzara una concentración que lo situara como una fuente alimenticia de carácter funcional, que promoviera el fortalecimiento de sistema inmune o con efectos preventivos contra el cáncer (100-200 μg selenio/día), se requeriría una deposición de selenio en músculo entre 1,34 y 2,67 $\mu\text{g/g}$ materia seca. Teniendo en cuenta que el valor máximo de consumo tolerable para el humano es de 400 μg de selenio/día (14), la concentración final de selenio en

TABLA 4. Contenido de selenio en músculo después de un periodo de suplementación con una fuente orgánica (seleno-metionina)

Especie ^a	Semanas	Cantidad Se ^b	Contenido en músculo ^c	Referencia
Salmo salar	8	1,20	0,48	58
		2,20	1,57	
		3,20	2,51	
Ictalurus punctatus	9	0,05	0,12	51
		0,07	0,28	
		0,11	0,36	
		0,25	0,45	
		0,45	0,54	
Carassius auratus gibelio	4	0,05	5,90	46
		0,55	14,20	
Carassius auratus gibelio	4	0,05	6,10	57
		0,55	13,52	
Morone chrysops x M. saxatilis	6	1,22	0,33	45
		1,32	0,30	
		1,42	0,32	
		1,62	0,38	
		2,02	0,45	
		2,82	0,55	
Clarias gariepinus, B. ^d	6	1,86	1,22	56
		1,92	1,13	
		2,77	1,65	
		3,94	2,26	
		5,14	2,83	
		8,51	4,01	

^a El requerimiento nutricional de Se de estas especies se encuentra entre 0,25-0,38 mg/kg.

^b mg/kg, valor total presente en la dieta.

^c Se, µg/g materia seca. ^c Se, µg/g materia seca.

^d Ajo como fuente de selenio.

filete no debería sobrepasar los 5,35 µg/g de materia seca.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El selenio es un micromineral fundamental en importantes procesos metabólicos en el humano que proporciona beneficios para la salud y reduce el riesgo de adquirir ciertas enfermedades. Estas propiedades han llevado a que el selenio sea considerado un nutriente de importancia en el creciente mercado de los alimentos funcionales.

El acceso al mineral para la alimentación humana proviene principalmente de los alimentos (de origen vegetal y animal), cuya concentración puede variar ampliamente por factores extrínsecos e intrínsecos a estos, siendo la ubicación geográfica y las características de sus suelos unos de los más determinantes, de forma que se pueden encontrar regiones en el mundo donde se han registrado problemas de deficiencia, así como también, problemas por toxicidad asociados con el mineral.

Partiendo del hecho de que el selenio puede tener impactos positivos en la salud humana, y que existen áreas con deficiencia del mismo, es posible afirmar que este mineral es un nutriente objetivo que puede ser utilizado para mejorar la composición nutricional del pescado caracterizándolo como un alimento funcional. Esta modificación se puede lograr con la suplementación de selenio en dietas para peces, sin generar efectos tóxicos para los animales, empleando dosis inferiores a 10 mg/kg dieta.

Sería importante realizar investigaciones de suplementación con selenio empleando especies de importancia en la piscicultura del país, para evaluar fuentes del mineral, biodisponibilidad, nive-

les de deposición, interacción con otros nutrientes, efecto del procesamiento y protocolos de producción. Este tipo de producto (alimento funcional) tendría acceso a nichos de mercado específicos, como los que existen para otros productos enriquecidos de origen pecuario.

Es importante la interacción entre los sectores gubernamental, académico, industrial, administrativo y de consumo que permita determinar los beneficios y riesgos de la suplementación con selenio en dietas para animales de consumo. Esto implicaría orientar los esfuerzos de investigación para la identificación de los recursos alimenticios disponibles, verificación del consumo de selenio en el país y generación de normas que reglamenten la producción segura de alimentos funcionales.

REFERENCIAS

1. Gonzales JM, Brown PB. Nile tilapia *Oreochromis niloticus* as a food source in advanced life support systems: Initial considerations. *Adv Space Res* 2006; 38: 1132-7.
2. Neva EC. Mitos y realidades de los alimentos funcionales. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia. Monografía pregrado. Bogotá, Colombia, 2004. p. 7-9.
3. Tapsell L. Functional foods: An Australian perspective. *Nutr Diet* 2008; 65 Supl 3: 23-6.
4. Diplock AT, Aggett PJ, Ashwell M, Bornet F, Fern EB, Roberfroid MB, et ál. Scientific concepts of functional foods in Europe - Consensus document. *Br J Nutr* 1999; 81 Supl 1: 1-27.
5. Shimizu T. Health claims on functional foods: the Japanese regulations and international comparison. *Nutr Res Rev* 2003; 16: 241-52.
6. Katan MB, De Roos NM. Promises and problems of functional foods. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2004; 44: 369-77.

