

Desempeño productivo, composición y biodisponibilidad relativa de selenio en tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) suplementada con selenio orgánico e inorgánico

J. E. Vinchira^{1}, G. A. Wills¹, A. P. Muñoz¹*

Artículo recibido: 6 de noviembre de 2013 . Aprobado: 5 de mayo de 2014

RESUMEN

El presente estudio evaluó el desempeño productivo, la composición corporal y biodisponibilidad relativa de selenio en tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) suplementada con selenio dietario. Una dieta práctica fue suplementada con selenio en forma de selenito de sodio o seleno-levadura en niveles crecientes de suplementación (0,00, 0,10, 0,20, 0,40, 0,80, 1,60 mg/kg de dieta). Un total de 336 individuos tilapia nilótica con un peso inicial de $13,41 \pm 0,12$ g fueron distribuidos de forma aleatoria en 48 acuarios de vidrio (80 L, 4 réplicas, 7 peces por acuario). No se detectó selenio en el agua de abastecimiento. Los peces fueron alimentados hasta saciedad aparente 3 veces al día por un periodo de 9 semanas. El desempeño productivo de la tilapia nilótica no fue afectado ($P > 0,05$) por la suplementación de selenio dietario. El selenio corporal se incrementó de forma lineal ($P < 0,05$) con la suplementación de selenio orgánico e inorgánico. La composición corporal de selenio fue menor ($P < 0,05$) en los peces suplementados con selenito de sodio ($1,67 \pm 0,14$ mg/kg) en comparación con la seleno-levadura ($1,95 \pm 0,21$ mg/kg). A partir de la relación entre pendientes se estimó que la biodisponibilidad relativa de la seleno-levadura para la composición de selenio corporal fue de $155,72 \pm 0,10\%$, con relación al selenito de sodio (fijada

¹Departamento de Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Cr. 30 nro. 45-07, Bogotá (Colombia).

*Autor para correspondencia: jevinchirasa@unal.edu.co

MANUSCRITO ACEPTADO

en 100%). De acuerdo con los resultados, la concentración basal de selenio dietario (0,21 mg/kg) no limitó el desempeño productivo de la tilapia nilótica. La suplementación de selenio orgánico (seleno-levadura) e inorgánico (selenito de sodio) entre 0,10 y 1,60 mg/kg no afectó el desempeño productivo de la tilapia nilótica.

Palabras clave: bioacumulación, biodisponibilidad relativa, selenito de sodio, seleno-levadura

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the productive performance, whole body selenium retention and selenium relative bioavailability in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). A practical basal diet was supplemented with either sodium selenite or seleno-yeast at graded levels of selenium (0.0, 0.10, 0.20, 0.40, 0.80, 1.60 mg/kg). Reversed Nile tilapia fish (n=336) with an initial weight of 13.41 ± 0.12 g were randomly distributed into forty eight glass aquaria (80 L, four replicates, seven fish per aquarium). There was no detectable selenium in supply water. Fish were fed the experimental diets to apparent satiation three times daily for nine weeks. Selenium supplementation did not affect the productive performance of Nile tilapia ($P > 0,05$). Total whole body selenium increase linearly in response to dietary selenium supplementation ($P < 0,05$). Fish fed sodium selenite had lower ($P < 0,05$) whole body selenium ($1,67 \pm 0,14$ mg/kg) compared to fish fed seleno-yeast ($1,95 \pm 0,21$ mg/kg). Based on the slope-ratio assay for whole body selenium, the relative bioavailability of seleno-yeast was $155.72\% \pm 0.10$ compared to sodium selenite (set at 100%). According to results the basal selenium content in experimental diets (0.21 mg/kg) did not limit the productive performance of Nile tilapia. Supplementation of inorganic and organic selenium (0.10-1.60 mg/kg) did not affect the productive performance of Nile tilapia.

Keywords: bioaccumulation, relative bioavailability, selenium-yeast, sodium selenite

INTRODUCCIÓN

El selenio es un nutriente esencial para los peces, necesario para un adecuado desarrollo, crecimiento y mantenimiento de funciones metabólicas (Watanabe et ál. 1997). El carácter esencial de este mineral responde a la intervención que tiene en diversos procesos fisiológicos (principalmente de óxido-reducción y sistema antioxidante) en forma de enzimas (seleno-proteínas) que contienen en su estructura el aminoácido seleno-cisteína (Lobanov et ál. 2007; Lobanov et ál. 2009). El selenio es componente integral de enzimas como la glutatión peroxidasa (Pacitti et ál. 2013), tiorredoxina reductasa (Arnér y Holmgren 2000) e iodotironina deiodinasa (Köhrle et ál. 2005; Sanders et ál. 1999), entre otras seleno-proteínas (Kryukov y Gladyshev 2000).

El requerimiento de selenio dietario se ha determinado en trucha (*Salmo gairdneri*) (0,15-0,38 mg/kg), pez gato americano (*Ictalurus punctatus*) (0,25 mg/kg), mero (*Epinephelus malabaricus*) (0,70 mg/kg), lubina estriada (*Morone chrysops x M. saxatilis*) (0,15 mg/kg), cobia (*Rachycentron canadum*) (0,79 mg/kg) y carpa (*Carassius auratus gibelio*) (1,18 mg/kg) (Gatlin III y Wilson 1984; Han et ál. 2011; Hilton JW 1980; Jaramillo 2006; Lin y Shiau 2005; Liu et ál. 2010), en términos de crecimiento, actividad glutatión peroxidasa y retención corporal de selenio. Debido al carácter esencial del selenio para los peces se ha considerado la necesidad de suplementar el mineral, principalmente para especies cuyos hábitos alimenticios permiten la inclusión mayoritaria de materias primas de origen vegetal, como la tilapia (*Oreochromis sp.*) (El-Saidy y Gaber 2002; Lovell y Wang 1997).

Considerar la suplementación de selenio en la alimentación de los peces requiere establecer un margen de seguridad teniendo en cuenta que es un mineral tóxico cuando se sobrepasan determinados niveles de ingestión, que varían de acuerdo a la especie, la fuente de selenio, la cantidad y tiempo de exposición, entre otros factores (Hamilton 2004; Lee et ál. 2010). La toxicidad por selenio puede limitar el crecimiento de los peces y generar mortalidad (Hilton JW 1980; Vidal et ál. 2005).

Existen diversas fuentes comerciales de selenio que han sido utilizadas en la alimentación de peces. Las fuentes orgánicas más comunes comprenden los quelatos (aminoácidos, proteínas) y la levadura enriquecida (seleno-levadura). Por otro lado, las principales fuentes inorgánicas son el selenato y selenito de sodio (EFSA 2008; Paripatananont y Lovell 1997). Se considera que las fuentes de selenio orgánico presentan una mayor disponibilidad para los peces en comparación con las inorgánicas (Rider et ál. 2010; Wang y Lovell 1997; Wang et ál. 2007). En el caso de los minerales, la acumulación de estos nutrientes en los tejidos corporales se considera un parámetro pertinente para la determinación de la biodisponibilidad (Wang et ál. 2012).

Teniendo en cuenta la importancia del selenio en la nutrición de los peces y el riesgo de toxicidad que existe si se exceden determinados límites de inclusión, es necesario profundizar en el conocimiento de este mineral para optimizar su utilización en los sistemas de producción acuícola. De tal forma, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el desempeño productivo, la retención corporal y biodisponibilidad relativa de selenio en tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) suplementada con selenito de sodio y seleno-levadura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Dietas experimentales

Se formuló una dieta basal teniendo en cuenta los requerimientos nutricionales descritos para la tilapia (National Research Council 2011), utilizando materias primas de uso frecuente en la industria de alimentos balanceados para animales y premezcla mineral sin selenio (Tabla 1). Las dietas se fabricaron en la Unidad de Procesamiento de Alimentos de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia.

