



Bioaccesibilidad *in vitro* y concentraciones totales de minerales esenciales en carne de dorado (*Salminus brasiliensis*) crudo y cocido

Trulls, H.E.*; Ortiz, M.L.; Picot, J.A.; Zach, A.; Brem, J.C.

Laboratorio de Análisis físico-químicos anexo a la Cátedra de Biofísica. Departamento de Ciencias Básicas. Facultad de Ciencias Veterinarias, UNNE, Sargento Cabral 2139 (3400) Corrientes Argentina. Tel. 0379 4430101-Int.149. ✉ htrulls@gmail.com

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar la concentración total y bioaccesible de los macrominerales Ca, P, Mg y elementos traza Cu, Fe, Zn y Mn en carne de dorado cruda y cocida hervida, frita o al horno. Para la bioaccesibilidad, se usó un modelo *in vitro* de diálisis, simulando la digestión gastrointestinal humana. Luego se cuantificaron los elementos por espectrofotometría UV-visible, de absorción atómica y complexometría. Las concentraciones totales de Ca en las muestras crudas fueron superiores a las cocidas, diferenciándose estadísticamente, sin embargo, no hubo diferencias significativas entre tratamientos para Mg y P. Considerando los elementos traza; las muestras crudas y al horno presentaron los mayores valores de Cu, las crudas y hervidas para Fe, el Mn fue superior en las muestras crudas, mientras que el Zn no presentó diferencias significativas entre tratamientos. La fracción bioaccesible para Ca varió entre un 6 al 22%, Mg entre 8 al 20% y P entre 17 al 18%, para todos los tratamientos. El porcentaje de Fe bioaccesible resultó elevado, variando entre 68 hasta 105%; este último en el pescado frito. Los valores de Cu dializable variaron entre 39% para la carne cruda y 14% al horno. Para el Mn, el dializable varió entre 17 y 21%, y en Zn de 11 a 15%. Se concluye que la carne de dorado resultó un alimento con tenores adecuados de Ca, Mg y P, sin pérdidas significativas en los procesos de cocción, al igual que los elementos traza Zn y Mn, mientras que el Fe y Cu disminuyeron sus concentraciones en los tratamientos térmicos. Asimismo, los resultados del presente estudio permitieron evidenciar un aumento de la bioaccesibilidad del Ca en la carne al horno y de Fe y Zn dializable en las muestras fritas.

Palabras clave: dorado, bioaccesibilidad, macrominerales, elementos traza.

In vitro bioaccessibility and total concentrations of essential minerals in raw and cooked dorado (*Salminus brasiliensis*) meat

Abstract. The aim of this study was to determine the total and bioaccessible concentration of macrominerals Ca, P, Mg, and trace elements Cu, Fe, Zn, and Mn in raw and boiled, fried and baked dorado meat. For bioaccessibility, an *in vitro* dialysis model was used, simulating human gastrointestinal digestion, then the elements were quantified by UV-visible and atomic absorption spectrophotometry and complexometry methods. In raw samples, the total concentrations of Ca were higher than in cooked samples, showing statistical differences. However, there were no significant differences between treatments for Mg and P. Concerning trace elements, raw and baked samples displayed the highest values of Cu, raw and boiled for Fe, raw samples showed higher Mn values, while Zn did not present significant differences between treatments. The bioaccessible fraction for Ca was between 6 to 22%, Mg between 8 to 20% and P presented values of 17-18%, for all treatments. The percentage of bioaccessible Fe was high, varying between 68 and 105%; the latter in fried fish. Dialyzable Cu values varied between 39% for raw meat and 14% for baked meat. For Mn, the dialysable fraction ranged between 17 and 21%, and for Zn from 11 to 15%. The findings suggest that dorado fish is a food source with adequate levels of Ca, Mg, and P, without significant losses during cooking processes, as well as with trace elements Zn and Mn. However, Fe and Cu concentrations decreased with heat treatments. Moreover, the results of the present study showed an increase in the bioaccessibility of Ca in baked fish and of dialyzable Fe and Zn in fried samples.