7. ADA (American Dietetic Association). Position of the American Dietetic Association: Functional Foods. *J Am Diet Assoc* 2004; 104: 814-26.
8. Subirade M. Report on functional foods. FAO/AGNS. Rome, Italy, 2007. www.fao.org/ag/agn/agns/files/Functional_Foods_Report_Nov2007.pdf. Noviembre, 2008.
9. Sarmiento LA. Alimentos funcionales, una nueva alternativa de alimentación. *Orinoquia* 2006; 10: 16-23.
10. Health Canada. Nutraceuticals/Functional Foods and Health Claims on Foods - Policy Paper, 1998. www.hc-sc.gc.ca/fn-an/label-etiquet/claims-reclam/nutra-funct_foods-nutra-fonct_aliment-eng.php. Noviembre, 2008.
11. Naranjo E, Vanegas LE. Mercado de alimentos funcionales. *Revista Alimentos* 2009; 9. Disponible en: <http://www.revistaalimentos.com.co/ediciones.htm>. Julio, 2009.
12. Camargo A. En la onda saludable. *Revista Dinero – Sección Especial Comercial*. Publicaciones Semana. Junio 2009. Disponible en: <http://www.dinero.com/noticias-especial-comercial/onda-saludable/60800.aspx>.
13. Hirahara T. Key factors for the success of functional foods. *Biofactors* 2004; 22: 289-93.
14. Food and Nutrition Board – Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes. *Dietary Reference Intakes for vitamin C, vitamin E, selenium, and carotenoids*. National Academy Press, Washington DC; 2000.
15. Ryan-Harshman M, Aldoori W. The relevance of selenium to immunity, cancer, and infectious/inflammatory diseases. *Can J Diet Prac Res* 2005; 66: 98-102.
16. Church D, Pond W, Pond K. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. 2 ed. México D.F: Limusa; 2004.
17. Shimada A. *Nutrición Animal*. México D.F: Trillas; 2003.
18. Reilly C. Selenium: A new entrant into the functional food arena. *Trends Food Sci Technol* 1998; 9: 114-8.
19. Suzuki KT. Metabolomics of selenium: Se metabolites based on specific studies. *J Health Sci* 2005; 51: 107-14.
20. Pedrero Z, Madrid Y. Novel approaches for selenium speciation in foodstuffs and biological specimens: A review. *Anal Chim Acta* 2009; 634: 135-52.
21. Manzanares W. Selenio en los pacientes crí-ticos con respuesta inflamatoria sistémica. *Nutr Hosp* 2007; 22: 295-306.
22. Rayman MP. Food-chain selenium and human health: emphasis on intake. *Br J Nutr* 2008; 100: 254-68.
23. Navarro M, Cabrera C. Selenium in food and the human body: A review. *Sci Total Environ* 2008; 400: 115-41.
24. Cox DN, Bastiaans K. Understanding Australian consumers' perceptions of selenium and motivations to consume selenium enriched foods. *Food Qual Prefer* 2007; 18: 66-76.
25. Matamoros A. Distribución especial de selenio en suelos y su comportamiento geoquímico local al oriente de los municipios de Útica y Villeta. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Tesis Maestría. Bogotá, Colombia; 2002.
26. Benavides ST, Silva F. *Seleniosis*. 2 ed. Bogotá: IGAC; 1965.
27. Iqbal S, Gul T, Iqbal M, Akhtar M, Adil R. Determination of selenium content in selected Pakistani foods. *Int J Food Sci Technol* 2008; 43: 339-45.
28. Pyrzynska K. Selenium speciation in enriched vegetables. *Food Chem* 2009; 114: 1183-91.
29. Schrauzer GN. *Nutritional Selenium Supplements: Product types, quality, and safety*. *J Am Coll Nutr* 2001; 20: 1-4.
30. Reddy BS, Rivenson A, Rao CV, El-Bayoumy K, Upadhyaya P, Pittman B. Chemoprevention of colon cancer by organoselenium compounds and impact of high – or low – fat diets. *J Natl Cancer Inst* 1997; 89: 506-18.
31. Zhang JS, Gao XY, Zhang LD, Bao YP. Biological effects of a nano red elemental selenium. *Biofactors* 2001; 15: 27-38.
32. Berg JM, Tymoczko JL, Stryer L. *Bioquímica*. 6 ed. Madrid: Reverté; 2008.