Para la elaboración de la dieta basal los ingredientes fueron molidos y mezclados mecánicamente (Javar MZ-100, Javar, COL). La dieta basal fue suplementada con selenio en forma de selenito de sodio (10% selenio, Solla S.A.) o seleno-levadura (Sel-Plex 1000, Alltech, USA) en niveles crecientes de suplementación (0,00, 0,10, 0,20, 0,40, 0,80, 1,60 mg/kg de dieta), para obtener un total de 12 dietas experimentales. Las fuentes de selenio fueron incorporadas gradualmente a la dieta basal. Inicialmente, la fuente de selenio se mezcló en 50 g de dieta basal, posteriormente en 500 g y finalmente se agregó a la totalidad de la dieta para su incorporación definitiva con un mezclador en “V” (Yoshida Seisakusho, JAP).

Las mezclas fueron humedecidas con agua destilada deionizada (23% del peso de la mezcla), tamizadas y extruidas en micro extrusora Extecc (Exteec Máquinas, BRA) para obtener un tamaño partícula alrededor de 2,50 mm de diámetro. Posteriormente las dietas fueron secadas en horno de aire forzado (Shel Lab FX28-2, USA) por 24 horas a 60°C y enfriadas a temperatura ambiente.

Procedimiento experimental

El estudio se llevó a cabo en la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, en el Laboratorio de Nutrición Acuícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Para el desarrollo del ensayo se utilizaron 48 acuarios de vidrio, con capacidad de 80 litros, dotados con termostatos y filtros individuales adaptados a un sistema de aireación. Los acuarios estaban parcialmente cubiertos (cara posterior y laterales) con material plástico para minimizar el estrés. No se utilizó iluminación artificial durante el desarrollo del estudio. Para el desarrollo del ensayo se utilizó agua del sistema de acueducto local. El agua era almacenada en tanques plásticos con aireación permanente (piedra difusora) por 48 horas antes de ser utilizada.

Se utilizaron 672 alevinos reversados de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*, variedad Chitralada) adquiridos en una explotación comercial. Antes de iniciar la fase experimental los animales tuvieron un periodo de acostumbramiento de 45 días a las condiciones de manejo del laboratorio (14 peces/acuario) y a la dieta basal (sin suplementación de selenio). Durante el periodo de acostumbramiento y la fase experimental se realizó limpieza del acuario por sifoneo y recambio de agua (6,25%, 5 litros acuario/día). Para el periodo experimental se registró diariamente la temperatura del agua por medio de termómetros de mercurio adaptados a cada acuario ($26,53 \pm 0,02^{\circ}\text{C}$) y semanalmente se realizaron determinaciones de oxígeno disuelto ($4,88 \pm 0,40$ mg/L), pH ($6,14 \pm 0,10$), amonio ($0,02 \pm 0,00$ mg/L), nitritos ($0,59 \pm 0,08$ mg/L), dureza ($57,34 \pm 2,04$ mg/L) y alcalinidad ($47,28 \pm 1,81$ mg/L) con Kit Hach FF1-A[®] (Hach, USA). Los parámetros de calidad de agua fueron cercanos a los valores óptimos para crecimiento de la tilapia (DeLong et ál. 2009; Mjoun y Rosentrater 2010).

Una vez terminado el periodo de acostumbramiento se realizó un periodo de ayuno de 24 horas y se registró el peso de los peces en balanza digital (WTB 3000, Radwag, PO). Del grupo inicial de peces se seleccionaron 336 individuos con un peso promedio de $13,41 \pm 0,12$ g que fueron distribuidos de forma aleatoria en los 48 acuarios (7 animales/acuario). Cada una de las 12 dietas experimentales fue asignada aleatoriamente a 4 acuarios.

El periodo experimental tuvo una duración de 9 semanas. Durante este periodo los peces fueron alimentados con las dietas experimentales tres veces por día (8:30 am, 12:30 pm y 4:30 pm) hasta saciedad aparente. Los residuos de alimento eran retirados al finalizar cada rutina de alimentación mediante sifoneo. Diariamente se registró la cantidad de alimento ofrecida a cada acuario. Al finalizar el periodo experimental se realizó un periodo de ayuno de 24 horas y se registró el peso de cada individuo en los diferentes acuarios. Posteriormente, 3 peces de cada acuario fueron inmovilizados mediante hipotermia (Ross y Ross 2008), sacrificados por corte de la médula espinal, dispuestos en bolsas plásticas herméticas y congelados a -20°C (Silva et ál. 2011; Tinggi 1999). Los animales congelados fueron cortados en trozos, procesados en molino de carne (JavarM-12, Javar, COL) y homogenizados formando un pool por acuario; este material fue secado en horno de aire forzado (Shel Lab FX28-2, USA) a 60°C por 48 horas (Diaz-Alarcon et ál. 1996). Las muestras deshidratadas fueron maceradas en un mortero de porcelana, procesadas en micro-molino (A11 Basic, IKA, CHN) y almacenadas en bolsas plásticas herméticas a temperatura ambiente para el posterior análisis.

Métodos analíticos

MANUSCRITO ACEPTADO

La composición proximal de la dieta basal fue determinada en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá) de acuerdo a los protocolos establecidos por la AOAC (1990). La concentración de selenio en las dietas experimentales se determinó en el Laboratorio Especializado en Análisis de Elementos Traza de la Universidad de La Salle con base en el método EPA I03.1 y el propuesto por Harper et ál. (1983), por medio de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICAP 6300, Thermo Scientific, USA). La determinación de selenio corporal se realizó en Nutriánálisis Ltda. mediante espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros (Perkin Elmer 800 FIAS-100, PerkinElmer, USA) tomando como referencia el método 986.15 descrito por la AOAC (2006). La concentración de selenio total en las muestras de alimento y cuerpo entero se reportó en mg/kg de materia seca.

Se evaluó la concentración de selenio en el agua de abastecimiento del laboratorio por espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros (Shimadzu AA 6800, Shimadzu, JAP) con base en el método 3114C descrito por la APHA (2005). Este análisis se llevó a cabo en el Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad de la Universidad de La Salle. No se detectó selenio en ninguna de las muestras de agua analizadas.

Cálculos y análisis estadístico

Todos los resultados se presentan como media \pm error estándar. Para el periodo experimental de 9 semanas se evaluó el desempeño productivo de los animales y la composición final de selenio corporal. Las variables evaluadas fueron calculadas de la siguiente manera:

- *Sobrevivencia* (S , %) = (Número de peces final / Número de peces inicial) x 100

MANUSCRITO ACEPTADO

- *Ganancia diaria de peso (GDP, g/d)* = (biomasa final acuario (g) - biomasa inicial acuario (g)) / tiempo (d)
- *Consumo aparente de alimento (CON, g/d)* = alimento ofrecido periodo (g) / tiempo (d)
- *Conversión alimenticia aparente (CAA)* = alimento ofrecido acuario (g) / ganancia de peso acuario (g)
- *Tasa específica de crecimiento (TEC, %/d)* = [(ln biomasa final (g) - ln biomasa inicial (g)) / tiempo (d)] x 100
- *Consumo estimado de selenio (mg)* = concentración selenio dieta (mg/kg) x consumo aparente de alimento en el periodo (kg)
- *Factor de concentración (FC)* = selenio corporal (mg) / consumo estimado de selenio (mg)

El experimento se realizó bajo un modelo completamente al azar con estructura factorial 2x6, con dos fuentes de selenio (selenito de sodio y seleno-levadura) y seis niveles de inclusión de selenio dietario (0,00, 0,10, 0,20, 0,40, 0,80, 1,60 mg/kg). Se consideró cada acuario como la unidad experimental y se obtuvo una respuesta única por acuario. Para todas las variables se verificaron los supuestos del modelo y se realizó el análisis de varianza correspondiente siguiendo la metodología de Martínez et ál. (2011). La variable CAA fue transformada empleando la función logaritmo ($\log_{10}Y$). Cuando se identificaron diferencias significativas ($P < 0,05$) por el efecto de los tratamientos, la comparación entre las medias se realizó mediante análisis de regresión polinomial.