Key words: dorado, bioaccessibility, macrominerals, trace elements

INTRODUCCIÓN

El consumo mundial de pescado y productos pesqueros ha aumentado considerablemente durante las últimas décadas constituyendo una parte importante de la proteína animal disponible. La FAO, mediante la agenda 2030 ofrece una visión de un mundo justo y sostenible, libre de pobreza, hambre y malnutrición. En dicha agenda también se fijan objetivos relativos a la contribución y la práctica de la pesca y la acuicultura en pro de la seguridad alimentaria y la buena nutrición, así como la utilización de los recursos naturales por parte del sector, de tal manera que se garantice un desarrollo sostenible en términos económicos, sociales y ambientales (FAO 2020).

La carne de pescado es considerada como uno de los principales exponentes de una dieta saludable; debido al aporte de proteína de alta calidad, aminoácidos esenciales, vitaminas y un perfil lipídico con bajo contenido de grasas saturadas y elevados niveles de los ácidos grasos n-3 (AG-n-3), esenciales y muy beneficiosos para la salud, con acción potencial contra enfermedades neurodegenerativas, cardiovasculares y propiedades hepatoprotectoras en seres humanos (FAO 2020, Chen et al. 2022). El dorado puede considerarse como un pescado magro por su contenido lipídico (2,8%), a diferencia de la boga (8,6%) y surubí (16,9%) considerados grasos; en las tres especies la relación AG saturados/ AG insaturados se aproxima a 1:2, predominando los AG-n-6, por lo que se recomienda el consumo de estas especies, como parte de una alimentación saludable (Ciappini et al. 2019).

El consumo de carne de pescado es considerado como una fuente de importancia para el aporte de minerales esenciales (FAO 2020), con contenidos variables de macro y microminerales (Ramos Alvarado 2018, Abbas et al. 2020), destacándose en los peces de agua dulce los altos niveles de Mg, Ca y elementos traza (Trulls y Ortiz 2022). En este sentido, entre las especies de peces de agua dulce de mayor consumo en la Provincia de Corrientes, Argentina, se encuentran el dorado (*Salminus brasiliensis*), pacú (*Piaractus mesopotamicus*), surubí (*Pseudoplatystoma reticulatum* y *P. coruscans*) y boga (*Leporinus obtusidens*); con una carnes magras y de alta palatabilidad, utilizada en la preparación de numerosos platos muy valorados y considerados manjares, a la parrilla, al horno e incluso frito; y que constituirían una fuente potencial de minerales esenciales para la dieta humana (Ciappini et al. 2020).

Resulta relevante cuantificar los contenidos totales de minerales en un alimento, así como la fracción bioaccesible para su absorción intestinal, retención y posterior utilización en funciones fisiológicas. La bioaccesibilidad se define como la fracción de un nutriente que se libera de la matriz alimentaria en el tracto gastrointestinal después del proceso de digestión del alimento, quedando potencialmente disponible para una mayor absorción por parte de las células intestinales (Cardoso et al. 2015).

Los estudios de bioaccesibilidad se pueden realizar *in vivo* o *in vitro*, capaces de simular las condiciones fisicoquímicas y fisiológicas del tracto gastrointestinal humano (Lucas-González et al. 2018), seguido de análisis del extracto resultante o quimo. Para superar los inconvenientes relacionados con los experimentos *in vivo*, que presentan

un alto costo, demanda de tiempo, restricciones analíticas y éticas, los ensayos estáticos de digestión *in vitro* han sido y suelen aplicarse para estimar la fracción bioaccesible de minerales en varios productos pesqueros mediante métodos espectroanalíticos (Afonso et al. 2018, Alves et al. 2018). El valor nutricional real de un alimento incluye entonces el concepto de bioaccesibilidad, el cual puede verse afectado después de los diferentes métodos de cocción utilizados, como hervir, hornear o freír.

Este estudio tuvo como objetivo determinar las concentraciones totales y bioaccesibles de elementos traza y minerales mayoritarios en carne de dorado (*S. brasiliensis*), teniendo en cuenta la influencia de los distintos métodos de cocción y procesado de la carne de pescado antes de su ingesta, sobre la biodisponibilidad final de los minerales estudiados.

MATERIAL Y MÉTODOS

Muestras de dorado (*S. brasiliensis*). Especie característica de los ríos de la Mesopotamia Argentina, fueron recolectadas de zonas del río Paraná, aledañas a la ciudad de Corrientes: Barrio Cichero: (27°27'21.97" latitud S-58°49'16.48" longitud O) y Barrio Astillero: (27°29'14.46" latitud S 58°51'22.07" longitud O) (Figura 1).