33. Bügel SH, Sandstrom B, Larsen EH. Absorption and retention of selenium from shrimps in man. *J Trace Elements Med Biol* 14: 198-204, 2001.
34. Beck MA. Selenium and vitamin E status: impact on viral pathogenicity. *J Nutr* 2007; 137: 1338-40.
35. Arteel GE, Sies H. The biochemistry of selenium and the glutathione system. *Environ Toxicol Pharmacol* 2001; 10: 153-8.
36. Conrad M, Schneider M, Seiler A, Bornkamm GW. Physiological role of phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase in mammals. *Biol Chem* 2007; 388: 1019-25.
37. Kaprara A, Krassas GE. Selenium and thyroid function; the role of radioimmunoassay. *Hell J Nucl Med* 2006; 9: 195-203.
38. Stranges S, Marshall JR, Natarajan R, Donahue RP, Trevisan M, Combs GF, et al. Effects of Long-Term Selenium Supplementation on the Incidence of Type 2 Diabetes - A Randomized Trial. *Ann Intern Med* 2007; 147: 217-23.
39. Knowles SO, Grace ND, Wurms K, Lee J. Significance of amount and form of dietary selenium on blood, milk, and casein selenium concentrations in grazing cows. *J Dairy Sci* 1999; 82: 429-37.
40. Juniper DT, Phipps RH, Jones AK, Bertin G. Selenium supplementation of lactating dairy cows: effect on selenium concentration in blood, milk, urine, and feces. *J Dairy Sci* 2006; 89: 3544-51.
41. Utterback PL, Parsons CM, Yoon I, Butler J. Effect of supplementing selenium yeast in diets of laying hens on egg selenium content. *Poult Sci* 2005; 84: 1900-1.
42. Payne RL, Lavergne TK y Southern LL. Effect of inorganic versus organic selenium on hen production and egg selenium concentration. *Poult Sci* 2005; 84: 232-7.
43. Juniper DT, Phipps RH, Ramos-Morales E, Bertin G. Effects of dietary supplementation with selenium enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in lambs. *Anim Feed Sci Technol* 2009; 149: 228-39.
44. Vignola G, Lambertini L, Mazzone G, Giannmarco M, Tassinari M, Martelli G, et al. Effects of selenium source and level of supplementation on the performance and meat quality of lambs. *Meat Sci* 2009; 81: 678-85.
45. Cotter PA, Craig SR, McLean E. Hyperaccumulation of selenium in hybrid striped bass: a functional food for aquaculture? *Aquacult Nutr* 2008; 14: 215-22.
46. Wang Y, Han J, Li W, Xu Z. Effect of different selenium source on growth, performances, glutathione peroxidase activities, muscle composition and selenium concentration of allogynogenetic crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *Anim Feed Sci Technol* 2007; 134: 243-51.
47. NRC (National Research Council). *Nutrient Requirements of Fish*. Washington DC: National Academy Press; 1993.
48. Watanabe T, Kiron V, Satoh S. Trace Minerals in fish nutrition. *Aquaculture* 1997; 151: 185-207.
49. Hilton JW, Hodson PV, Slinger SJ. The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J Nutr* 1980; 110: 2527-35.
50. Gatlin DM, Wilson R. Dietary Selenium Requirement of Fingerling Channel Catfish. *J Nutr* 1984; 114: 627-33.
51. Wang C, Lovell RT. Organic selenium sources, selenomethionine and selenoyeast, have higher bioavailability than an inorganic selenium source, sodium selenite, in diets for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 1997; 152: 223-34.
52. Jaramillo F, Peng L, Gatlin DM. Selenium nutrition of hybrid striped bass (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*) bioavailability, toxicity and interaction with vitamin E. *Aquacult Nutr* 2008: 1-6.
53. Küçükbay FZ, Yazlak H, Karaca I, Sahin N, Tuzcu M, Cakmak MN et al. The effects of dietary organic or inorganic selenium in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under crowding conditions. *Aquacult Nutr* 2009: 1-8.

54. Abdel-Tawwab M, Mousa M, Abbass FE. Growth performance and physiological response of African catfish, *Clarias gariepinus* (B.) fed organic selenium prior to the exposure to environmental copper toxicity. *Aquaculture* 2007; 272: 335-45.
55. Tashjian DH, Teh SJ, Sogomonyan A, Hung SS. Bioaccumulation and chronic toxicity of dietary L-selenomethionine in juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Aquat Toxicol* 2006; 79: 401-9.
56. Schram E, Pedrero Z, Cámara C, van der Heul JW, Luten JB. Enrichment of African catfish with functional selenium originating from garlic. *Aquacult Res* 2008; 39: 850-60.
57. Zhou X, Wang Y, Gu Q, Li W. Effects of different dietary selenium sources (selenium nanoparticle and selenomethionine) on growth performance, muscle composition and glutathione peroxidase enzyme activity of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *Aquaculture* 2009; 291:78-81.
58. Lorentzen M, Maage A, Julshamn K. Effects of dietary selenite or selenomethionine on tissue selenium levels of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 1994; 121: 359-67.
59. Fox TE, van den Heuvel EGHM, Atherton CA, Dainty JR, Lewis DJ, Langford NJ et ál. Bioavailability of selenium from fish, yeast and selenate: a comparative study in humans using stable isotopes. *Eur J Clin Nutr* 2004; 58: 343-9.