Se determinó la biodisponibilidad relativa (RBV) de la seleno-levadura con relación al selenito de sodio para la composición corporal de selenio. Este procedimiento se realizó mediante regresión lineal múltiple de acuerdo a la metodología de análisis de relación de pendientes y estimación de error estándar aproximado propuesta por Littell et ál. (1997; 1995), evaluando los supuestos de

validez y relación de pendientes con una significancia del 5%. Para este análisis se utilizó el consumo estimado de selenio en el periodo como variable independiente. Se realizó un procedimiento de regresión (línea quebrada) para el FC mediante la metodología propuesta por Robbins et ál. (2006). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa de análisis estadístico SAS 9.2 (Statistical Analysis System, USA).

RESULTADOS

Parámetros productivos

En la Tabla 2 se presentan los resultados productivos obtenidos al finalizar el estudio con las dietas experimentales. No se observaron diferencias significativas ($P>0,05$) entre las fuentes de selenio utilizadas para las variables de desempeño evaluadas. La *GDP*, *TEC* y *CON* fueron significativos ($P<0,05$) para el nivel de suplementación de selenio dietario, sin embargo no se encontró una respuesta lineal, cuadrática, ni cúbica ($P>0,05$) de estas variables productivas con los diferentes niveles de suplementación. La sobrevivencia para el ensayo fue superior al 85,71% (Tabla 2).

Composición corporal de selenio

En la Tabla 3 se presentan los resultados de concentración de selenio corporal y biodisponibilidad relativa (RBV). La acumulación de selenio corporal fue mayor ($P<0,05$) con la seleno-levadura ($1,95\pm 0,21$ mg/kg) en comparación con el selenito de sodio ($1,67\pm 0,14$ mg/kg). La concentración corporal de selenio se incrementó de manera lineal ($P<0,05$) con la suplementación de selenio dietario. No se encontró interacción ($P>0,05$) entre las fuentes de selenio evaluadas con el nivel

de suplementación. En la Figura 1 se observa la composición corporal de selenio en la tilapia nilótica suplementada con selenio dietario.

De acuerdo al análisis de biodisponibilidad relativa se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las pendientes para la concentración corporal de selenio tras la suplementación con selenito de sodio y seleno-levadura. A partir de la relación entre pendientes se estimó que la biodisponibilidad relativa de la seleno-levadura para la composición de selenio corporal fue de $155,72 \pm 0,10\%$ (Tabla 3). El factor de concentración de selenio corporal fue afectado únicamente por el nivel de suplementación ($P < 0,05$). En la Figura 2 se observa la relación entre el selenio dietario y el factor de concentración. El factor de concentración disminuyó desde el menor nivel de suplementación de selenio dietario (0,10 mg/kg) hasta un valor estimado de 0,64 mg/kg a partir del cual permanece constante.

DISCUSIÓN

Parámetros productivos

La dieta basal suministrada a los peces en el presente estudio tenía un contenido de selenio de 0,21 mg/kg y adición de vitamina E de acuerdo al requerimiento para la especie (National Research Council 2011). Teniendo en cuenta que no se encontró presencia de selenio en el agua de abastecimiento se asumió que la dieta representó la única fuente de selenio que ingresó al sistema. De acuerdo a los resultados, la suplementación de selenio en forma de selenito de sodio o seleno-levadura no afectó el desempeño productivo de los animales experimentales (Tabla 2). Resultados similares fueron obtenidos por Gomes (2008) y Massago (2012) quienes evaluaron la suplementación de seleno-metionina (0,00-1,50 mg/kg) y dos fuentes de selenio dietario (selenito

MANUSCRITO ACEPTADO

de sodio y seleno-levadura, 0,00-1,00 mg/kg), respectivamente, en dietas prácticas para juveniles de tilapia nilótica. En estos trabajos no se encontraron efectos significativos de la adición de selenio en el desempeño productivo de los animales. En otro estudio, Pereira et ál. (2009) evaluaron la suplementación de seleno-levadura (0,00-1,00 mg/kg) en dietas prácticas para reproductores de tilapia nilótica sin encontrar diferencias significativas en términos de crecimiento y consumo de alimento. Goes (2012) evaluó la suplementación de selenio (0,00-4,00 mg/kg) y vitamina E (0,00-200 mg/kg) en la ración de juveniles de pacú (*Piaractus mesopotamicus*). En dicho estudio los niveles de vitamina E y selenio no interactuaron entre sí y no afectaron significativamente el desempeño productivo de los animales. En contraste, existen reportes de efectos positivos de la suplementación de selenio en el crecimiento de peces como matrinxá (*Brycon cephalus*) (selenito de sodio, 1,32 mg/kg) (Monteiro et ál. 2007), carpa común (*Cyprinus carpio*) (selenito de sodio, 0,16 mg/kg) (Gaber 2007) y carpa (*Carassius auratus gibelio*) empleando selenito de sodio y seleno-metionina (0,50 mg/kg) (Wang et ál. 2007), así como seleno-metionina y nano partículas de selenio (0,50 mg/kg) (Zhou et ál. 2009); es importante resaltar que la concentración analizada de selenio en las dietas control de dichas investigaciones era claramente deficitaria en selenio (valores inferiores a 0,10 mg/kg) (Watanabe et ál. 1997), razón por la cual la promoción en la repuesta de los animales representaba un evento probable (selenio nutriente esencial).

El selenio es un mineral esencial para los peces, la deficiencia genera impactos negativos en estos animales como retraso en el crecimiento, incremento de la mortalidad y reducción en la actividad de seleno-proteínas, entre otros (Bell et ál. 1987; Gatlin III y Wilson 1984; Poston et ál. 1976). De acuerdo a los resultados, en las condiciones de manejo empleadas una concentración de

selenio dietario alrededor de 0,21 mg/kg no limitó el desempeño productivo de la tilapia nilótica y el contenido de selenio en las materias primas utilizadas fue suficiente para soportar la demanda para el crecimiento de los animales. Una concentración superior de selenio dietario, sin importar la forma química, no indujo una mejora adicional en el rendimiento de la tilapia nilótica. El requerimiento de selenio dietario en especies de aguas continentales como la trucha arco iris, pez gato americano y lubina estriada, se encuentra entre 0,15 y 0,38 mg/kg de selenio (dietas semi-purificadas) (Gatlin III y Wilson 1984; Hilton JW 1980; Jaramillo 2006), rango dentro del cual se ubica la concentración de selenio de la dieta basal empleada este estudio; en el presente trabajo se decidió considerar la utilización de dietas prácticas ya que permiten una mayor aproximación a las características de las matrices alimenticias suministradas en condiciones comerciales (Fernandes 2008).