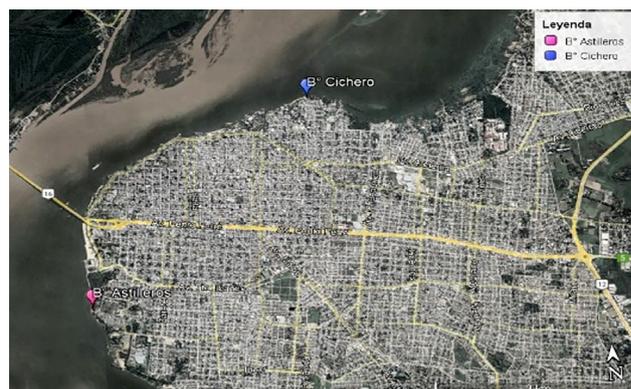


Figura 1. Mapa de los puntos de muestreo. Fuente: Google Maps, 2023.

Se seleccionaron peces frescos eviscerados, en todos los casos se trabajó con los músculos dorsales. Las muestras se fraccionaron, para procesarse en estado fresco crudo, y cocido por tres métodos: hervido, al horno y frito (n = 5). El proceso de cocinado se realizó en todos los casos hasta lograr una coloración opaca blanco leche y que, al pinchar con tenedor, no salgan jugos de la carne.

Pescado hervido: Para la cocción en agua se respetó la proporción: cada 100 g de pescado se colocaron 500 ml de agua. Una vez que el agua estuvo en ebullición, se colocó el alimento y se cocinó por 15 minutos, con el recipiente tapado.

Pescado frito: La fritura se llevó a cabo utilizando aceite de girasol en una sartén de teflón a 180°C y las porciones se cocinaron, de ambos lados, por 10 minutos. Una vez retiradas del aceite, se dejaron escurrir por 5 minutos sobre papel absorbente.

Pescado al horno: Para la cocción al horno, se precalentó el horno por 10 minutos, las porciones se

colocaron en pequeñas asaderas individuales de vidrio pyrex, para evitar la contaminación con metales del recipiente y se las cocinó por 10 minutos de cada lado.

El procesamiento de las muestras crudas y cocidas consistió en pesado del material fresco, luego un secado a estufa, hasta peso constante, posterior molienda del material seco en mortero hasta polvo impalpable, y para el posterior análisis de los minerales se utilizó un método de disgregación seca y disolución en ácidos inorgánicos. Para el proceso de disgregación seca, aproximadamente un gramo de cada muestra en polvo se colocó en crisoles, sometiéndola a horno mufla a 500°C hasta obtención de cenizas sin puntos carbonosos. Posteriormente se trataron con CIH p.a. 1:5, logrando total disolución mediante digestión caliente. Los extractos concentrados se llevaron a volumen final de 20 ml siendo posteriormente filtrados sobre papel de poro mediano.

Bioaccesibilidad *in vitro*. Se utilizó la dializabilidad de los minerales como un indicador de su bioaccesibilidad, la cual se realizó por un método *in vitro* (Cámara et al. 2005), modificado (Ortiz y Cámara-Martos 2018). El procedimiento involucra una digestión enzimática en condiciones que simulan a las fisiológicas.

Las disoluciones enzimáticas se prepararon inmediatamente antes de su uso. La disolución de pepsina se preparó disolviendo 16 g de pepsina de estómago porcino (Sigma, P-7000) en 100 ml de HCl 0,1 M. Para la preparación de la disolución de pancreatina-sales biliares, 0,4 g de pancreatina porcina (Sigma Chemical Co. P-170) y 2,5 g de sales biliares (Sigma, B-8631) se disolvieron en 100 ml de NaHCO₃ 0,1 M. La membrana de diálisis utilizada, con tamaño de poro (MMCO) de >12.000 Å (Dia. Inf. 36/32"-28,6 mm, 30 m, Bestl n° 1063F09, Medicell Int. LTD, England) se enjuagó varias veces con agua destilada desionizada (ADD) antes de su utilización.