Teniendo en cuenta que las funciones del selenio en la nutrición de los peces y organismos terrestres están principalmente relacionadas con procesos de óxido-reducción y sistema antioxidante (Lobanov et ál. 2009; Pacitti et ál. 2013), los efectos positivos de la suplementación de selenio en el desempeño productivo de los animales es apreciable cuando se presentan eventos manifiestos de estrés, los cuales incrementan la demanda de agentes antioxidantes (Halver et ál. 2004; Hamre et ál. 2004; Rider et ál. 2009). Este escenario se evidencia en la investigación realizada por Abdel-Tawwab y Wafeek (2010) quienes mostraron que la suplementación de selenio dietario (4,5 mg/kg seleno-levadura, concentración final selenio 5,54 mg/kg) mejoró la ganancia de peso y conversión alimenticia de la tilapia nilótica expuesta a concentraciones crecientes de cadmio en el agua (0,00-2,23 mg/L), en comparación con dietas sin adición de selenio. En otro estudio, Küçükbay et ál. (2009) identificaron una respuesta lineal positiva de la

ganancia de peso y conversión alimenticia en trucha arcoíris sometida a un manejo en altas densidades (25 vs. 100 kg/m³) por la suplementación de selenio en forma de selenito de sodio o seleno-metionina (0,30 mg/kg, concentración final selenio 1,10 mg/kg). En el caso particular del presente estudio no existía interés por evaluar el impacto de algún agente generador de estrés ajeno al efecto de las dietas experimentales (fuente, nivel de selenio e interacción) en las condiciones de manejo establecidas; uno de los mecanismos sugeridos de toxicidad provocada por exceso de selenio es la manifestación de estrés oxidativo (Misra et ál. 2012a; Mézes y Balogh 2009).

La tilapia nilótica es considerada una especie territorial, que establece rápidamente relaciones jerárquicas que determinan el estatus, comportamiento social y desempeño de los individuos dentro de una población específica (Barcellos et ál. 1999). Este comportamiento natural de la especie fue observado en el presente estudio, principalmente en las etapas de la investigación que requerían el establecimiento de nuevos grupos de animales. Sin embargo, un evento particular registrado durante el transcurso del experimento fue un marcado comportamiento agresivo de individuos en algunas unidades experimentales de los tratamientos con menor concentración de selenio (suplementación 0,00 y 0,10 mg/kg), situación que no ocurrió con la misma intensidad en el resto de los grupos. Monteiro et ál. (2007) reportaron la manifestación de canibalismo en matrinxá alimentada con una dieta baja en selenio (0,0024 mg/kg) en comparación con animales suplementados con el mineral (1,5 mg/kg), sugiriendo la deficiencia de selenio como uno de los factores que promovió este tipo de comportamiento en los individuos. Sin embargo, la presentación de eventos pronunciados de agresión en algunas unidades experimentales de los menores niveles de suplementación del presente estudio y su asociación con una deficiencia

nutricional de selenio, debe ser confrontada con parámetros fisiológicos específicos. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que los cambios en el comportamiento de los peces responden diversos factores tanto bióticos como abióticos (Carvalho et ál. 2013; Vera Cruz y Brown 2007). Profundizar en la relación entre la suplementación de selenio dietario y el comportamiento social de la tilapia nilótica se apartaba de los alcances de este estudio, así como las metodologías necesarias para evaluar de forma certera este tipo de asociación.

El selenio es un mineral esencial, sin embargo su potencial como agente tóxico se encuentra ampliamente documentado en peces (Hamilton 2004). Los niveles de suplementación de selenio dietario empleados en este estudio (0,10-1,60 mg/kg como selenito de sodio o seleno-levadura) aparentemente no generaron efectos tóxicos para la tilapia nilótica en términos de desempeño productivo, considerando que no afectaron los parámetros evaluados. El mayor nivel de suplementación empleado (1,60 mg/kg – alrededor de 1,93 mg/kg total) se encuentra por debajo del umbral de toxicidad para peces de aguas continentales sugerido por Hamilton (2003) (3 mg/kg selenio dietario). No se observaron patrones de comportamiento atípicos para la tilapia nilótica como alteraciones en la capacidad de nado, previamente reportados en casos de intoxicación por selenio (Tashjian et ál. 2006; Thomas y Janz 2011). En futuras investigaciones es recomendable considerar la evaluación de parámetros fisiológicos específicos asociados a la toxicidad provocada por selenio como complemento a la evaluación basada en variables de desempeño productivo.

Composición corporal de selenio

La utilización del selenio dietario por parte de los peces depende, entre otros factores, de la forma química en que se encuentre este mineral. En el presente estudio la acumulación de selenio corporal fue superior con la fuente orgánica (seleno-levadura) en comparación con la forma inorgánica (selenito de sodio) (Tabla 3). Estos resultados concuerdan con los hallazgos reportados tanto en peces como en animales terrestres, la biodisponibilidad para la acumulación en tejidos de las formas orgánicas de selenio es mayor que la de compuestos inorgánicos (Jaramillo 2006; Lorentzen et ál. 1994; Lyons et ál. 2007; Paripatananont y Lovell 1997; Wang y Lovell 1997). En el presente estudio no se realizó la verificación de las principales formas químicas de selenio presentes en la fuente orgánica utilizada (seleno-levadura), sin embargo, existen reportes que indican que la seleno-levadura está compuesta principalmente de seleno-metionina (60-85%), seleno-cisteína (2-4%), un residual inorgánico (alrededor de 1%) y otras formas menores de selenio (proporción restante) (EFSA 2008).

La acumulación de selenio en los tejidos de los peces es diferencial, generalmente mayor en órganos que intervienen en la asimilación y excreción del mineral como el hígado, riñón y branquias (Lee et ál. 2008; Tashjian et ál. 2006; Wang y Lovell 1997). En este trabajo se evaluó la composición corporal de selenio como indicador global de la acumulación de selenio dietario. La composición corporal de selenio tuvo un comportamiento lineal con relación a la suplementación de selenio dietario (Tabla 3, Figura 1), respuesta previamente documentada (Cotter et ál. 2008; Gatlin III y Wilson 1984; Jaramillo et ál. 2009; Schram et ál. 2008).

De acuerdo con Ammerman et ál. (1995) el término “biodisponibilidad” hace referencia al grado en el cual un nutriente ingerido (de alguna fuente particular) es absorbido de manera que puede

ser utilizado por el metabolismo del animal. Una metodología empleada para estimar la biodisponibilidad de un nutriente es el análisis de relación de pendientes (Littell et ál. 1997; Littell et ál. 1995) que ha sido utilizado en especies terrestres (Huang et ál. 2013; Wang et ál. 2012; Zhang y Guo 2007) y acuáticas (Do Carmo E SÁ et ál. 2005; Jaramillo et ál. 2009; Shao et ál. 2010). En el presente estudio, la biodisponibilidad relativa del selenio en la seleno-levadura para acumulación corporal fue de $155,72 \pm 0,10\%$ (relativa al selenito de sodio). Como se mencionó anteriormente, la seleno-levadura está compuesta de diferentes formas de selenio, siendo la seleno-metionina el componente mayoritario. Este seleno-aminoácido ingresa a los tejidos de forma inespecífica sin ser discriminado de la metionina en el proceso de síntesis de proteínas (Schrauzer 2000), razón por la cual es acumulado de forma eficiente y representa una de las principales formas de selenio identificadas en los tejidos (Misra et ál. 2012b). Existen reportes de biodisponibilidad relativa de fuentes de selenio en alimentación de peces como el estudio de Wang y Lovell (1997) con pez gato americano alimentado con dietas semi-purificadas, reportando una biodisponibilidad relativa de la seleno-levadura con relación al selenito de sodio de 182 y 453% para la acumulación de selenio en hígado y músculo, respectivamente. Jaramillo et ál. (2009) evaluaron la suplementación de seleno-metionina en lubina estriada alimentada con dietas semi-purificadas, encontrando que la biodisponibilidad relativa de esta fuente para acumulación de selenio corporal fue 330% con relación al selenito de sodio. Este último valor es claramente superior al encontrado en el presente estudio con tilapia nilótica, ratificando que la biodisponibilidad de un nutriente depende de diferentes factores como la especie, las características de la fuente evaluada, tiempo y nivel de suplementación, tipo de alimentación y el parámetro o tejido considerado en la evaluación.

MANUSCRITO ACEPTADO

En los peces los principales órganos que intervienen en el metabolismo del selenio son el hígado y riñón, regulando la asimilación y excreción del mineral (Hilton et ál. 1982; Tashjian y Hung 2006). El incremento de la concentración de selenio corporal y la reducción en el factor de concentración observada en el presente estudio (Figura 2) sugiere que existió una progresiva excreción del mineral o una reducción en la eficiencia de asimilación del mismo por debajo de 0,64 mg/kg. Por encima de este valor los mecanismos de regulación del selenio corporal en la tilapia nilótica podrían haber sido limitados (Hilton et ál. 1982; Hilton JW 1980), teniendo en cuenta que la relación entre selenio corporal y dietario se mantuvo estable a pesar del mayor ingreso de selenio al sistema, indicando un proceso de bioacumulación. Un aspecto para resaltar es que el factor de concentración de selenio corporal observado fue igual para las dos fuentes de selenio evaluadas (Tabla 3). Este resultado remarca el potencial de bioacumulación de las formas orgánicas de selenio, que representan una alternativa viable si se pretende incrementar la concentración corporal de selenio en los peces con fines comerciales (Cotter et ál. 2009); por otro lado, de acuerdo a Fan et ál. (2002), las formas orgánicas de selenio atraen especial atención ya que representan agentes claves de bioacumulación y ecotoxicidad en las cadenas tróficas. Como se mencionó antes, en este trabajo aparentemente no existió un evento manifiesto de toxicidad por selenio en términos de desempeño productivo. La mayor concentración de selenio corporal obtenida fue de $3,46 \pm 0,29$ mg/kg con la seleno-levadura (1,60 mg/kg; 1,94 mg/kg selenio total) (Tabla 3), valor cercano umbral de toxicidad sugerido por Hamilton (2003) (4 mg/kg selenio corporal).

CONCLUSIONES

MANUSCRITO ACEPTADO

Los niveles de selenio dietario estudiados (0,10-1,60 mg/kg) no afectaron el desempeño productivo de la tilapia nilótica. El selenio corporal se incrementó de forma lineal con la suplementación de selenio dietario (orgánico e inorgánico). La biodisponibilidad relativa de la seleno-levadura fue mayor que la del selenito de sodio, confirmando el potencial de bioacumulación de las fuentes orgánicas para incrementar la concentración corporal de selenio en los peces.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las siguientes instituciones por el apoyo en el desarrollo de este trabajo: Nutriánálisis Ltda., Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad (Universidad de La Salle), Laboratorio de Nutrición Animal (Universidad Nacional de Colombia), Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia Universidad Nacional de Colombia y Alltech Colombia Ltda.

REFERENCIAS

- Abdel-Tawwab M, Wafeek M. 2010. Response of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) to environmental cadmium toxicity during organic selenium supplementation. J. World Aquac. Soc. 41(1):106-114.
- Ammerman CB, Baker DP, Lewis AJ. 1995. Bioavailability of nutrients for animals: amino acids, minerals, vitamins. Elsevier Science.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed.: Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC. 2006. AOAC 18th Ed Official Method 986.15 Arsenic, Cadmium, Lead, Selenium and Zinc in Human and Pet Foods. 18 ed.: Association of Official Analytical Chemists.

- APHA. 2005. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 21st ed. Washington, DC: American Public Health Association.
- Arnér ESJ, Holmgren A. 2000. Physiological functions of thioredoxin and thioredoxin reductase. Eur. J. Biochem. 267(20):6102-6109.
- Barcellos LJG, Nicolaiewsky S, de Souza SMG, Lulhier F. 1999. The effects of stocking density and social interaction on acute stress response in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings. Aquacult Res 30(11/12):887-892.
- Bell JG, Cowey CB, Adron JW, Pirie BJS. 1987. Some effects of selenium deficiency on enzyme activities and indices of tissue peroxidation in Atlantic salmon parr (*Salmo salar*). Aquaculture 65(1):43-54.
- Carvalho TB, Mendonca FZ, Costa-Ferreira RS, Goncalves-de-Freitas E. 2013. The effect of increased light intensity on the aggressive behavior of the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Teleostei: Cichlidae). Zoologia 30(2):125-129.
- Cotter PA, Craig SR, McLean E. 2008. Hyperaccumulation of selenium in hybrid striped bass: a functional food for aquaculture? Aquacult Nutr 14(3):215-222.
- Cotter PA, McLean E, Craig SR. 2009. Designing fish for improved human health status. Nutrition and Health 20(1):1-9.
- DeLong DP, Losordo T, Rakocy J, Southern Regional Aquaculture C. 2009. Tank Culture of Tilapia. Southern Regional Aquaculture Center.
- Diaz-Alarcon JP, Navarro-Alarcon M, Lopez-Garcia de la Serrana H, Lopez-Martinez MC. 1996. Determination of selenium in meat products by hydride generation atomic absorption spectrometry selenium levels in meat, organ meats, and sausages in Spain. J. Agric. Food Chem. 44(6):1494-1497.

- Do Carmo E SÁ MV, Pezzato LE, Barros MM, De Magalhaes Padilha P. 2005. Relative bioavailability of zinc in supplemental inorganic and organic sources for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings. *Aquacult Nutr* 11(4):273-281.
- EFSA. 2008. Selenium-enriched yeast as source for selenium added for nutritional purposes in foods for particular nutritional uses and foods (including food supplements) for the general population. *The EFSA Journal* 766:1-42.
- El-Saidy DMSD, Gaber MMA. 2002. Complete replacement of fish meal by soybean meal with dietary L-Lysine supplementation for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings. *J. World Aquac. Soc.* 33(3):297-306.
- Fan TW, Teh SJ, Hinton DE, Higashi RM. 2002. Selenium biotransformations into proteinaceous forms by foodweb organisms of selenium-laden drainage waters in California. *Aquat Toxicol* 57(1-2):65-84.
- Fernandes A. 2008. Colina em rações para tilápia do Nilo: desempenho produtivo e repostas hematológicas antes e após o estímulo a frio. [Dissertação Mestrado]. Universidade Estadual Paulista.
- Gaber M. 2007. Efficiency of selenium ion inclusion into Common Carp (*Cyprinus carpio* L) diets. *Int. J. Fish. Aquac.* 2(3):250-254.
- Gatlin III DM, Wilson RP. 1984. Dietary selenium requirement of fingerling channel catfish. *J Nutr.* 114(3):627-633.
- Goes E. 2012. Suplementação de selênio e vitamina E em dietas para o pacu (*Piaractus mesopotamicus*). [Dissertação Mestrado]. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- Gomes G. 2008. Suplementação com selênio orgânico nas dietas de tilápias do nilo (*Oreochromis niloticus*). [Dissertação Mestrado]. Universidade Estadual Paulista - Jaboticabal.