Ensayo de diálisis

Etapas gástrica. Se pesó en un erlenmeyer 5 g alimento y se agregó 20 g de ADD; se trabajó por triplicado. Las muestras se ajustaron a pH 2,0 con HCl de 6 M. Se adicionó 1,3 ml de solución de pepsina (equivalente a 0,5 g de pepsina por 100 g de muestra). La mezcla se incubó en un baño de agua con agitación a 37°C durante 2 horas. Transcurrido este tiempo, los recipientes se colocaron en hielo durante 5-10 minutos. A continuación, se determinó el título de acidez que se define como el n° de equivalentes de NaOH necesarios para llevar a pH 7,5 alícuotas del digerido gástrico adicionadas de pancreatina-extracto biliar.

Etapas intestinal. Los digeridos gástricos se transfirieron a matraces de 250 ml, introduciendo en cada uno de ellos segmentos de tubo de diálisis, conteniendo 25 ml de ADD y una cantidad de NaHCO₃ equivalente a la medida de la acidez titulable. Se colocaron en un baño de agua con agitación a 37°C durante 45 minutos. Para llevar a cabo la digestión pancreática, se añadieron 7,5 ml de la disolución de pancreatina- sales biliares a cada matraz y la digestión se continuó a 37°C durante 2 horas más. Finalmente, se extrajeron los sacos de membrana de diálisis, se los lavó con ADD, se cortó un extremo y se transfirió el

contenido a crisoles de porcelana, evaporándose en plancha caliente hasta sequedad y posteriormente destruyendo toda la materia orgánica en mufla a 500°C. Las cenizas así obtenidas se disolvieron en HCl y se llevaron a un volumen final de 20 ml, para así determinar, por los métodos analíticos a describir, las concentraciones de los diferentes minerales estudiados en esta fracción.

El porcentaje de mineral dializado: % diálisis = $100 \times \frac{D}{C}$, donde D; mineral dializado ($\mu\text{g/g}$ muestra) y C; es el contenido de mineral total en la muestra ($\mu\text{g g}^{-1}$ muestra).

Métodos de análisis químicos utilizados. A fines de garantizar la calidad de los resultados de los análisis químicos realizados, y la rigurosidad de los procedimientos y ensayos en el laboratorio, se realizó una validación de los métodos analíticos, por lo que se trabajó con Instrumental calificado y calibrado: espectrofotómetro de Absorción Atómica marca GBC 932 Plus y espectrofotómetro UV-visible marca Exylon modelo 752N, ambos en funcionamiento en el Servicio de Análisis Físico químicos de la cátedra de Biofísica, UNNE, cada una de las metodologías está documentada y son determinaciones rutinarias en el laboratorio, además se trabajó con patrones de referencia de alta confiabilidad, marca Perkin Elmer, de concentración 1000 ppm; con los que se confeccionaron curvas de calibrado para ambos equipos. Los analistas se consideran personal calificado. En cada ensayo se procesó junto a las muestras analizadas, el material comercial de referencia Certificado (Rice Flour NIST. 1568a)

El contenido de los elementos traza Fe, Cu, Mn y Zn se determinó por Espectrofotometría de Absorción atómica con llama (F-AAS) (AOAC 2005); en el caso del fósforo inorgánico, por espectrofotometría UV-visible o de absorción molecular, utilizando como reactivo color ácido molíbdico y reactivo de Elon, con lectura a 660 nm (Dasbasi et al. 2016) y las concentraciones de calcio y magnesio se determinaron por volumetría de formación de complejos valorando, con EDTA 0,01 M y trabajando a pH 10 y pH 12 (APHA 2005). Con las metodologías instrumentales antes señaladas se cuantificaron los niveles de minerales traza y macro elementos, contrastándolos con patrones específicos de alta confiabilidad (AOAC International 2005). Teniendo en cuenta las diluciones efectuadas se calcularon los tenores elementales expresando los resultados en base seca y en las condiciones de humedad en que se utilizaron.

Análisis Estadístico. Para el ensayo se utilizó un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) (Steel y Torrie 1993).

Cuyo modelo lineal aditivo es: $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$

Y_{ij} = respuesta observada con el tratamiento i en la repetición j.

μ = media general.

τ_i = efecto del i-ésimo tratamiento.

ε_{ij} = error aleatorio.

En todos los casos se comprobaron los supuestos de normalidad (Wilck-Shapiro), homogeneidad de la variancia (Levene) y por la característica de la prueba siempre se cumplió con el supuesto de independencia. Para el análisis de variancia, la hipótesis nula (H_0) se rechazó con un nivel de α del 5% y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey.