- Halver JE, Felton SM, Zbanyszek R. 2004. Carcass selenium loss as an indicator of stress in barge transported chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha* Walbaum) smolts. *Aquacult Res* 35(11):1099-1103.
- Hamilton SJ. 2003. Review of residue-based selenium toxicity thresholds for freshwater fish. *Ecotox Environ Safe* 56(2):201-210.
- Hamilton SJ. 2004. Review of selenium toxicity in the aquatic food chain. *Sci Total Environ* 326(1-3):1-31.
- Hamre K, Christiansen R, Waagbø R, Maage A, Torstensen BE, Lygren B, Lie Ø, Wathne E, Albrektsen S. 2004. Antioxidant vitamins, minerals and lipid levels in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.): effects on growth performance and fillet quality. *Aquacult Nutr* 10(2):113-123.
- Han D, Xie S, Liu M, Xiao X, Liu H, Zhu X, Yang Y. 2011. The effects of dietary selenium on growth performances, oxidative stress and tissue selenium concentration of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). *Aquacult Nutr* 17(3):E741-E749.
- Harper SL, Walling JF, Holland DM, Pranger LJ. 1983. Simplex optimization of multielement ultrasonic extraction of atmospheric particulates. *Anal Chem* 55(9):1553-1557.
- Hilton JW, Hodson PV, Slinger SJ. 1982. Absorption, distribution, half-life and possible routes of elimination of dietary selenium in juvenile rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Comp. Biochem. Physiol. C: Pharmacol. Toxicol.* 71(1):49-55.
- Hilton JW HP, Slinger SJ. 1980. The Requirement and Toxicity of Selenium in Rainbow Trout (*Salmo Gairdneri*). *J. Nutr.* 110(12):2527-2535.

- Huang YL, Lu L, Xie JJ, Li SF, Li XL, Liu SB, Zhang LY, Xi L, Luo XG. 2013. Relative bioavailabilities of organic zinc sources with different chelation strengths for broilers fed diets with low or high phytate content. *Anim Feed Sci Tech* 179(1–4):144-148.
- Jaramillo F. 2006. Selenium nutrition of Morone hybrids including dietary requirements, bioavailability, toxicity and effects on immune responses and disease resistance [Doctoral Dissertation]. Texas A&M University.
- Jaramillo Jr F, Peng LI, Gatlin Iii DM. 2009. Selenium nutrition of hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) bioavailability, toxicity and interaction with vitamin E. *Aquacult Nutr* 15(2):160-165.
- Kryukov GV, Gladyshev VN. 2000. Selenium metabolism in zebrafish: Multiplicity of selenoprotein genes and expression of a protein containing 17 selenocysteine residues. *Genes Cells* 5(12):1049-1060.
- Köhrle J, Jakob F, Contempré B, Dumont JE. 2005. Selenium, the thyroid, and the endocrine system. *Endocr Rev* 26(7):944-984.
- Kücükbay FZ, Yazlak H, Karaca I, Sahin N, Tuzcu M, Cakmak MN, Sahin K. 2009. The effects of dietary organic or inorganic selenium in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under crowding conditions. *Aquacult Nutr* 15(6):569-576.
- Lee S, Lee J-H, Bai SC, Hung SSO. 2010. Evaluation of the dietary toxic level of selenium (Se) in juvenile Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J. World Aquac. Soc.* 41:245-254.
- Lee S, Lee JH, Bai SC. 2008. A preliminary study on effects of different dietary selenium (Se) levels on growth performance and toxicity in juvenile black seabream, *Acanthopagrus schlegelii* (Bleeker). *Asian Austral J Anim* 21(12):1794-1799.

- Lin Y-H, Shiau S-Y. 2005. Dietary selenium requirements of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*. *Aquaculture* 250(1-2):356-363.
- Littell RC, Henry PR, Lewis AJ, Ammerman CB. 1997. Estimation of relative bioavailability of nutrients using SAS procedures. *J Anim Sci* 75(10):2672-2683.
- Littell RC, Lewis AJ, Henry PR. 1995. Statistical evaluation of bioavailability assays. En: Clarence BA, David H. Baker and Austin J. LewisA2 - Clarence B. Ammerman DHB, Austin JL, editors. *Bioavailability of nutrients for animals*. San Diego: Academic Press. p. 5-33.
- Liu K, Wang XJ, Ai Q, Mai K, Zhang W. 2010. Dietary selenium requirement for juvenile cobia, *Rachycentron canadum* L. *Aquacult Res* 41(10):e594-e601.
- Lobanov A, Fomenko D, Zhang Y, Sengupta A, Hatfield D, Gladyshev V. 2007. Evolutionary dynamics of eukaryotic selenoproteomes: large selenoproteomes may associate with aquatic life and small with terrestrial life. *Genome Biol* 8(9):R198.
- Lobanov AV, Hatfield DL, Gladyshev VN. 2009. Eukaryotic selenoproteins and selenoproteomes. *Biochim. Biophys. Acta* 1790(11):1424-1428.
- Lorentzen M, Maage A, Julshamn K. 1994. Effects of dietary selenite or selenomethionine on tissue selenium levels of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 121(4):359-367.
- Lovell R, Wang C. 1997. Comparison of organic and inorganic sources of selenium for growth and health of Channel Catfish. *Biotechnology in the feed industry : proceedings of Alltech's thirteenth annual symposium*. Nottingham: Nottingham University Press.
- Lyons MP, Papazyan TT, Surai PF. 2007. Selenium in food chain and animal nutrition: Lessons from nature - Review. *Asian Austral J Anim* 20(7):1135-1155.

- Martínez R, Martínez N, Martínez M. 2011. Diseño de experimentos en ciencias agropecuarias y biológicas con SAS, SPSS, R y Statistix. Fondo Nacional Universitario, IAC.
- Massago H. 2012. Suplementação de selenio em dietas para a tilapia do nilo (*Oreochromis niloticus*). [Dissertação Doutorado]. Universidade Estadual Paulista - Jaboticabal.
- Misra S, Hamilton C, Niyogi S. 2012a. Induction of oxidative stress by selenomethionine in isolated hepatocytes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Toxicol In Vitro* 26(4):621-629.
- Misra S, Peak D, Chen N, Hamilton C, Niyogi S. 2012b. Tissue-specific accumulation and speciation of selenium in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to elevated dietary selenomethionine. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol* 155(4):560-565.
- Mjoun K, Rosentrater KA. 2010. Tilapia: Environmental biology and nutritional requirements. South Dakota Cooperative Extension Service FS963-02 - South Dakota State University.
- Monteiro D, Rantin F, Kalinin A. 2007. Uso do selênio na dieta de matrinxã, *Brycon cephalus*. *Revista Brasileira de Saude e Producao Animal* 8(1):32-47.
- Mézes M, Balogh K. 2009. Prooxidant mechanisms of selenium toxicity - A review. *Acta Biologica Szegediensis* 53(SUPPL. 1):15-18.
- National Research Council. 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. Washington, DC: The National Academies Press.
- Pacitti D, Wang T, Page MM, Martin SAM, Sweetman J, Feldmann J, Secombes CJ. 2013. Characterization of cytosolic glutathione peroxidase and phospholipid-hydroperoxide glutathione peroxidase genes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and their modulation by in vitro selenium exposure. *Aquat Toxicol* 130–131(0):97-111.