Las concentraciones de minerales halladas en las muestras de pescado crudo y cocido; totales y bioaccesibles se presentaron como valores medios \pm desvíos estándares. Se utilizó el paquete estadístico InfoStat versión 2016 (InfoStat 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia de los tratamientos térmicos en la fracción de masa total de minerales esenciales. En la Figura 2 se presentan los valores porcentuales obtenidos para Ca, Mg y P en los distintos tratamientos. Las concentraciones de Ca en las muestras crudas fueron de 1,6 mg g⁻¹ mientras que las cocidas presentaron valores inferiores (0,9 mg g⁻¹ a 1,3 mg g⁻¹). En trabajos realizados en peces de agua dulce se obtuvieron valores de Ca inferiores para muestras crudas siendo de 0,18 mg g⁻¹ (Karimian-Khosroshahi et al. 2016) y 0,87 mg g⁻¹ (Abbas et al. 2020), mientras que las muestras cocidas estuvieron en un rango, de 0,20 a 0,49 mg g⁻¹ (Karimian-Khosroshahi et al. 2016). Para el macromineral Mg los valores obtenidos en muestras crudas fueron de 1 mg g⁻¹ y las cocidas no presentaron diferencias significativas (0,7 a 1,3 mg g⁻¹), pero fueron superiores a las concentraciones reportadas en un ensayo, donde las muestras crudas tuvieron valores de 0,19 mg g⁻¹ y las cocidas de 0,20 a 0,25 mg g⁻¹ (Karimian-Khosroshahi et al. 2016).

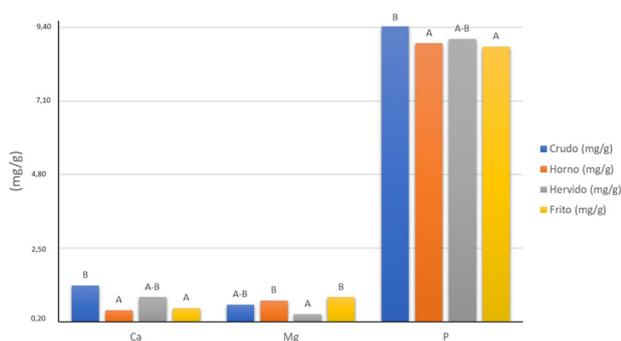


Figura 2. Fracción de masa total de Ca, Mg y P (mg g⁻¹) en carne de dorado crudo y cocido. Las barras seguidas de letras iguales indican diferencias no significativas según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

La fracción de masa total de muestras crudas y cocidas de P varió de 9,1 a 9,7 mg g⁻¹ en los distintos tratamientos, registrándose diferencias significativas entre las muestras de carne crudas y cocidas al horno y fritas ($p < 0,05$). Estos valores fueron superiores a los reportados por Karimian-Khosroshahi et al. (2016), donde registraron valores de 2,6 mg g⁻¹ en muestras crudas, mientras que las muestras cocidas por distintos métodos estuvieron en un rango comprendido entre 2,3 a 3,1 mg g⁻¹. De manera similar, en estudios realizados en carpas (*Ctenopharyngodon idella*)

se observaron concentraciones de 2,1 mg g⁻¹ en carne cruda (Abbas et al. 2020).

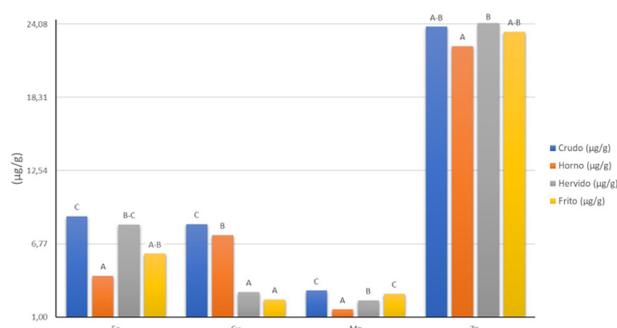


Figura 3. Fracción de masa total de Fe, Cu, Mn y Zn (µg g⁻¹) en carne de dorado cruda y cocida. Las barras seguidas de letras iguales indican diferencias no significativas según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

De los elementos traza analizados, el Cu presentó los mayores valores en las muestras crudas y al horno (8,32 y 7,45 µg g⁻¹), mostrando pérdida de este elemento en los tratamientos hervido y frito (2,96 y 2,36 µg g⁻¹) (Figura 3). En ensayos consultados, las concentraciones tanto en muestras crudas (1,20 µg g⁻¹) y cocidas (0,5 a 1,10 µg g⁻¹) (Dayami y Sarojnalini 2022), fueron inferiores a las observadas en el presente estudio. Para el Zn, se destaca que es el elemento traza en mayor concentración de los evaluados; obteniéndose valores de 22 a 24 µg g⁻¹ entre los tratamientos crudo y cocidos, respectivamente, que no arrojaron diferencias significativas. Resultados similares fueron reportados por Dayami y Sarojnalini (2022), donde el valor de la muestra cruda fue de 28 µg g⁻¹, mientras que las muestras cocidas tuvieron un promedio de 23 µg g⁻¹.

El contenido de hierro en las muestras crudas y hervidas fueron similares, de 8,93 y 8,29 µg g⁻¹, respectivamente, resultando significativamente inferiores los valores de los otros tratamientos de cocción (4,23 µg g⁻¹ al horno y 5,98 µg g⁻¹ en el frito). Trabajando con peces de agua dulce (*Catla catla*) se obtuvieron valores más elevados tanto en muestras crudas (21,14 µg g⁻¹) y cocidas al vapor (21,38 µg g⁻¹), siendo algo inferiores en las muestras fritas (14,04 µg g⁻¹) (Dayami y Sarojnalini 2022). El otro elemento traza analizado fue el manganeso que presentó concentraciones de 3,08 µg g⁻¹ para la muestra cruda, en tanto que las cocidas estuvieron en un rango de 1,60 a 2,83 µg g⁻¹, sin mostrar diferencias significativas, estos valores son similares a las muestras crudas (2,75 µg g⁻¹) y cocidas (1,02 a 1,25 µg g⁻¹), reportadas en otro trabajo (Dayami y Sarojnalini 2022).

Influencia de los tratamientos térmicos en la bioaccesibilidad de minerales esenciales. La fracción dializable, indicadora de la bioaccesibilidad para los minerales Ca, Mg y P (expresados en mg 100g de alimento); aparecen en la Tabla 1. La fracción bioaccesible de Calcio varió entre un 6 al 22% del contenido total, correspondiendo el valor más alto al tratamiento de la carne al horno. Estos resultados podrían estar asociados al efecto térmico que provoca la destrucción de complejos del Ca presentes en el alimento, favoreciendo así su dializabilidad; mientras que, considerando el Magnesio, la porción dializable

constituyó entre el 8 al 20%, destacándose la mayor bioaccesibilidad para la carne cruda. Considerando la fracción bioaccesible para el fósforo, se mantuvo en un 17-18% para todos los tratamientos de cocción, incluida también la carne cruda. Estos resultados están en concordancia con estudios recientes en la tilapia, utilizando como método de bioaccesibilidad la solubilidad (Santos et al. 2022). Los autores informan valores de Ca bioaccesible inferiores al 40%, y que algunos procesos de cocción podrían aumentar la bioaccesibilidad de algunos macrominerales. Además, informan que no encontraron diferencias significativas en el fósforo bioaccesible en ninguno de los tratamientos térmicos con respecto al pescado crudo.

Tabla 1. Fracción bioaccesible de Ca, Mg y P en carne de dorado crudo y cocidos.

Tratamiento	mg 100 g ⁻¹		
	Ca	Mg	P
Crudo	10,1±0,5	20,0±1,1	170±10
Horno	20,0±1,0	10,0±0,5	170±90
Hervido	10,0±0,1	10,0±0,3	130±30
Frito	10,0±0,03	10,0±0,5	170±20

En la Tabla 2 se indica la fracción dializable o bioaccesible para los elementos traza analizados en donde el porcentaje de Fe bioaccesible resultó elevado, variando entre un 68 hasta un 105%; este último en el pescado frito. Estos resultados podrían estar relacionados a un aporte de este elemento por parte del aceite usado en la cocción. Se ha informado un aumento en la bioaccesibilidad del Fe por parte de los tratamientos térmicos en general (Santos et al. 2022), los cuales provocarían cambios estructurales en las

CONCLUSIONES

En este estudio se evaluaron las concentraciones de los macrominerales y elementos traza, la carne de dorado resultó un alimento con tenores adecuados en Ca, Mg y P, considerados como los principales, al tiempo que los procesos de cocción no provocaron pérdidas significativas de los mismos. Los resultados del presente estudio permitieron evidenciar que algunos métodos de cocción pueden incrementar la fracción bioaccesible de algunos minerales, tal como el aumento de Ca dializable en la carne al horno, así como un incremento de la bioaccesibilidad del Fe y el Zn en las muestras fritas.