- Paripatananont T, Lovell RT. 1997. Comparative net absorption of chelated and inorganic trace minerals in Channel Catfish *Ictalurus punctatus* diets. *J. World Aquac. Soc.* 28(1):62-67.
- Pereira T, Fabregat T, Fernandes J, Boscolo C, Castillo J, Koberstein T. 2009. Selênio orgânico na alimentação de matrizes de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum Animal Sciences* 31(4):433-437.
- Poston HA, Combs GF, Leibovitz L. 1976. Vitamin E and selenium interrelations in the diet of Atlantic Salmon (*Salmo salar*): Gross, Histological and Biochemical Deficiency Signs. *J Nutr* 106(7):892-904.
- Rider SA, Davies SJ, Jha AN, Clough R, Sweetman JW. 2010. Bioavailability of co-supplemented organic and inorganic zinc and selenium sources in a white fishmeal-based rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diet. *Anim Physiol Anim Nutr* 94(1):99-110.
- Rider SA, Davies SJ, Jha AN, Fisher AA, Knight J, Sweetman JW. 2009. Supra-nutritional dietary intake of selenite and selenium yeast in normal and stressed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): implications on selenium status and health responses. *Aquaculture* 295(3-4):282-291.
- Robbins KR, Saxton AM, Southern LL. 2006. Estimation of nutrient requirements using broken-line regression analysis. *J Anim Sci* 84 Suppl:E155-165.
- Ross L, Ross B. 2008. *Anaesthetic and Sedative Techniques for Aquatic Animals*. Blackwell.
- Sanders JP, Van der Geyten S, Kaptein E, Darras VM, Kuhn ER, Leonard JL, Visser TJ. 1999. Cloning and characterization of type III Iodothyronine Deiodinase from the fish *Oreochromis niloticus*. *Endocrinology* 140(8):3666-3673.
- Schram E, Pedrero Z, Cámara C, Van Der Heul JW, Luten JB. 2008. Enrichment of African catfish with functional selenium originating from garlic. *Aquacult Res* 39(8):850-860.

- Schrauzer GN. 2000. Selenomethionine: A review of its nutritional significance, metabolism and toxicity. *J Nutr* 130(7):1653-1656.
- Shao X, Liu W, Xu W, Lu K, Xi W, Jiang Y. 2010. Effects of dietary copper sources and levels on performance, copper status, plasma antioxidant activities and relative copper bioavailability in *Carassius auratus gibelio*. *Aquaculture* 308(1–2):60-65.
- Silva FA, Padilha CCF, De Castro GR, Dos Santos Roldan P, De Araujo Nogueira AR, Moraes PM, Padilha PM. 2011. Selenium determination in tissue samples of Nile tilapia using ultrasound-assisted extraction. *Cent. Eur. J. Chem* 9(1):119-125.
- Tashjian DH, Hung SSO. 2006. Selenium absorption, distribution, and excretion in white sturgeon orally dosed with l-selenomethionine. *Environ. Toxicol. Chem.* 25(10):2618-2622.
- Tashjian DH, Teh SJ, Sogomonyan A, Hung SSO. 2006. Bioaccumulation and chronic toxicity of dietary l-selenomethionine in juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Aquat Toxicol* 79(4):401-409.
- Thomas JK, Janz DM. 2011. Dietary selenomethionine exposure in adult zebrafish alters swimming performance, energetics and the physiological stress response. *Aquat Toxicol* 102(1-2):79-86.
- Tinggi U. 1999. Determination of selenium in meat products by hydride generation atomic absorption spectrophotometry. *J. AOAC Int.* 82(2):364-367.
- Vera Cruz EM, Brown CL. 2007. The influence of social status on the rate of growth, eye color pattern and Insulin-like Growth Factor-I gene expression in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Horm Behav* 51(5):611-619.
- Vidal D, Bay SM, Schlenk D. 2005. Effects of dietary selenomethionine on larval rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 49(1):71-75.

- Wang C, Lovell RT. 1997. Organic selenium sources, selenomethionine and selenoyeast, have higher bioavailability than an inorganic selenium source, sodium selenite, in diets for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 152(1-4):223-234.
- Wang F, Lu L, Li S, Liu S, Zhang L, Yao J, Luo X. 2012. Relative bioavailability of manganese proteinate for broilers fed a conventional corn–soybean meal diet. *Biol. Trace Elem. Res.* 146(2):181-186.
- Wang Y, Han J, Li W, Xu Z. 2007. 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 Tech* 134(3–4):243-251.
- Watanabe T, Kiron V, Satoh S. 1997. Trace minerals in fish nutrition. *Aquaculture* 151(1-4):185-207.
- Zhang B, Guo Y. 2007. Beneficial effects of tetrabasic zinc chloride for weanling piglets and the bioavailability of zinc in tetrabasic form relative to ZnO. *Anim Feed Sci Tech* 135(1–2):75-85.
- Zhou X, Wang Y, Gu Q, Li W. 2009. 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* 291(1-2):78-81.

MANUSCRITO ACEPTADO

Tabla 1. Inclusión de ingredientes y composición analizada de la dieta basal

Ingrediente	%		
Torta de soya (47%)	34,50	<i>Composición analizada</i>	
Maíz	18,47	Materia seca, %	89,75
Gluten de maíz	14,50	Proteína cruda, %	34,96
Soya integral tostada	13,10	Energía bruta, kcal/kg	4398,00
Arroz quebrado	9,70	Extracto etéreo, %	4,86
Harina de pescado (67%)	2,91	Fibra bruta, %	2,66
Fosfato bicálcico	2,87	Cenizas, %	6,70
Aceite de palma	1,05	Selenio, mg/kg	0,21
Aceite de soya	0,60		
L-Lisina HCl	0,55		
DL-Metionina	0,47		
L-Treonina	0,29		
L-Triptófano	0,01		
Sal Común	0,43		
Carbonato de calcio	0,23		
Premezcla Min, Vit ¹	0,20		
Cloruro de colina	0,10		
BHT	0,02		

¹ Suplemento vitamínico y mineral, sin selenio (Solla S.A., composición por kilogramo de producto): Vit.A 2.700.000 UI; Vit.D3 180.000 UI; Vit.E 30.000 mg; Vit.K3 200 mg; Vit.B1 4.500 mg; Vit.B2 3.000 mg; Niacina 13.000 mg; Ácido pantoténico 5.000 mg; Vit.B6 7.500 mg; Biotina 30 mg; Ácido fólico 500 mg; Vit. B12 5 mg; Vit.C 10.000 mg; Cu 2.500 mg; I 400 mg; Fe 42.500 mg; Mn 3.500 mg; Zn 10.000 mg

Tabla 2. Desempeño productivo de tilapia nilótica con suplementación de selenio¹

Selenio suplementado	GDP (g/d)	TEC (%/d)	CON (g/d)	CAA	S (%)
Fuente					
Selenito de sodio	9,55±0,24	3,09±0,04	8,40±0,10	0,89±0,02	95,03±2,31
Seleno-levadura	9,75±0,22	3,12±0,03	8,22±0,15	0,85±0,01	95,92±1,75
Nivel (mg/kg)					
0,00	10,55±0,17	3,23±0,02	8,78±0,18	0,83±0,02	95,92±2,63
0,10	8,69±0,34	2,96±0,05	7,92±0,31	0,91±0,02	93,88±2,89
0,20	10,16±0,27	3,17±0,04	8,67±0,19	0,86±0,02	100,00±00,00
0,40	9,76±0,21	3,13±0,03	8,24±0,12	0,85±0,01	97,96±2,04
0,80	9,54±0,47	3,09±0,07	8,10±0,21	0,86±0,04	94,64±3,76
1,60	9,25±0,45	3,03±0,07	8,23±0,17	0,91±0,06	91,07±5,36
Fuente x Nivel²					
Selenito de sodio					
0,00 (0,20)	10,88±0,29	3,27±0,04	8,84±0,14	0,81±0,03	100,00±00,00
0,10 (0,26)	9,23±0,28	3,04±0,05	8,30±0,32	0,90±0,02	96,43±3,57
0,20 (0,38)	9,84±0,33	3,13±0,06	8,46±0,13	0,86±0,02	100,00±00,00
0,40 (0,59)	9,91±0,22	3,14±0,03	8,25±0,18	0,83±0,01	100,00±00,00
0,80 (0,95)	8,93±0,84	3,00±0,12	8,12±0,44	0,92±0,06	89,29±6,84
1,60 (1,91)	8,87±0,83	2,98±0,13	8,54±0,12	0,99±0,11	85,71±10,10
Seleno-levadura					
0,00 (0,22)	10,31±0,09	3,20±0,02	8,74±0,31	0,85±0,02	92,86±4,12
0,10 (0,30)	7,96±0,43	2,85±0,07	7,40±0,48	0,93±0,05	90,48±4,76
0,20 (0,42)	10,60±0,38	3,24±0,06	8,95±0,39	0,85±0,04	100,00±00,00
0,40 (0,58)	9,56±0,42	3,11±0,06	8,23±0,17	0,86±0,02	95,24±4,76
0,80 (0,97)	10,16±0,31	3,18±0,05	8,07±0,15	0,80±0,01	100,00±00,00
1,60 (1,94)	9,63±0,37	3,09±0,06	7,92±0,24	0,83±0,04	96,43±3,57
P>F					
Fuente	0,47	0,43	0,27	0,13	0,74
Nivel	0,01	0,01	0,03	0,47	0,48
Fuente x Nivel	0,09	0,12	0,21	0,14	0,20
Regresión ³	NS	NS	NS		