ORCID

Trulls, H.E.  <https://orcid.org/0000-0001-9339-3576>
 Ortiz, M.L.  <https://orcid.org/0000-0002-3980-0131>

REFERENCIAS

1. Abbas MMM, Shehata SM, Talab AS, Mohamed MH. Effect of traditional processing methods on the cultivated fish species, Egypt. Part I. Mineral and heavy metal concentrations. *Biol. Trace Elem. Res.* 2020; 200: 2391-2405.

proteínas del alimento que favorecerían la acción de las enzimas digestivas utilizadas, resultados similares también fueron reportados por Bhat et al. (2021).

Los valores de Cu dializable variaron entre un 39% en el caso de las muestras crudas y un 14% para el pescado al horno, destacándose que la fritura prácticamente no modificó la fracción biodisponible (34%). En coincidencia, estudios recientes (Zhang et al. 2023) reportan mayores porcentajes de fracción biodisponible de este elemento en las muestras crudas que en las cocidas por distintos métodos, aunque informan mayores valores de Cu biodisponible (72-97% para crudas y 21-74% para cocidas).

Considerando la fracción biodisponible de Mn, permaneció muy similar en todos los tratamientos, entre un 17 y un 21%, al igual que el Zn bioaccesible con valores de 11% de fracción dializable, salvo para el pescado frito, que fue de 15%. Estos valores porcentuales de bioaccesibilidad y el aumento de Zn bioaccesible en el pescado frito también fue reportado en otros estudios (Alves et al. 2018, Santos et al. 2022); en el más reciente se informa un 12% de fracción bioaccesible de Zn y un aumento entre un 19 y un 31% para el pescado cocido; concordando con los hallazgos del presente trabajo.

Tabla 2. Fracción bioaccesible de Fe, Cu, Mn y Zn en carne de pescado crudos y cocidos.

Tratamiento	µg g ⁻¹			
	Fe	Cu	Mn	Zn
Crudo	7,09±1,10	3,27±0,25	0,64±0,28	2,78±0,64
Horno	3,19±0,66	1,02±0,38	0,33±0,03	2,23±0,77
Hervido	5,65±2,97	0,77±0,11	0,43±0,02	2,85±0,63
Frito	6,89±3,25	0,80±0,05	0,48±0,03	3,51±0,98

2. Afonso C, Costa S, Cardoso C, Coelho I, Castanheira I, Lourenço H, Gonçalves S, Oliveira R, Carvalho ML, Martins MF, Bandarra NM, Nunes ML. Bioaccessibility in risk-benefit analysis of raw and cooked seabream consumption. *J Food Compos Anal.* 2018; 68: 118-127.
3. Alves RN, Maulvault AL, Barbosa VL, Fernandez-Tejedor M, Tediosi A, Kotterman M, Van Den Heuvel FHM, Robbens J, Fernandes JOR, Ras-Mussen R, Sloth JJ, Marques A. Oral bioaccessibility of toxic and essential elements in raw and cooked commercial seafood species available in European markets. *Food Chem.* 2018; 267: 15-27.
4. AOAC. Official methods of analysis of AOAC International. 18th ed. Gaithersburg (MD): Método AOAC 999.10, Plomo, cadmio, cobre, hierro y cinc en alimentos. Método de espectrometría de absorción atómica. *AOAC International.* 2005.
5. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods. Análisis de calcio y Magnesio por titulación con EDTA. 21 ed. Part 3000. 2005; p. 3-65 y 3-84.
6. Bhat ZF, Morton JD, Bekhit AEDA, Kumar S, Bhat HF. Thermal processing implications on the digestibility of meat, fish and seafood proteins. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2021; 20 (5): 4511- 4548.

7. Cámara F, Amaro MA, Barnerá R, Clemente G. Bioaccessibility of minerals in school meals: Comparison between dialysis and solubility methods. *Food Chem.* 2005; 92: 481- 489.
8. Cardoso C, Afonso C, Lourenço H, Costa S, Nunes ML. Bioaccessibility assessment methodologies and their consequences for the risk-benefit evaluation of food. *Trends Food Sci. Technol.* 2015; 41: 5-23.
9. Chen J, Jayachandran M, Bai W, Xu B. A critical review on the health benefits of fish consumption and its bioactive constituents. *Food Chem.* 2022; 369: 130874.
10. Ciappini MC, Gatti MB, Chain PN, Cabreriso MS. Perfil lipídico de tres especies de pescados de agua dulce: Boga (*Leporinus obtusidens*), Dorado (*Salminus brasiliensis*) y Surubí (*Pseudoplatystoma coruscans*). *Revista de Ciencia y Tecnología.* 2019; 32: 1-10.
11. Ciappini MC, Gatti MB, Cabreriso MS, Chaín PN, Gónzales-Pierini E, Piazza-Simoni N. Comparación de consumo de pescado de río en ciudades costeras al río Paraná: Rosario y conglomerado Corrientes-Resistencia. *Diaeta.* 2020; 38 (173): 28-37.
12. Dasbasi T, Kartal S, Saçmac S, Ülgen A. Determination of some metal ions in various meat and baby food samples by atomic spectrometry. *Food Chem.* 2016; 197: 107-113.
13. Dayami H, Sarojnalini C. Changes in the Proximate Composition, Fatty Acid and Mineral Contents of *Catla catla* of Loktak Lake by Different Cooking Methods. *Asian j. biol. life sci.* 2022; 11(1): 149-156.
14. Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. InfoStat versión 2016. URL <http://www.infostat.com.ar>.
15. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome, Italy. 2020.
16. Karimian-Khosroshahi N, Hosseini H, Rezaei M, Khaksar R y Mahmoudzadeh M. Efecto de diferentes métodos de cocción sobre minerales, vitaminas e índices de calidad nutricional de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). *Revista Internacional de Propiedades de los Alimentos.* 2016; 19 (11): 2471-2480.
17. Lucas-González R, Viuda-Martos M, Pérez-Alvarez JA, Fernández-López J. In vitro digestion models suitable for foods: Opportunities for new fields of application and challenges. *Food Research International.* 2018; 107: 423-436.
18. Ortiz ML, Cámara-Martos F. Bioaccessibility and total content of iron, zinc, copper, and manganese in rice varieties (*Oryza sativa* L.): A probabilistic assessment to evaluate their contribution to dietary reference intake. *Cereal Chem.* 2018; 95: 790-799.
19. Ramos Alvarado K. Determinación de minerales en pescados continentales ecuatorianos por espectrofotometría de absorción atómica de llama. Tesis Doctoral, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador. 2018. 59pp
20. Santos HM, De Higuera JM, de Araujo-Nogueira AR. In vitro bioaccessibility of essential minerals from raw and cooked Tilapia fillet: Method validation and analysis by synchronous vertical dual view ICP OES. *Food Chemistry Advances.* 2022; 1: 100080.
21. Steel RGD, Torrie JH. Análisis de covarianza. Bioestadística: Principios y procedimientos. 2da. ed. Mc Grow-Hill/Interamericana de México SA; 1993. p. 392-427.
22. Traverso J, Avdalov N. Beneficios del consumo del pescado. Montevideo, Uruguay: María Stirling; 2014. p. 30.
23. Trulls HE, Ortiz ML. Minerales mayoritarios y elementos traza en carne de pescado de agua dulce y salada. *Compendio de Ciencias Veterinarias.* 2022; 12(1): 32- 42.
24. Zhang C, Miao X, Du S, Zhang T, Chen L, Liu Y, Zhang L. Effects of Culinary Procedures on Concentrations and Bioaccessibility of Cu, Zn, and As in Different Food Ingredients. *Foods.* 2023; 12 (8): 1653.

Citación recomendada

Trulls HE, Ortiz ML, Picot JA, Zach A, Brem JC. Bioaccesibilidad in vitro y concentraciones totales de minerales esenciales en carne de dorado (*Salminus brasiliensis*) crudo y cocido. *Rev. Vet.* 2023; 34(2): 111-116. doi: <http://dx.doi.org/>