¹ GDP: Ganancia diaria de peso; TEC: Tasa específica de crecimiento; CON: Consumo de alimento; CAA: Conversión alimenticia aparente; S: Supervivencia

² En paréntesis valor de selenio analizado (mg/kg)

³ NS: Respuesta no significativa ($P>0,05$) al nivel de suplementación para efectos lineal, cuadrático y cúbico

Tabla 3. Concentración de selenio corporal y biodisponibilidad relativa (RBV) ¹

Selenio suplementado	Selenio corporal (mg/kg)	FC ²	Regresión RBV ³	
			Pendiente	RBV (%)
Fuente				
Selenito de sodio	1,67±0,14b	3,88±0,49	1,34±0,22	100,00
Seleno-levadura	1,95±0,21a	3,88±0,37	2,09±0,23	155,72±0,10
Nivel de Selenio (mg/kg)				
0,0	1,16±0,10	6,49±0,59		
0,1	1,47±0,09	5,90±0,41		
0,2	1,51±0,14	4,43±0,46		
0,4	1,17±0,14	2,35±0,28		
0,8	2,21±0,19	2,73±0,30		
1,6	3,07±0,26	1,82±0,19		
Fuente x Nivel ⁴				
Selenito de sodio				
0,0 (0,20)	1,13±0,19	6,78±1,18		
0,1 (0,26)	1,49±0,15	6,35±0,52		
0,2 (0,38)	1,65±0,23	5,00±0,70		
0,4 (0,59)	1,06±0,23	2,14±0,48		
0,8 (0,95)	1,90±0,16	2,23±0,31		
1,6 (1,91)	2,68±0,34	1,49±0,28		
Seleno-levadura				
0,0 (0,22)	1,18±0,12	6,26±0,69		
0,1 (0,30)	1,43±0,09	5,30±0,57		
0,2 (0,42)	1,33±0,06	3,66±0,01		
0,4 (0,58)	1,32±0,10	2,63±0,19		
0,8 (0,97)	2,53±0,27	3,24±0,40		
1,6 (1,94)	3,46±0,29	2,15±0,12		
P-Valor				
Fuente	0,04	1,00		
Nivel	<0,001	<0,001		
Fuente x Nivel	0,13	0,16		
Regresión ⁵	S (L)	S (L, Q, C)		

¹ Resultados expresados en materia seca

² FC: Factor de concentración

³ Diferencia entre pendientes por fuente de selenio ($P=0,002$). Consumo estimado de selenio como variable independiente. RBV del selenito de sodio fijada en 100%.

⁴ En paréntesis valor de selenio analizado (mg/kg)

⁵ S: Respuesta significativa ($P<0,05$) al nivel de suplementación. L (Lineal), Q (cuadrático), C (cúbico)

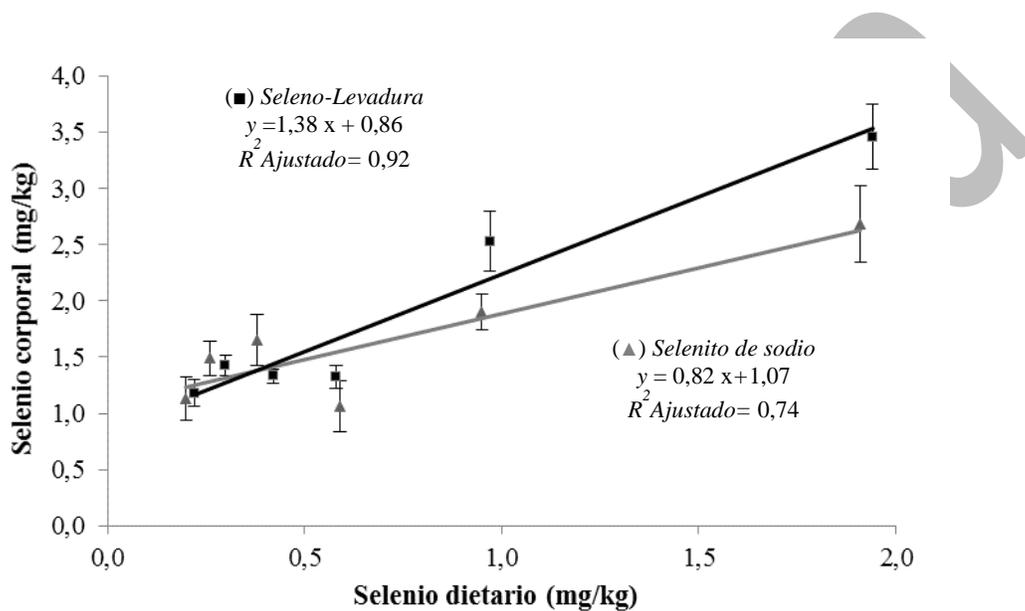


Figura 1. Selenio corporal en tilapia nilótica suplementada con selenito de sodio y seleno-levadura

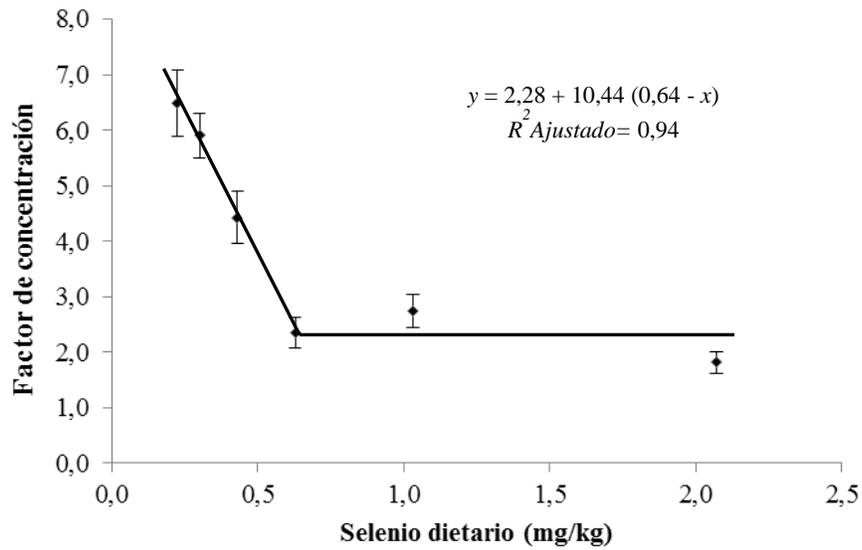


Figura 2. Relación entre el selenio dietario y el factor de concentración selenio corporal